



(11)

EP 3 636 916 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**15.04.2020 Patentblatt 2020/16**

(51) Int Cl.:  
**F02P 23/04 (2006.01)**      **F02M 27/04 (2006.01)**  
**F02P 9/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **19201483.5**(22) Anmeldetag: **04.10.2019**

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

(30) Priorität: **10.10.2018 DE 102018125080**

(71) Anmelder:  
 • **Volkswagen AG**  
**38440 Wolfsburg (DE)**

- Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co.  
KG  
83413 Fridolfing (DE)**

(72) Erfinder:  
 • **Michels, Karsten  
39130 Magdeburg (DE)**  
 • **Fuchs, Martin  
83395 Freilassing (DE)**

(74) Vertreter: **Gulde & Partner  
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei mbB  
Wallstraße 58/59  
10179 Berlin (DE)**

(54) **ZÜNDSYSTEM MIT EINEM DURCH EIN HF-PLASMA VERGRÖSSERTEN ZÜNDFUNKEN EINER ZÜNDKERZE MIT EINER VORKAMMER SOWIE EIN ZUGEHÖRIGES VERFAHREN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Zündsystem (10) und ein Verfahren für eine fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine (12) mit einem durch ein HF-Plasma vergrößerten Zündfunken, wobei die Fremdzündung des Kraftstoffs durch mindestens eine einem Brennraum (16) der Verbrennungskraftmaschine (12) zugeordnete Zündkerze (18, 44) realisiert wird.

Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Zündkerze (18, 44) eine Vorkammer (18', 44') mit mindestens einer Öffnung (46, 44'-1) aufweist, welche die Vorkammer (18', 44') mit dem Brennraum (16) kraftstoffseitig verbindet, so dass der Zündfunken (34) in der Vorkammer (18', 44'), in den das Hochfrequenzplasma (36) einkopplbar ist, die plasmagestützte Fremdzündung des Kraftstoffs in der Vorkammer (18', 44') bewirkt.

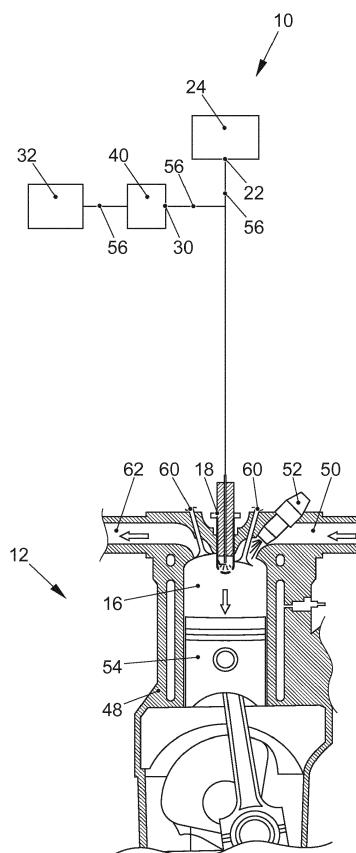


FIG. 1A

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Zündverfahren und ein Zündsystem, welches zur Durchführung des Zündverfahrens zur Zündung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches oder eines Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches einer Verbrennungskraftmaschine mit Fremdzündung, insbesondere eines Otto-Verbrennungsmotors, eingerichtet ist.

**[0002]** Bekannt ist ein Verbrennungsmotor mit einer zwischen Brennkammer und Ansaugkrümmer angeordneten Vorkammer. Die Einspritzung des Kraftstoffes erfolgt in die Vorkammer oder gegebenenfalls auch direkt in den Brennraum, so dass mit der angesaugten und verdichteten Verbrennungsluft ein Kraftstoff-Luft-Gemisch bereitstellt wird. In der Vorkammer ist eine Zündkerze angeordnet, die als Vorkammerzündkerze bezeichnet wird.

**[0003]** Durch eine vorzugsweise als Zündspule ausgebildete Hochspannungsquelle wird zwischen der Elektrode und der Masse ein Hochspannungsimpuls bereitgestellt, der einen Funkenüberschlag zwischen der Elektrode und dem Massekontakt bewirkt. Der Zündfunken führt zu einem Zünden des Kraftstoff-Luft-Gemisches oder bei Abgasrückführung zu einem Zünden des Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches.

**[0004]** Bei Gemischen mit einem hohen Luftüberschuss (mageres Gemisch) und/oder bei durch Abgasrückführung verdünnten Gemischen kann es zu Entflammungsproblemen und damit zu unvollständigen Verbrennungen und/oder Fehlzündungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches kommen.

**[0005]** Bekannt sind Zündsysteme, die mit einer Plasmaerzeugung gekoppelt sind. In Dokument WO 2017/167437 A1 ist eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches in einem Brennraum einer Brennkraftmaschine mit einer Zündkerze, die drei Elektroden aufweist, bekannt. Es ist vorgesehen, dass die erste Elektrode der Zündkerze mit einer Hochspannungsquelle zum Erzeugen eines elektrischen Hochspannungsimpulses verbunden ist, so dass der Hochspannungsimpuls an der ersten Elektrode anliegt. Eine zweite Elektrode ist mit dem Massepotenzial elektrisch verbunden. Die dritte Elektrode der Zündkerze ist mit dem Ausgang einer Hochfrequenzspannungsquelle elektrisch verbunden, so dass die Hochfrequenz-Wechselspannung an der dritten Elektrode zur Erzeugung eines Plasmas anliegt.

**[0006]** Aus dem Dokument WO 2017/108389 A1 ist eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches, basierend auf dem Prinzip von Teilentladungen, bekannt. Hierzu wird mindestens eine von zwei Elektroden der Zündvorrichtung vollständig von einem Dielektrikum aus einem Feststoff umschlossen. Wird ein elektrischer Spannungsimpuls zwischen diesen Elektroden angelegt, so werden aufgrund des sich ausbildenden elektrischen Feldes Teilentladungen generiert, die zur Ausbildung eines Zündplasmas und eines Flammkerns führen können. Da die beiden Elektroden durch das um mindestens eine der Elektroden angeordnete Dielektri-

kum voneinander elektrisch isoliert sind, kann keine vollständige Entladung erfolgen. Daher kann auch bei hohen Zündspannungen eine zuverlässige und stabile Entflammung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches realisiert werden, ohne dass es zu einem signifikanten Abbrand an den Elektroden kommt.

**[0007]** Gemäß Dokument DE 10 2015 114 718 A1 ist vorgesehen, dass ein Verbrennungsmotor ein Plasma-zündungssystem mit einer Zündeinrichtung mit dielektrischer Barrienenentladung im Zylinder und eine Kraftstofffeinspritzeinrichtung zur Direkteinspritzung mit einer Kraftstoffdüse im Zylinder aufweist. Ein Controller verbindet den Verbrennungsmotor, das Plasmazündungssystem und das Kraftstofffeinspritzungssystem funktional miteinander. Die Kraftstofffeinspritzeinrichtung spritzt einen ersten Kraftstoffpuls vor der Aktivierung der Zündeinrichtung ein. Anschließend löst die Zündeinrichtung einen Plasmaenergiepuls aus. Die Kraftstofffeinspritzeinrichtung wird derart gesteuert, dass sie während des Plasmaenergiepulses einen zweiten Kraftstoffpuls einspritzt.

**[0008]** Weiterhin ist aus Dokument DE 10 2017 214 641 A1 eine Verbrennungsunterstützungsvorrichtung in einem mit einer Kraftstofffeinspritzvorrichtung versehenen Verbrennungsmotor bekannt. Es ist hierbei vorgesehen, wenigstens einen Teil des Kraftstoffs in den Ansaugkrümmer einzuspritzen. Außerdem ist die Verbrennungsunterstützungsvorrichtung mit einem Elektroden-element vorgesehen, das im Ansaugkrümmer angeordnet ist und an das eine hochfrequente Hochspannung angelegt ist.

