

(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  
29. Juni 2017 (29.06.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/108389 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01T 13/50 (2006.01) H01T 13/22 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/079876

(22) Internationales Anmeldedatum:  
6. Dezember 2016 (06.12.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2015 226 402.5  
22. Dezember 2015 (22.12.2015) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **GRZESZIK, Roman**; Paracelsusstrasse 30,  
71229 Leonberg (DE). **STAUDT, Michael**; Jakob-Ringler-  
Allee 12, 71638 Ludwigsburg (DE). **MANZ, Andreas**;  
Wolfgangsklinge 28, 73479 Ellwangen (DE). **ECKERT,  
Andreas**; Aternstr. 9, 70825 Korntal-Muenchingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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.

(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).

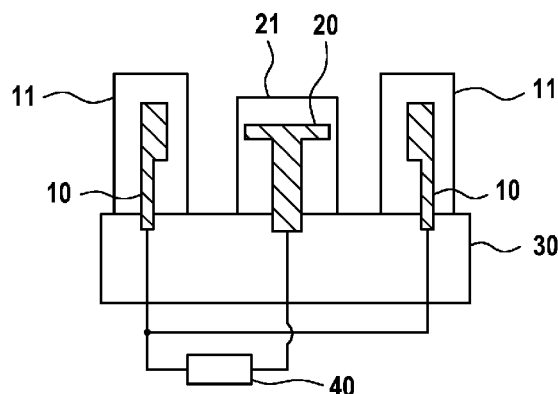
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

(54) Title: IGNITION DEVICE FOR IGNITING A FUEL-AIR MIXTURE

(54) Bezeichnung : ZÜNDVORRICHTUNG ZUM ZÜNDEN EINES KRAFTSTOFF-LUFT-GEMISCHES

Fig. 3



(57) Abstract: The present invention relates to an ignition device (1) for igniting a fuel-air mixture based on the principle of partial discharges. For this purpose, at least one of two electrodes (10, 20) of the ignition device is completely surrounded by a dielectric medium (11, 21) made from a solid material. If an electrical voltage pulse is applied between these electrodes, then partial discharges are generated, due to the developing electrical field, which can lead to the formation of an ignition plasma and an arc. As the two electrodes are electrically insulated from one another by the dielectric medium around at least one of the electrodes, no complete discharge can occur. Therefore, a reliable and stable ignition of a fuel-air mixture can be carried out, even at high ignition voltages, without significant burn-off of the electrodes occurring.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/108389 A1



---

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Zündvorrichtung (1) zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches basierend auf dem Prinzip von Teilentladungen. Hierzu wird mindestens eine von zwei Elektroden (10, 20) der Zündvorrichtung vollständig von einem Dielektrikum (11, 21) aus einem Feststoff umschlossen. Wird ein elektrischer Spannungspuls zwischen diesen Elektroden angelegt, so werden aufgrund des sich ausbildenden elektrischen Felds Teilentladungen generiert, die zur Ausbildung eines Zündplasmas und eines Flammkerns führen können. Da die beiden Elektroden durch das Dielektrikum um mindestens eine der Elektroden voneinander elektrisch isoliert sind, kann keine vollständige Entladung erfolgen. Daher kann auch bei hohen Zündspannungen eine zuverlässige und stabile Entflammung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches erfolgen, ohne dass es zu einem signifikanten Abbrand an den der Elektroden kommt.

5 Beschreibung

Titel

Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches

10 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches in Verbrennungsmotoren.

15 Für die Zündung von Verbrennungsmotoren werden in der Automobilindustrie vorzugsweise Luft- oder Gleitfunkenkerzen mit mehr oder weniger aufwändigen Zündspulenkonzepten eingesetzt. Der Trend moderner Verbrennungsmotoren geht dabei zu Downsizing bei gleichzeitiger Abgasturboaufladung mit dem Ziel, die Schadstoffemission zu verringern. Dabei steigen die Gasdichten des Kraftstoff-Luft-Gemischs zum Zündzeitpunkt signifikant an. Dies hat eine  
20 Erhöhung des Zündspannungsbedarfs zur Folge.