**[0009]** Im Dokument DE 10 2004 058 925 A1 ist ein Zündsystem mit einer Hochfrequenz-Plasmazündung für Otto-Motoren offenbart. Das Zündsystem liefert in einem Verbrennungsraum ein räumlich ausgedehntes Plasma zur Zündung eines Kraftstoff-Luft- Gemisches. Die Hochfrequenz- Plasmazündung besteht aus einem Serienschwingkreis mit einer Induktivität, einer Hochfrequenzquelle zur resonanten Anregung und einer Kapazität, wobei die Kapazität durch Innen- und Außenelektroden mit dazwischen liegendem Dielektrikum ausgebildet ist und diese Elektroden mit ihren äußeren Enden mit einem vorgegebenen gegenseitigen Abstand bis in den Verbrennungsraum hineinreichen.

**[0010]** Aus dem Dokument DE 10 2014 202 520 B3 ist eine Hochfrequenzentladungs-Zündvorrichtung bekannt, die einen Hochfrequenzstrom stabil dazu bringen kann, in einen Funkenentladungspfad zu fließen und somit ein großes Entladungsplasma effizient zu bilden. Die Hochfrequenzentladungs-Zündvorrichtung ist mit einer Zündkerze, einer Zündspulenvorrichtung, die eine Hochspannung erzeugt und die erzeugte Hochspannung der Zündkerze zuführt, um so einen Funkenentladungspfad im Spalt der Zündkerze zu bilden, einer Spannungsverstärkungsvorrichtung, welche die Spannung eines Wechselstroms verstärkt, und einer Hochfrequenzstrom-Zufuhrvorrichtung, die einen Wechselstrom dem im Spalt ausgebildeten Funkenentladungspfad mittels

der Spannungsverstärkungsvorrichtung zuführt, konfiguriert.

[0011] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Zündsystem für Verbrennungskraftmaschinen mit Fremdzündung, insbesondere für Ottomotoren mit Vorkammerzündung, bereitzustellen.

[0012] Insbesondere soll das Zündsystem die Zuverlässigkeit der Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches verbessern und eine vollständige Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auch unter ungünstigen Betriebsbedingungen gewährleisten.

[0013] Insbesondere soll den beim Betrieb von Verbrennungsmotoren mit verdünnten beziehungsweise mageren Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemischen beziehungsweise Kraftstoff-Luft- Gemischen auftretenden Entflammungsproblemen entgegengewirkt werden.

[0014] Damit soll der Betrieb von Verbrennungsmotoren mit verdünnten Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemischen, insbesondere bei Verbrennungsmotoren mit Abgasrückführung, deutlich verbessert beziehungsweise überhaupt erst ermöglicht werden.

[0015] Es soll ein Betrieb der Verbrennungsmotoren mit Verdünnungsraten auch (oberhalb) von 25 % Abgasrückführung (AGR) beziehungsweise "Magerraten" (oberhalb) von  $\lambda > 1,6$  effektiv ermöglicht werden. In vorteilhafter Weise soll durch die Erfindung eine Ausweitung, das heißt eine Erhöhung der Verdünnung von  $>/= 5\%$  höheren AGR-Raten beziehungsweise eine Erhöhung der Magerrate von 0,1 bis 0,3 Lambdaeinheiten, erreicht werden.

[0016] Ferner soll insbesondere ein effektiver Betrieb der Verbrennungsmotoren im unteren Teillastbereich möglich sein. Durch den Betrieb eines Verbrennungsmotors mit dem erfindungsgemäßen Zündsystem soll weiterhin der Wirkungsgrad unter diesen ungünstigen Betriebsbedingungen erhöht und der Ausstoß von Kohlenmonoxid sowie unverbrannten Kohlenwasserstoffen aus dem Kraftstoff verringert werden.

[0017] Das Zündsystem soll darüber hinaus für einen Betrieb nach dem Millerbrennverfahren und für aufgeladene Ottomotoren mit Direktkraftstoffeinspritzung in vorteilhafter Weise geeignet sein.

[0018] Ausgangspunkt der Erfindung ist ein Zündsystem für eine fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine, wobei die Fremdzündung des Kraftstoffs durch mindestens eine einem Brennraum der Verbrennungskraftmaschine zugeordnete Zündkerze realisiert wird, wobei eine erste Elektrode der Zündkerze mit einem Hochspannungsausgang einer Hochspannungsquelle elektrisch verbunden und eine zweite Elektrode als Massekontakt ausgebildet ist, wobei die erste Elektrode der Zündkerze mit einer Zündanlage gekoppelt wird, die einen Hochfrequenzausgang aufweist, an dem eine Hochfrequenzspannung anliegt, wobei der Hochspannungsausgang der Hochspannungsquelle der Zündkerze und der Hochfrequenzausgang miteinander elektrisch verbunden werden, so dass ein durch die Hochspannungsquelle der Zündkerze zwischen erster Elektrode und zweiter Elek-

trode am Hochspannungsausgang der Hochspannungsquelle ausgebildeter Spannungspfad zur Erzeugung der Funkenentladung eines Zündfunks mit der am Hochfrequenzausgang anliegenden Hochfrequenzspannung verstärkt wird, indem die Hochfrequenzspannung über den Hochfrequenzausgang in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle eingekoppelt wird, wodurch am/im Zündfunken ein Hochfrequenzplasma einkoppelbar ist, welches durch einen zusätzlichen Energieeintrag in den Zündfunken und ein erhöhtes Zündfunkenvolumen die Zündsicherheit des Kraftstoffs im Brennraum erhöht.

[0019] Wenn in dieser Patentanmeldung von Leistungsverstärkung gesprochen wird, kann sowohl eine Spannungs- als auch Stromverstärkung vorgesehen sein. Wenn von Hochfrequenzstrom gesprochen wird, kann auch eine Hochfrequenzspannung gemeint sein.

[0020] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Zündkerze eine Vorkammer mit mindestens einer Öffnung aufweist, welche die Vorkammer mit dem Brennraum kraftstoffseitig verbindet, so dass der Zündfunken in der Vorkammer, in der das Hochfrequenzplasma einkoppelbar ist, die plasmagestützte Fremdzündung des Kraftstoffs in der Vorkammer bewirkt.

[0021] Das Zündsystem umfasst zündanlagenseitig bevorzugt einen HF-Generator und einen Leistungsverstärker.

[0022] In einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst das Zündsystem eine Zündkerze, die eine Vorkammerzündkerze ist, mit einer mindestens eine Öffnung aufweisenden Abdeckkappe, so dass die Vorkammer der Vorkammerzündkerze zwischen Abdeckkappe und der ersten Elektrode angeordnet ist.

[0023] In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung umfasst das Zündsystem eine Zündkerze, die eine Dach-elektrodenzündkerze ist, die ebenfalls mit der mindestens eine Öffnung aufweisenden Vorkammer ausgestattet ist.

[0024] Vorgesehen ist bevorzugt ferner, dass das Zündsystem im Brennraum mindestens einen Sensor aufweist, welcher mindestens einen Zündparameter des Kraftstoffs erfasst.

[0025] Die Erfindung betrifft auch ein Zündverfahren bevorzugt unter Verwendung eines Zündsystems mit den zuvor genannten Merkmalen und den in der Beschreibung genannten Merkmalen.

[0026] Die erfindungsgemäße Zündanlage ist eingerichtet, das nachfolgend erläuterte erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Zu diesem Zweck umfasst die Zündanlage insbesondere eine Steuereinrichtung, in der ein computerlesbarer Programmalgorithmus zur Ausführung des Verfahrens und gegebenenfalls erforderliche Kennfelder gespeichert sind.

[0027] Ausgangspunkt des Verfahrens ist eine fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine, wobei die Fremdzündung des Kraftstoffs durch mindestens eine einem Brennraum der Verbrennungskraftmaschine zugeordnete Zündkerze realisiert wird, wobei eine erste Elek-

trode der Zündkerze mit einem Hochspannungsausgang einer Hochspannungsquelle elektrisch verbunden und eine zweite Elektrode als Massekontakt ausgebildet ist, wobei die erste Elektrode der Zündkerze mit einer Zündanlage gekoppelt ist, die einen Hochfrequenzausgang aufweist, an dem eine Hochfrequenzspannung anliegt, wobei der Hochspannungsausgang einer Hochspannungsquelle der Zündkerze und der Hochfrequenzausgang miteinander elektrisch verbunden sind, so dass ein durch die Hochspannungsquelle der Zündkerze zwischen erster Elektrode und zweiter Elektrode am Hochspannungsausgang der Hochspannungsquelle ausgebildeter Spannungspfad zur Erzeugung der Funkenentladung eines Zündfunks mit der am Hochfrequenzausgang anliegenden Hochfrequenzspannung verstärkt wird, indem die Hochfrequenzspannung über den Hochfrequenzausgang in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle eingekoppelt wird, wodurch am/im Zündfunken ein Hochfrequenzplasma einkoppelt ist, welches durch einen zusätzlichen Energieeintrag in den Zündfunken und ein erhöhtes Zündfunkenvolumen die Zündsicherheit des Kraftstoffs im Brennraum erhöht.

**[0028]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Zündkerze eine Vorkammer mit mindestens einer Öffnung aufweist, welche die Vorkammer mit dem Brennraum kraftstoffseitig verbindet, so dass der Zündfunken in der Vorkammer, in den das Hochfrequenzplasma einkoppelt ist, gebildet wird, so dass eine plasmagestützte Fremdzündung des Kraftstoffs in der Vorkammer bewirkt wird.

**[0029]** Durch die Einkopplung der Hochfrequenzspannung in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle am Ausgang der Zündanlage wird in vorteilhafter Weise ein Hochspannungsimpuls mit einer überlagerten Hochfrequenzspannung gebildet.

**[0030]** Das Zündverfahren zeichnet sich bevorzugt dadurch aus, dass das Hochfrequenzplasma zu einem vor gebaren Initiierungszeitpunkt vor der Zündung des Zündfunks oder zeitgleich zur Zündung des Zündfunks oder nach der Zündung des Zündfunks erzeugt und in den Zündfunken eingekoppelt wird.

**[0031]** Insbesondere ist bevorzugt vorgesehen, dass das Hochfrequenzplasma spätestens 0,5 ms vor der Zündung des Zündfunks oder spätestens 0,5 ms nach der Zündung des Zündfunks initiiert, mithin erzeugt und eingekoppelt wird.

**[0032]** Bevorzugt wird das Hochfrequenzplasma ab dem Initiierungszeitpunkt für eine vorgebbare Brenndauer bis zu 2,5 ms aufrechterhalten.

**[0033]** Außerdem ist bevorzugt vorgesehen, dass die Brenndauer des Hochfrequenzplasmas variabel ist und in Abhängigkeit von sensorisch im Brennraum erfassten Zündparametern des Kraftstoffs variiert wird.

**[0034]** Es ist somit erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Brenndauer des Hochfrequenzplasmas in Abhängigkeit der sensorisch erfassten Zündparameter variabel ist und bei schlechten Zündparametern verlängert beziehungsweise bei guten Zündparametern verkürzt

wird, wobei bei guten Zündparametern eine Brenndauer des Hochfrequenzplasmas von < 1 ms eingestellt oder die Erzeugung des Hochfrequenzplasmas eingestellt wird.

**5 [0035]** Innerhalb des Zündverfahrens ist bevorzugt vorgesehen, dass die Hochfrequenzspannung am Hochfrequenzausgang des Leistungsverstärkers eine Frequenz von 1 bis 100 MHz und eine Spannung innerhalb einer Spannungsamplitude zwischen 0,1 kV und 30 kV, insbesondere zwischen 0,4 kV und 1 kV, aufweist.

**[0036]** In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung wird eine Spannungsrampe am Hochspannungsausgang der Hochspannungsquelle durch den von dem HF-Generator über den Leistungsverstärker am Hochfrequenzausgang erzeugten Hochfrequenzstrom beim Einkoppeln in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle überlagert, der sich konstruktiv auf den Zündspannungsbedarf der Hochspannungsquelle auswirkt, so dass sich in vorteilhafter Weise der Zündspannungsbedarf der Hochspannungsquelle am Hochspannungsausgang der Hochspannungsquelle verringert.

**[0037]** Zudem ist vorgesehen, dass ein Kraftstoff-Luft-Gemisch oder ein Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch im Brennraum hinsichtlich seiner Zündparameter durch Sensoren erfasst wird und die Zündung der Zündkerze und die Erzeugung des Hochfrequenzplasmas in Abhängigkeit von mindestens einem der erfassten Zündparameter erfolgt, wobei mindestens eine Ist-Betriebsgröße, insbesondere die Frequenz des Hochfrequenzsignals und/oder die Spannungsamplitude und/oder ein Initiierungszeitpunkt zur Erzeugung des Hochfrequenzplasmas mit einem zusätzlichen Energieeintrag in den Zündfunken und/oder einem vergrößerten Zündfunkenvolumen durch das eingekoppelte Hochfrequenzplasma in Abhängigkeit der Größe des mindestens einen erfassten Zündparameters an die mindestens eine vorgebbare Soll-Ist-Betriebsgröße angepasst wird.

**[0038]** Als Zündparameter, in dessen Abhängigkeit die Ist-Betriebsgröße an die vorgegebene Soll-Ist-Betriebsgröße angepasst wird, ist als Größe insbesondere eine Ladungsverdünnung des Kraftstoffs vorgesehen, die durch Abmagerung oder durch externe oder interne Restgasrückführung des Kraftstoffs im Brennraum zum Zündzeitpunkt des Zündfunks der Zündkerze vorliegt.

**[0039]** Die durch die am Hochspannungsausgang der Hochspannungsquelle generierte Hochspannung führt zu einem Funkenüberschlag zwischen der ersten Elektrode und der als Massekontakt ausgebildeten zweiten Elektrode und damit zu einem Zündfunken, der das Kraftstoff-Luft-Gemisch beziehungsweise das Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch zur Verbrennung zündet. Der Zündfunken bildet hierbei den Funkenkanal aus.

**[0040]** Die Erfindung ermöglicht es in vorteilhafter Weise, dass der Funkenkanal das erzeugte Hochfrequenzplasma durch das erfindungsgemäße "Einkoppeln" der Hochfrequenzleistung übernimmt, wobei das Hochfrequenzplasma zusätzliche Energie in den Zündfunken innerhalb der Vorkammer zur Zündung eines Kraftstoff-

Luft-Gemisches beziehungsweise eines Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches einträgt, wobei zudem in vorteilhafter Weise eine Vergrößerung des Zündfunkenvolumens und eine längere Plasmabrenndauer die Folge ist.

**[0041]** Dabei ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Funkenkanal noch besteht, wenn das Hochfrequenzplasma zu einem vorgebbaren Initiierungszeitpunkt erzeugt wird, so dass der Funkenkanal von dem Hochfrequenzplasma übernommen werden kann. Mit anderen Worten, es erfolgt zuerst ein Durchbrechen des Funkens, der nach dem Initiierungszeitpunkt durch das Hochfrequenzplasma stärker und intensiver ist als ohne Hochfrequenzplasma, wonach wird der Funkenkanal durch das Hochfrequenzplasma noch weiter gespeist und aufrechterhalten wird.

**[0042]** Letztlich wird damit bewirkt, dass das gesamte Kraftstoff-Luft-Gemisch oder das Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch auch unter ansonsten ungünstigen Entflammungsbedingungen zuverlässig(er) und vollständig(er) gezündet wird.

**[0043]** Das erzeugte Hochfrequenzplasma und in den Funkenkanal eingekoppelte Hochfrequenzplasma bewirkt in vorteilhafter Weise eine Dissoziation des molekularen Sauerstoffs in atomaren Sauerstoff. Der somit für die Verbrennung zur Verfügung stehende atomare Sauerstoff und die dabei entstehenden Radikale führen in vorteilhafter Weise zu dem Effekt, dass das gesamte Kraftstoff-Luft-Gemisch oder das Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch reaktionsfreudiger ist und somit schneller und sicherer zündet. Dadurch sind das Kraftstoff-Luft-Gemisch respektive das Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch in vorteilhafter Weise leichter entflammbar, wodurch die Zündfähigkeit des Kraftstoff-Luft-Gemisches respektive Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches deutlich verbessert wird. Der durch den Funkenkanal gebildete leitende Kanal wird durch die durch das Hochfrequenzplasma zusätzlich zugeführte Energie länger gebildet/aufrechterhalten und stabilisiert. Durch die Brenndauer des Hochfrequenzplasmas wird der Funkenkanal bevorzugt für eine Zeitdauer von bis zu 2,5 ms energiereich aufrechterhalten. Die Verlängerung der Aufrechterhaltung des Funkenkanals bis zu 2,5 ms ermöglicht es vorteilhaft, dem Kraftstoff-Luft-Gemisch beziehungsweise dem Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch in Abhängigkeit der erfassten Zündparameter mehr Energie zuzuführen als bisher.