Die Druckschrift DE 101 21 993 A1 offenbart ein Zündsystem für Verbrennungsmotoren mit einer zeit- und stromgesteuerten Zündendstufe mit  
25 zwei Betriebsphasen. In einer ersten Phase wird aus einer im Magnetfeld eines Zündtransformators gespeicherten Energie eine Selbstinduktionsspannung für einen Funkendurchbruch erzeugt. In einer zweiten Phase erzeugt das Zündsystem mit einer Zeitsteuerung der Zündendstufe und einer überlagerten Strombegrenzung eine Wechselfspannung für den Zündfunken.

30

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung offenbart eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

35

Demgemäß ist vorgesehen:

5 Eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches mit einem Spannungsgenerator, einem dielektrischen Trägersubstrat, einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode. Der Spannungsgenerator ist dazu ausgelegt, zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss des Spannungsgenerators einen vorbestimmten Spannungspuls bereitzustellen. Die erste Elektrode ist auf dem dielektrischen Trägersubstrat angeordnet. Ferner ist die erste Elektrode mit einem ersten Anschluss des Spannungsgenerators elektrisch verbindbar. Die zweite Elektrode ist ebenfalls auf dem dielektrischen Trägersubstrat angeordnet. Dabei ist die zweite Elektrode von der ersten Elektrode beabstandet angeordnet. Ferner ist die zweite Elektrode mit einem zweiten Anschluss des Spannungsgenerators elektrisch verbindbar. Die zweite Elektrode wird dabei von einem Dielektrikum umschlossen. Das Dielektrikum, das die zweite Elektrode umschließt umfasst ein Dielektrikum aus einem Feststoff. Das heißt, der aus dem Trägersubstrat herausragende Teil der zweiten Elektrode ist von einem festen, also nicht gasförmigen, Dielektrikum umgeben.

20 Vorteile der Erfindung

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass mit einer steigenden Zündspannung für das Zünden von Kraftstoff-Luft-Gemischen in einem Verbrennungsmotor die zum Zündzeitpunkt freigesetzte Energie erheblich (quadratisch) mit der Zündspannung ansteigt. Diese Energie wird während des Plasmadurchbruchs zwischen den beiden Elektroden einer Zündkerze innerhalb von wenigen Nanosekunden freigesetzt. Damit kann ein Elektrodenverschleiß einer solchen Zündkerze mit steigender Zündspannung zunehmen.

30 Es ist daher die Idee der vorliegenden Erfindung, dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen und eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches bereitzustellen, das eine vollständige Freisetzung der kapazitiv in der Zündkerze gespeicherten Energie vermeidet, sowie eine Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches ermöglicht, ohne dass sich hierbei eine Bogenentladung zwischen den Elektroden einer Zündkerze ausbildet.

35

Durch das vollständige Ummanteln der Elektrode mindestens einer Polarität mit einem elektrischen nicht leitfähigen Feststoff wird dabei die Ausbildung einer Bogenentladung zum Zündzeitpunkt unterbunden. Vielmehr werden freie Elektroden durch ein elektrisches Feld stark beschleunigt, so dass durch Stoßionisation Sekundärelektroden freigesetzt werden. Diese Sekundärelektroden wiederum ionisieren weitere Gasmoleküle. Es entsteht eine Elektronenlawine, die zu einem Zündplasma führt. Eine solche Zündung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches basiert auf dem Prinzip von Teilentladungen. Die Brenndauer des Plasmas beträgt in diesem Fall in der Regel weniger als eine Mikrosekunde. Im Gegensatz zu einer konventionellen Zündung, bei der die Brenndauer im Bereich von 0,5 bis 2 Millisekunden liegt, kann die thermische Belastung somit deutlich reduziert werden. Insbesondere erfolgt dabei kein Aufschmelzen des Elektrodenmaterials. Auch die steigenden Gasdichten, wie sie bei modernen Verbrennungsmotoren auftreten, nehmen dabei keinen Einfluss auf den Verschleiß der Komponenten. Somit können die Standzeiten im Vergleich zu konventionellen Zündsystemen gerade im aufgeladenen Motorbetrieb mit hohen Gasdichten signifikant gesteigert werden.