**[0044]** Ferner wird durch die zusätzliche Energiezu- fuhr in vorteilhafter Weise die hohe Temperatur des Funkenkanals länger aufrechterhalten.

**[0045]** Somit kann auf vorteilhafte Weise mit dem erfindungsgemäßen Zündsystem letztlich auch bei mit Ladungsverdünnung betriebenen Verbrennungskraftmaschinen, im Sinne von magereren Kraftstoff-Luft-Gemischen, eine (nahezu) vollständige Verbrennung realisiert werden, so dass es auch bei mageren Gemischen (Abmagerung), die durch einen Luftüberschuss gekennzeichnet sind, als auch bei durch Abgasrückführung verdünnten Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemischen (Ladungsverdünnung durch interne oder externe Abgasrückführung

AGR) zu einer zuverlässigen Zündung der ansonsten schwer(er) entflammbaren Gemische kommt.

**[0046]** Zugleich wird durch das Hochfrequenzplasma vorteilhaft das Volumen des Zündfunkens vergrößert, wodurch gleichfalls die Entflammung schwer entflambarer Gemische durch die Vergrößerung der Kontaktfläche des Funkenkanals zum Kraftstoff-Luft-Gemisch beziehungsweise zum Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch verbessert wird.

**[0047]** Die schwer entflammbaren Gemische treten insbesondere bei einem Betrieb des Motors im unteren Teillastbereich auf.

**[0048]** Durch die Erfindung wird die Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Zündung schwer entflambarer Kraftstoff-Luft-Gemische beziehungsweise Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemische verbessert.

**[0049]** Mit dem erfindungsgemäß ausgebildeten Zündsystem wird für einen mit dem Zündsystem ausgestatteten direkteinspritzenden Verbrennungsmotor eine zuverlässige und effiziente Kraftstoff-Luft-Gemisch-Zündung beziehungsweise Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch-Zündung in allen Betriebsbereichen, insbesondere auch im Teillastbereich, ermöglicht.

**[0050]** Durch die Erfindung ist es insbesondere möglich, Ottomotoren mit deutlich höherer Ladungsverdünnung, insbesondere im Teillastbetrieb, zuverlässig zu betreiben. Zugleich bewirkt diese Betriebsweise eine Reduktion der Stickoxidemissionen.

**[0051]** Ebenso wird durch die verbesserte Verbrennung der Ausstoß nicht beziehungsweise nur unvollständig verbrannter Kohlenwasserstoffe des Kraftstoffs reduziert. Neben der Verringerung der Schadstoffemissionen wird somit zugleich der spezifische Kraftstoffverbrauch des Motors verringert.

**[0052]** Im Vergleich zu einer Zündung mittels Hochfrequenzplasmastützung in einer Hauptbrennkammer (ohne Vorkammer) wird durch die Verwendung einer Vorkammer aufweisenden Vorkammerzündkerze oder einer Dachelektrodenzündkerze mit der Hochfrequenzplasmaerzeugung im Zündfunken innerhalb der Vorkammer vorteilhaft erreicht, dass die Zündsicherheit bei verdünnter Ladung signifikant erhöht wird.

**[0053]** Dadurch kann eine höhere Verdünnungsrate gefahren und somit der Kraftstoffverbrauch weiter reduziert werden. Insbesondere in der unteren Teillast kann das bekannte Zündproblem der Vorkammerzündkerzen (ohne Hochfrequenzplasmastützung) reduziert werden.

**[0054]** Insbesondere ist erfindungsgemäß die Verwendung des erfindungsgemäßen Zündsystems und die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem ladungsverdünnnten Motor, das heißt einem mit Abgasrückführung betriebenen Motor, insbesondere einem aufgeladenen, direkt einspritzenden Ottomotor und/oder einem nach dem Miller-Verfahren betriebenen Ottomotor vorgesehen.

**[0055]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand der zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

- Figur 1A einen Zylinder eines Verbrennungsmotors, in dem eine Zündkerze mit einer Vorkammer, insbesondere eine Vorkammerzündkerze, angeordnet ist, die mit einer Zündanlage verbunden ist und die gemeinsam mit einer Zündspule als Hochspannungsquelle, einem HF-Generator und einem Leistungsverstärker das erfindungsgemäße Zündsystem in einer ersten Ausführungsform bildet;
- Figur 1B die Vorkammerzündkerze (ohne Zylinder des Verbrennungsmotors) mit der Zündanlage, die gemeinsam mit der Zündspule, dem HF-Generator und dem Leistungsverstärker das erfindungsgemäße Zündsystem in der ersten Ausführungsform bildet;
- Figur 2A einen Zylinder eines Verbrennungsmotors, in dem eine Zündkerze mit einer Vorkammer, insbesondere eine Dachelektrodenzündkerze, angeordnet ist, die mit einer Zündanlage verbunden ist und die gemeinsam mit einer Zündspule, einem HF-Generator und einem Leistungsverstärker das erfindungsgemäße Zündsystem in einer zweiten Ausführungsform bildet;
- Figur 2B die Vorkammerzündkerze (ohne Zylinder des Verbrennungsmotors) mit der Zündanlage, die gemeinsam mit der Zündspule, dem HF-Generator und dem Leistungsverstärker das erfindungsgemäße Zündsystem in der zweiten Ausführungsform bildet.

Erste Ausführungsform:

**[0056]** Die Figuren 1A und 1B zeigen in einer Zusammenschau eine in einem Brennraum 16 des Verbrennungsmotors 12 angeordnete Vorkammerzündkerze 18 eines Zündsystems 10, welches neben der Vorkammerzündkerze 18 als Zündanlage zur Funkenzündung eine Hochspannungsquelle, insbesondere eine Zündspule 24, einen Hochfrequenz(HF)-Generator 32 und einen Leistungsverstärker 40 umfasst.

**[0057]** Die Vorkammerzündkerze 18 umfasst eine erste, insbesondere als Mittelelektrode ausgebildete Elektrode 20 und eine Vorkammer 18' und eine zweite Elektrode 26 als Massenelektrode.

**[0058]** Die Zündkerze 18, insbesondere die Vorkammerzündkerze, weist mindestens eine Öffnung 46 in einer Abdeckkappe 42 auf, so dass eine Vorkammer 18' der Vorkammerzündkerze 18 zwischen Abdeckkappe 42 und der ersten Elektrode 20 angeordnet ist. Über die mindestens eine Öffnung 46 ist die Vorkammer 18', die einen Vorkammerzündraum bildet, mit dem Hauptbrennraum 16 (vergleiche Figur 1A) verbunden.

**[0059]** Die Einspritzung eines Kraftstoffs erfolgt mittels der Einspritzdüse 52 (vergleiche Figur 1A) in den Haupt-

brennraum 16. Durch die Einspritzung des Kraftstoffs in die durch den Ansaugkrümmer 50 angesaugte Luft oder durch eine Abgasrückführung angereichertes Luft-Abgas-Gemisch wird in der Brennkammer 16 ein Kraftstoff-Luft-Gemisch oder ein Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch hergestellt, welches in bekannter Weise durch den aufwärts bewegten Kolben 54 verdichtet wird. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch oder ein Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch gelangt während des Kompressionshubes des Kolbens 54 in die Vorkammer 18' der Vorkammerzündkerze 18.

**[0060]** Die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches oder des Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches wird durch den Zündfunken 34 in der Vorkammer 18', insbesondere in dem Vorkammerzündraum der Vorkammer 18', eingeleitet.

**[0061]** Dazu wird die entsprechende Zündhochspannung vom Hochspannungsausgang 22 der Zündspule 24 über eine durch ein Zündkabel 56 realisierte elektrische Leitung auf die Mittelelektrode 20 der Vorkammerzündkerze 18 geführt.

**[0062]** Der Zündfunken 34 wird bestimmungsgemäß zur Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches oder Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches ausgelöst.

**[0063]** Vor oder zeitgleich mit der Ausbildung des Zündfunkens 34 oder im Anschluss an den bereits gebildeten Zündfunkens 34 wird eine durch den HF-Generator 32 erzeugte und über den Leistungsverstärker 40 geführte und somit verstärkte Hochfrequenzspannung von dem Hochfrequenzausgang 30 auf die Mittelelektrode 20 der Vorkammerzündkerze 18 geleitet, mithin in den Hochspannungsausgang 22 der Zündspule 24 zu einem vorgebbaren Initiierungszeitpunkt (vor oder zeitgleich oder nach Ausbildung des Zündfunkens 34) eingekoppelt.

**[0064]** Infolgedessen wird der durch den Zündfunkens 34 realisierte leitende Kanal durch das erzeugte und eingekoppelte Hochfrequenzplasma 36 beaufschlagt und der gebildete Zündfunkens 34 wird energiereicher beladen sowie bevorzugt länger aufrechterhalten und durch das eingekoppelte Hochfrequenzplasma 36 gegenüber herkömmlichen Zündfunkens voluminöser.

**[0065]** Durch das Hochfrequenzplasma 36 werden in vorteilhafter Weise aus den molekularen Verbindungen des jeweiligen Gemisches zusätzlich zu einem herkömmlichen Zündfunkens mehr Radikale erzeugt, die zu einer stabileren und schnelleren Entflammung führen.

**[0066]** Im Ergebnis der energiereicheren Beladung des Zündfunkens 34 und der längeren Aufrechterhaltung des Zündfunkens 34 wird in vorteilhafter Weise zusammengefasst die Zündenergie erhöht, wodurch auch weniger gut entflammbare Kraftstoff-Luft-Gemische beziehungsweise Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemische zuverlässiger geziündet werden können. Dementsprechend werden auch magerere Kraftstoff-Luft-Gemische beziehungsweise verdünnte Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemische mit teilweise aufgeladener/verdichteter Verbrennungsluftrückführung zuverlässiger und vollständiger gezündet.

**[0067]** Durch die zuverlässigere Einleitung (Zündung) wird eine vollständigere Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches oder des Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches erreicht, wodurch Schadstoffemissionen reduziert werden. Zudem wird der spezifische Kraftstoffverbrauch verringert und Schäden an der Verbrennungskraftmaschine 12 und der Vorkammerzündkerze 18 werden vermieden.

**[0068]** Ein in Figuren 1A gezeigter Zylinder eines Motorblocks 48 eines Verbrennungsmotors 12 ist in herkömmlicher Weise mit Steuerventilen 60, insbesondere Ein- und Auslassventilen, im Bereich eines Ansaugkrümmers 50 und im Bereich eines Abgaskrümmers 62 ausgebildet.

Zweite Ausführungsform:

**[0069]** Die Figuren 2A und 2B zeigen in einer Zusammenschau eine in einem Brennraum 16 des Verbrennungsmotors 12 angeordnete Dachelektrodenzündkerze 44 eines Zündsystems 10, welches neben der Dachelektrodenzündkerze 44 als Zündanlage zur Funkenzündung der Dachelektrodenzündkerze 44 analog zu der ersten Ausführungsform eine Zündspule 24, einen Hochfrequenz(HF)-Generator 32 und einen Leistungsverstärker 40 umfasst.

**[0070]** Die Dachelektrodenzündkerze 44 umfasst eine erste, insbesondere als Mittelelektrode ausgebildete Elektrode 20 und eine Vorkammer 44' und eine zweite Elektrode 26 als Massenelektrode.

**[0071]** Die Dachelektrodenzündkerze 44 ist mit der mindestens eine Öffnung 44'-1 aufweisenden Vorkammer 44' ausgestattet. Über die mindestens eine Öffnung 44'-1 ist die Vorkammer 44', die einen Vorkammerzündraum bildet, mit (vergleiche Figur 2A) dem Hauptbrennraum 16 verbunden.

**[0072]** Die Einspritzung eines Kraftstoffs erfolgt mittels der Einspritzdüse 52 (vergleiche Figur 1A) in den Hauptbrennraum 16. Durch die Einspritzung des Kraftstoffs in die durch den Ansaugkrümmer 50 angesaugte Luft oder durch eine Abgasrückführung (AGR) angereichertes Luft-Abgas-Gemisch wird in der Brennkammer 16 ein Kraftstoff-Luft-Gemisch oder ein Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch hergestellt, welches in bekannter Weise durch den aufwärts bewegten Kolben 54 verdichtet wird. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch oder ein Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch gelangt während des Kompressionshubes des Kolbens 54 in die Vorkammer 44' der Dachelektrodenzündkerze 44.

**[0073]** Die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches oder des Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisches wird in vorteilhafter Weise mit den beschriebenen Effekten durch den Zündfunken 34 in der Vorkammer 44', insbesondere in dem Vorkammerzündraum der Vorkammer 44', eingeleitet.

**[0074]** Die für die erste Ausführungsform geltende Beschreibung zu dem erfindungsgemäßen Verfahren und zu dem Aufbau der Zündanlage und dem Zündsystem 10 insgesamt gilt auch für die zweite Ausführungsform,

die analog zu der ersten Ausführungsform in den Figuren 2A und 2B dargestellt ist.

**[0075]** Unterschiede in der Verwendung einer Vorkammerzündkerze 18 mit Vorkammer 18' und einer Dachelektrodenzündkerze 44 mit einer Vorkammer 44' bestehen darin, dass die Dachelektrodenzündkerze 44 mit Vorkammer 44' zweiteilig ist, das heißt, Dachelektrodenzündkerze 44 und Vorkammer 44' sind zwei einzelne Komponenten, wodurch konstruktiv zwar etwas mehr Platzbedarf besteht, jedoch können die Komponenten einzeln gewechselt werden. Dieser Unterschied ist insbesondere für den Wechselintervall der Zündkerzen von Bedeutung und von Vorteil, da eine Zündkerze in der Regel nicht die gesamte Fahrzeugglebensdauer funktioniert.

### Bezugszeichenliste

#### [0076]

20	10	Zündsystem
	12	Verbrennungskraftmaschine, Verbrennungsmotor
	16	Brennraum
25	18	Vorkammerzündkerze
	18'	Vorkammer der Vorkammerzündkerze
	20	erste Elektrode, Mittelelektrode
	22	Hochspannungsausgang
	24	Hochspannungsquelle, Zündspule
30	26	zweite Elektrode; Massenelektrode
	30	Hochfrequenzausgang
	32	Hochfrequenz-Generator
	34	Zündfunken
	36	Hochfrequenzplasma
35	40	Leistungsverstärker
	42	Abdeckkappe
	44	Dachelektrodenzündkerze
	44'	Vorkammer der Dachelektrodenzündkerze
40	44'-1	Öffnungen in der Vorkammer der Dachelektrodenzündkerze
	46	Öffnungen in der Abdeckkappe der Vorkammerzündkerze
	48	Motorblock
	50	Ansaugkrümmer
45	52	Einspritzdüse
	54	Kolben
	56	Zündkabel
	58	Isolator
	60	Steuerventil
50	62	Abgaskrümmer

### Patentansprüche

- 55 1. Zündsystem (10) für eine fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine (12), wobei die Fremdzündung des Kraftstoffs durch mindestens eine einem Brennraum (16) der Verbrennungskraftmaschine (12) zu-