Durch geeignete Ausgestaltung der Elektrodengeometrie ist es darüber hinaus möglich, flächige Oberflächenplasmen zu generieren. Diese Oberflächenplasmen können einen Durchmesser von 10 Millimetern und mehr aufweisen. Durch derart ausgedehnte Zündplasmen haben auch lokale Inhomogenitäten des Kraftstoff-Luft-Gemisches nur einen geringen Einfluss. Daher können auch Gemische an der Magergrenze sowie Gemische mit hohem Abgasanteil sicher entzündet werden. Das ausgedehnte Zündplasma der erfindungsgemäßen Zündvorrichtung führt dabei insbesondere zu einer Entzündung eines genügend großen Brennraumvolumens. Auf diese Weise kann eine besonders stabile Verbrennung erreicht werden.

Ferner ist es möglich, die Elektroden als wärmeabführende Elemente auszulegen. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass es zum Auftreten von Glühzündungen kommt, selbst wenn die Oberfläche der Zündvorrichtung in den Brennraum hineinragt.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Zündvorrichtung eine Mehrzahl von ersten Elektroden und/oder eine Mehrzahl zweiter Elektroden. Beispielsweise kann eine von dem Dielektrikum umschlossene zweite Elektrode von mehreren ersten Elektroden umgeben sein. Auf diese Weise ist es möglich, dass sich  
5 zwischen jeder der ersten Elektroden und der gemeinsamen zweiten Elektrode ein Zündplasma ausbilden kann. Darüber hinaus können auch sowohl mehrere erste Elektroden, als auch mehrere von einem Dielektrikum umschlossene zweite Elektroden vorgesehen sein. Auf diese Weise können in einem großen Bereich des Brennraums Zündplasmen generiert werden. Dies führt zu einer besonders  
10 sicheren und stabilen Entflammung des Kraftstoff-Luft-Gemisches.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind auf dem dielektrischen Trägersubstrat jeweils abwechselnd eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode nebeneinander angeordnet. Dabei sind beliebige Ausgestaltungen für  
15 eine derartige Anordnung der ersten und zweiten Elektrode möglich. Beispielsweise können die ersten Elektroden und die zweiten Elektroden als konzentrische Ringelektroden auf dem Trägersubstrat angeordnet werden. Darüber hinaus sind auch streifenförmige Anordnungen für die ersten Elektroden und/oder die zweiten Elektroden möglich. Ferner können die ersten Elektroden  
20 und/oder die zweiten Elektroden auch als einzelne Pins (zylinderförmige Elektroden) oder beliebige weitere Geometrien ausgeführt werden. Insbesondere können die Ausgestaltung der einzelnen Elektroden sowie die Anordnung der Elektroden auf dem Trägersubstrat an das jeweilige Brennraumvolumen angepasst sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die erste Elektrode ebenfalls von einem weiteren Dielektrikum vollständig umschlossen. Auch dieses weitere Dielektrikum umfasst einen Feststoff. Insbesondere kann es sich bei dem  
25 weiteren Dielektrikum um das gleiche Dielektrikum handeln, mit dem auch die zweite Elektrode umschlossen ist. Dies ermöglicht insbesondere eine Ansteuerung der Elektroden mit beliebiger Polarität.  
30

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die erste Elektrode und die zweite Elektrode von einem gemeinsamen Dielektrikum umschlossen. Auf diese Weise

können sich an der Oberfläche dieses gemeinsamen Dielektrikums Teilentladungen zum Entzünden des Kraftstoff-Luft-Gemisches ausbilden.