- geordnete Zündkerze (18, 44) realisiert wird, wobei eine erste Elektrode (20) der Zündkerze (18) mit einem Hochspannungsausgang (22) einer Hochspannungsquelle (24) elektrisch verbunden und eine zweite Elektrode (26) als Massekontakt (26) ausgebildet ist, wobei die erste Elektrode (20) der Zündkerze (18, 44) mit einer Zündanlage (24, 32, 40) gekoppelt wird, die einen Hochfrequenzausgang (30) aufweist, an dem eine Hochfrequenzspannung anliegt, wobei der Hochspannungsausgang (22) der Hochspannungsquelle (24) der Zündkerze (18, 44) und der Hochfrequenzausgang (30) miteinander elektrisch verbunden werden, so dass ein durch die Hochspannungsquelle (24) der Zündkerze (18, 44) zwischen erster Elektrode (20) und zweiter Elektrode (26) am Hochspannungsausgang (22) der Hochspannungsquelle (24) ausgebildeter Spannungspfad zur Erzeugung der Funkenentladung eines Zündfunkens (34) mit der am Hochfrequenzausgang (30) anliegenden Hochfrequenzspannung verstärkt wird, indem die Hochfrequenzspannung über den Hochfrequenzausgang (30) in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle (24) eingekoppelt wird, wodurch am/im Zündfunken (34) ein Hochfrequenzplasma (36) einkoppelbar ist, welches durch einen zusätzlichen Energieeintrag in den Zündfunken (34) und ein erhöhtes Zündfunkenvolumen die Zündsicherheit des Kraftstoffs im Brennraum (16) erhöht, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Zündkerze (18, 44) eine Vorkammer (18', 44') mit mindestens einer Öffnung (46, 44'-1) aufweist, welche die Vorkammer (18', 44') mit dem Brennraum (16) kraftstoffseitig verbindet, so dass der Zündfunken (34) in der Vorkammer (18', 44'), in den das Hochfrequenzplasma (36) einkoppelbar ist, die plasmagestützte Fremdzündung des Kraftstoffs in der Vorkammer (18', 44') bewirkt.
2. Zündsystem (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündanlage (24, 32, 40) einen HF-Generator (32) und einen Leistungsverstärker (40) umfasst.
3. Zündsystem (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Brennraum (16) mindestens ein Sensor angeordnet ist, welcher mindestens einen Zündparameter des Kraftstoff erfasst.
4. Zündverfahren für eine fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine (12), wobei die Fremdzündung des Kraftstoffs durch mindestens eine einem Brennraum (16) der Verbrennungskraftmaschine (12) zu geordnete Zündkerze (18, 44) realisiert wird, wobei eine erste Elektrode (20) der Zündkerze (18) mit einem Hochspannungsausgang (22) einer Hochspannungsquelle (24) elektrisch verbunden und eine zweite Elektrode (26) als Massekontakt (26) ausgebildet ist, wobei die erste Elektrode (20) der Zündkerze (18, 44) mit einer Zündanlage (24, 32, 40) gekoppelt ist, die einen Hochfrequenzausgang (30) aufweist, an dem eine Hochfrequenzspannung anliegt, wobei der Hochspannungsausgang (22) der Hochspannungsquelle (24) der Zündkerze (18, 44) und der Hochfrequenzausgang (30) miteinander elektrisch verbunden sind, so dass ein durch die Hochspannungsquelle (24) der Zündkerze (18, 44) zwischen erster Elektrode (20) und zweiter Elektrode (26) am Hochspannungsausgang (22) der Hochspannungsquelle (24) ausgebildeter Spannungspfad zur Erzeugung der Funkenentladung eines Zündfunkens (34) mit der am Hochfrequenzausgang (30) anliegenden Hochfrequenzspannung verstärkt wird, indem die Hochfrequenzspannung über den Hochfrequenzausgang (30) in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle (24) eingekoppelt wird, wodurch am/im Zündfunken (34) ein Hochfrequenzplasma (36) einkoppelbar ist, welches durch einen zusätzlichen Energieeintrag in den Zündfunken (34) und ein erhöhtes Zündfunkenvolumen die Zündsicherheit des Kraftstoffs im Brennraum (16) erhöht, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Zündkerze (18, 44) eine Vorkammer (18', 44') mit mindestens einer Öffnung (46, 44'-1) aufweist, welche die Vorkammer (18', 44') mit dem Brennraum (16) kraftstoffseitig verbindet, so dass der Zündfunken (34) in der Vorkammer (18', 44'), in den das Hochfrequenzplasma (36) einkoppelbar ist, gebildet wird, so dass eine plasmagestützte Fremdzündung des Kraftstoffs in der Vorkammer (18', 44') bewirkt wird.
5. Zündverfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Einkopplung der Hochfrequenzspannung in den Spannungspfad der Hochspannungsquelle (24) am Ausgang der Zündanlage (24, 32, 40) ein Hochspannungsimpuls mit einer überlagerten Hochfrequenzspannung gebildet wird.
6. Zündverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Hochfrequenzplasma (36) zu einem vorgebbaren Initiierungszeitpunkt
- vor der Zündung des Zündfunkens (34) oder
  - zeitgleich zur Zündung des Zündfunkens (34) oder
  - nach der Zündung des Zündfunkens (34) erzeugt und in den Zündfunken (34) eingekoppelt wird.
7. Zündverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündanlage (24, 32, 40) eingerichtet ist, das Hochfrequenzplasma (36)
- spätestens 0,5 ms vor der Zündung des Zündfunkens (34) oder
  - spätestens 0,5 ms nach der Zündung des

- Zündfunkens (34)  
zu initiieren, zu erzeugen und einzukoppeln.
8. Zündverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Hochfrequenzplasma (36) ab dem Initiierungszeitpunkt für eine vorgebbare Brenndauer bis zu 2,5 ms aufrechterhalten wird. 5
9. Zündverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brenndauer des Hochfrequenzplasmas (36) variabel ist und in Abhängigkeit von sensorisch im Brennraum (16) erfassten Zündparametern des Kraftstoffs variiert wird.
10. Zündverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brenndauer in Abhängigkeit der sensorisch erfassten Zündparameter bei schlechten Zündparametern verlängert und bei guten Zündparametern verkürzt wird, wobei bei guten Zündparametern eine Brenndauer des Hochfrequenzplasmas (36) von < 1 ms eingestellt oder die Erzeugung des Hochfrequenzplasmas (36) eingestellt wird. 15 20
11. Zündverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eingekoppelte Hochfrequenzspannung am Hochfrequenzausgang (30) des Leistungsverstärkers (40) eine Frequenz von 1 bis 20 MHz, insbesondere 8 bis 12 MHz, und eine Spannung innerhalb einer Spannungsamplitude zwischen 0,1 kV und 30 kV, insbesondere zwischen 0,4 kV und 1 kV, aufweist. 25 30
12. Zündverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Spannungsrampe am Hochspannungsausgang (22) der Hochspannungsquelle (24) beim Einkoppeln in den Spannungspfad durch die von dem HF-Generator (32) über den Leistungsverstärker (40) am Hochfrequenzausgang (30) erzeugte Hochfrequenzspannung der Hochspannungsquelle (24) überlagert wird, die sich konstruktiv auf den Zündspannungsbedarf der Hochspannungsquelle (24) auswirkt, so dass sich der Zündspannungsbedarf der Hochspannungsquelle (24) am Hochspannungsausgang (22) der Hochspannungsquelle (24) verringert. 35 40 45
13. Zündverfahren nach mindestens einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Kraftstoff-Luft-Gemisch oder ein Kraftstoff-Luft-Abgas-Gemisch im Brennraum (16) hinsichtlich mindestens eines Zündparameters durch mindestens einen Sensor erfasst wird und die Zündung der Zündkerze (24) und die Erzeugung des Hochfrequenzplasmas (36) in Abhängigkeit von mindestens einem der erfassten Zündparameter erfolgt, wobei mindestens eine Ist-Betriebsgröße, insbesondere die Frequenz der Hochfrequenzspannung und/oder die Spannungsamplitude und/oder der Initiierungszeitpunkt zur Erzeugung des Hochfrequenzplasmas (36) mit einem zusätzlichen Energieeintrag in den Zündfunken (34) und/oder einem vergrößerten Zündfunkenvolumen durch das eingekoppelte Hochfrequenzplasma (36) in Abhängigkeit der Größe des mindestens einen erfassten Zündparameters an die mindestens eine vorgebbare Soll-Ist-Betriebsgröße angepasst wird. 50 55
14. Zündverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zündparameter eine Größe der Ladungsverdünnung des Kraftstoffs erfasst wird, der durch Abmagerung oder durch externe oder interne Restgasrückführung des Kraftstoffs im Brennraum (16) zum Zündzeitpunkt des Zündfunkens (34) der Zündkerze (24) vorliegt.

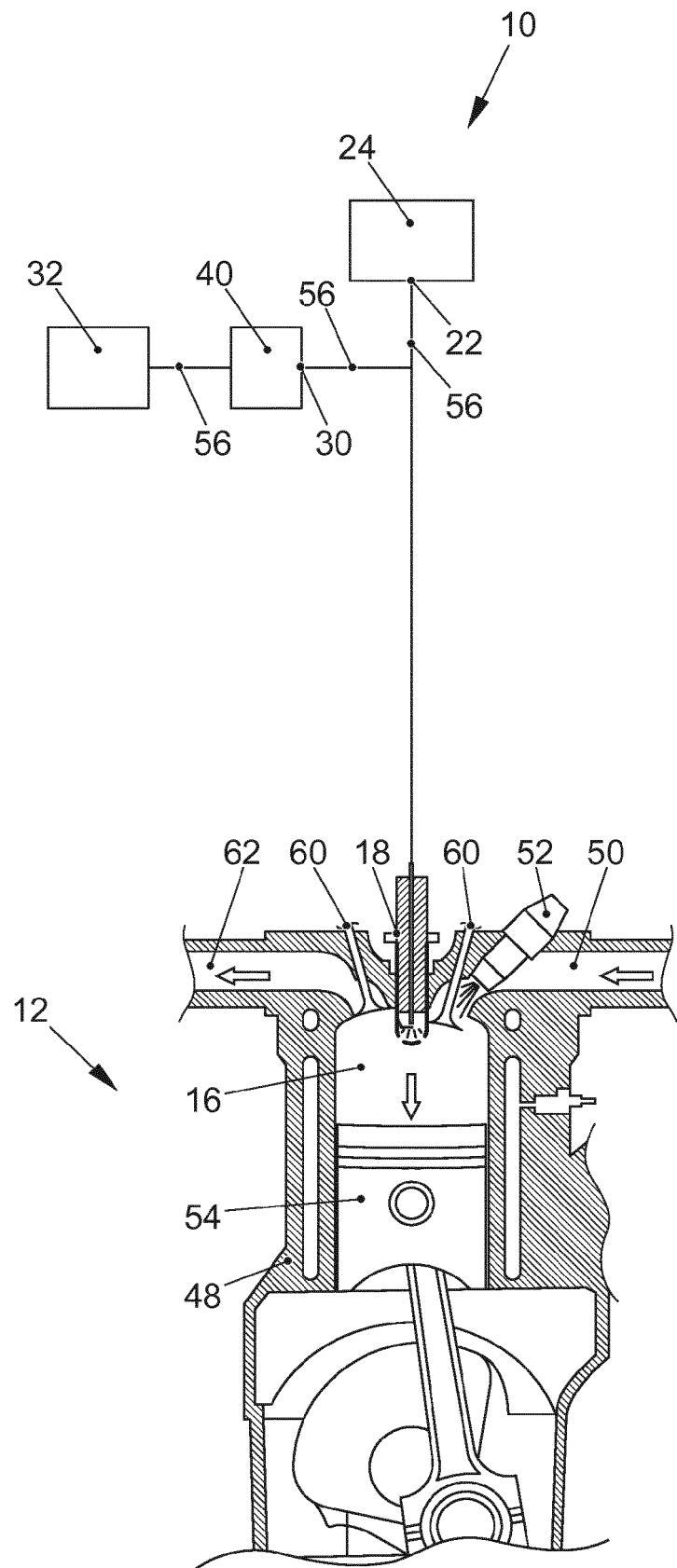


FIG. 1A

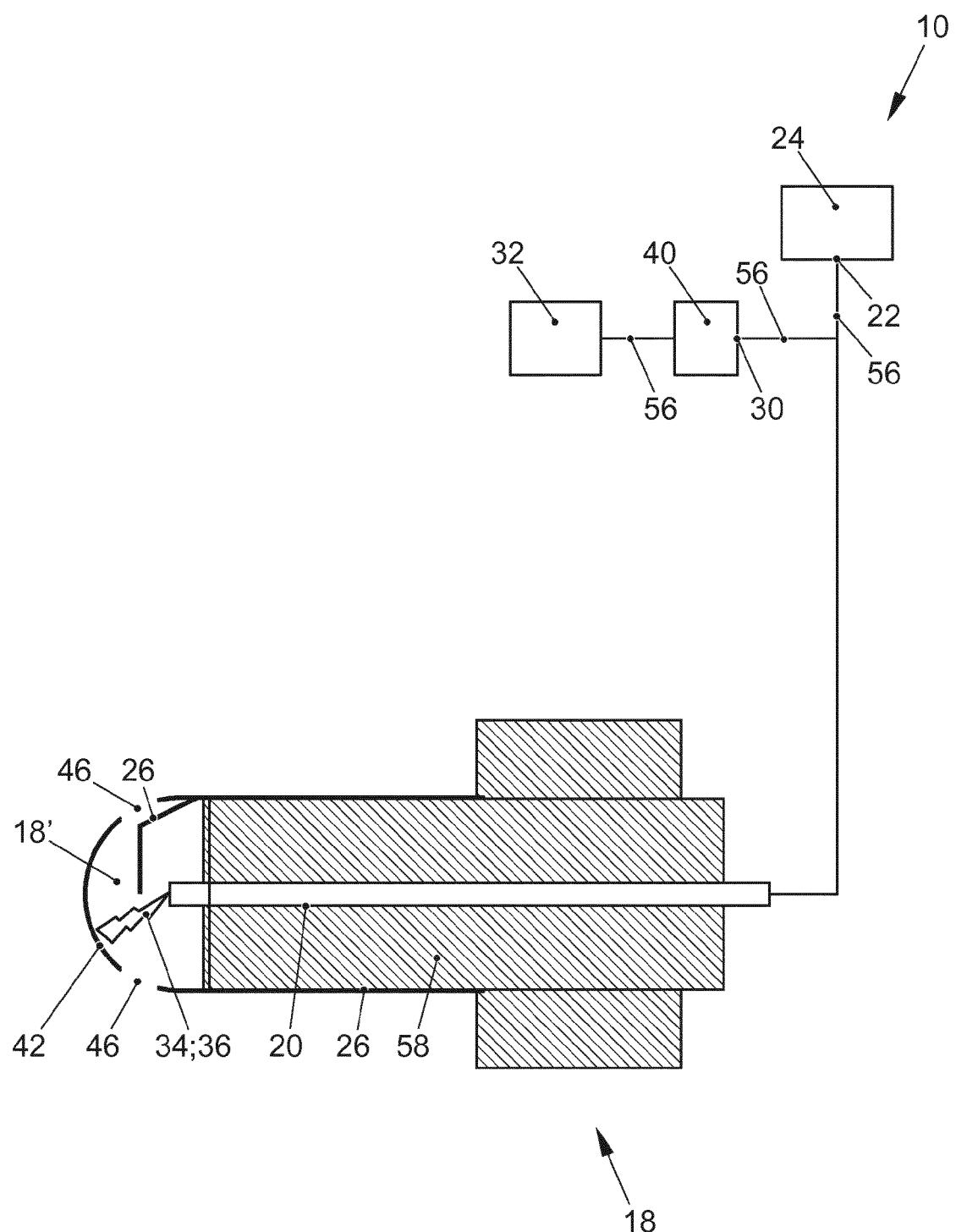


FIG. 1B

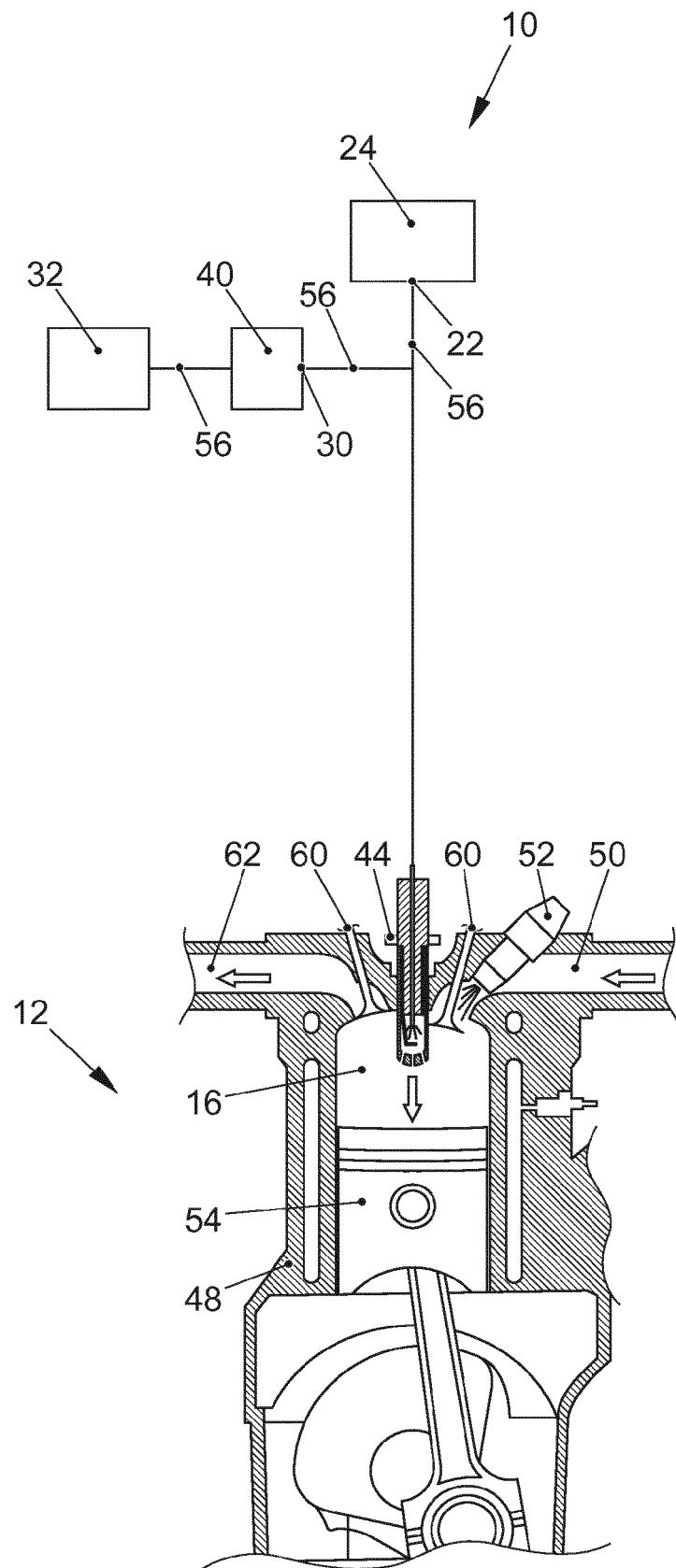


FIG. 2A

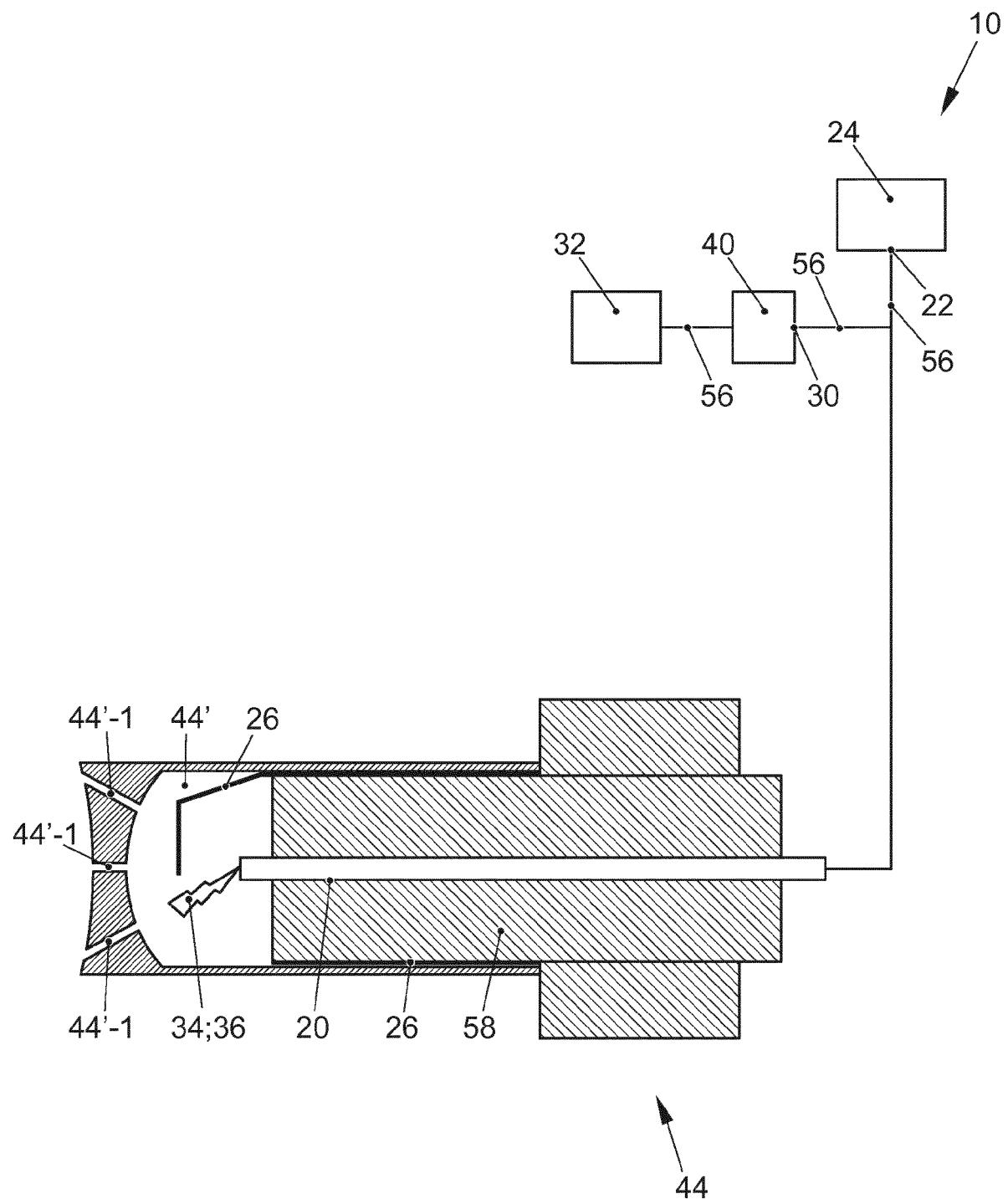


FIG. 2B



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 19 20 1483

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10 X	US 2018/135506 A1 (GROVER JR RONALD O [US] ET AL) 17. Mai 2018 (2018-05-17) * Absatz [0008] - Absatz [0009] * * Absatz [0021] - Absatz [0022] * * Absatz [0026] * * Absatz [0028] * * Abbildungen 1, 2 *	1-6,8-13 7,14	INV. F02P23/04 F02M27/04 F02P9/00
15 X	DE 10 2008 062574 A1 (GE JENBACHER GMBH & CO OHG [AT]; BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17. Juni 2010 (2010-06-17) * Absatz [0033] * * Abbildung 1 *	1-6 7-14	
20 A	DE 10 2010 041908 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 16. Juni 2011 (2011-06-16) * Absatz [0013] * * Abbildung 2 *	1-14	
25 A	DE 10 2010 000349 B3 (GOLDAMMER STEFAN [DE]) 24. November 2011 (2011-11-24) * Absatz [0017] * * Abbildung 2 *	1-14	
30 A	-----		RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
	-----		F02P F02M
35			
40			
45			
50 1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 20. November 2019	Prüfer De Vita, Diego
	KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
	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		

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

EP 19 20 1483

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente 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.

20-11-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 2018135506 A1	17-05-2018	CN 108071546 A DE 102017126611 A1 US 2018135506 A1	25-05-2018 17-05-2018 17-05-2018
20	DE 102008062574 A1	17-06-2010	DE 102008062574 A1 EP 2379859 A1 WO 2010072519 A1	17-06-2010 26-10-2011 01-07-2010
25	DE 102010041908 A1	16-06-2011	DE 102010041908 A1 EP 2510222 A1 US 2012304958 A1 WO 2011069731 A1	16-06-2011 17-10-2012 06-12-2012 16-06-2011
30	DE 102010000349 B3	24-11-2011	KEINE	
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- WO 2017167437 A1 [0005]
- WO 2017108389 A1 [0006]
- DE 102015114718 A1 [0007]
- DE 102017214641 A1 [0008]
- DE 102004058925 A1 [0009]
- DE 102014202520 B3 [0010]