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist eine von der von dem Trägersubstrat wegweisende Oberfläche des Dielektrikums eine sphärische Oberfläche auf. Alternativ kann die Oberfläche des Dielektrikums auch eine ebene Oberfläche aufweisen. Insbesondere kann die Oberfläche des Dielektrikums an das Volumen eines Brennraums angepasst sein. Auf diese Weise kann die Zündvorrichtung und ganz besonders die Oberfläche, an der sich die Teilentladungen zum Entzünden des Kraftstoff-Luft-Gemisches ausbilden, an den jeweiligen Brennraum angepasst werden.

15  
20  
25  
30  
35

Gemäß einer Ausführungsform ist der Spannungsgenerator dazu ausgelegt, eine Mehrzahl von vorbestimmten Spannungspulsen bereitzustellen. Dabei kann die Mehrzahl der Spannungspulse eine Mehrzahl von Spannungspulsen mit äquidistanten Zeitintervallen umfassen. Beispielsweise kann die Abfolge der Spannungspulse mit einer Frequenz im Bereich von etwa 100 kHz bereitgestellt werden. Durch das Bereitstellen von mehreren nacheinander folgenden Spannungspulsen kann dabei die Zuverlässigkeit für das Zünden des Kraftstoff-Luft-Gemisches gesteigert werden. Bei zu hoher thermischer Belastung der Oberflächen, z.B. bei Motornennlast, kann der Abstand und/oder die Anzahl der Spannungspulse reduziert werden. Für die effiziente Erzeugung von Sekundärelektroden kann sich der erste Spannungspuls bezüglich Form, Dauer, Spannungshöhe und/oder Abstand deutlich von den Folgepulsen unterscheiden.

25  
30  
35

Gemäß einer Ausführungsform weisen nacheinander generierte Spannungspulse des Spannungsgenerators dabei ein alternierendes Vorzeichen auf. Durch Umpolen der Polarität der Elektroden für den nächsten Spannungspuls können Folgeplasmen für weitere Flammkerne besonders effizient ausgebildet werden.

30  
35

Gemäß einer Ausführungsform ist die Pulsdauer eines Spannungspulses kleiner oder gleich einer Mikrosekunde. Durch solche besonders kurze Spannungspulse kann eine für die Zündvorrichtung besonders schonende Entzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches erreicht werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der Spannungspuls einen Spannungspuls mit einer Amplitude von mehr als 30 Kilovolt, insbesondere mehr als 36 Kilovolt oder mehr als 40 Kilovolt. Gerade bei Kraftstoff-Luft-Gemischen mit einem hohen Gasdruck, die eine hohe Spannungsamplitude erfordern, kann eine besonders schonende Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches mit hoher Standzeit der Zündelektroden und des Dielektrikums erreicht werden.

Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig ineinander kombinieren. Weitere Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich den Ausführungsbeispielen beschriebenen Merkmalen der Erfindung. Insbesondere wird der Fachmann dabei auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

Figur 1: eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Zündvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Figur 2: eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Zündvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Figur 3: eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Zündvorrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel; und

Figur 4: eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Zündvorrichtung gemäß noch einem weiteren Ausführungsbeispiel.

## Ausführungsformen der Erfindung

In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen – sofern nicht anders angegeben – mit gleichen Bezugszeichen versehen.

5

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Zündvorrichtung 1 gemäß einem Ausführungsbeispiel. Die Zündvorrichtung 1 umfasst ein dielektrisches Trägersubstrat 30, auf dem eine erste Elektrode 10 und eine zweite Elektrode 20 angeordnet sind. Die zweite Elektrode 20 ist dabei vollständig von einem Dielektrikum aus einem Feststoff umschlossen. Unter dem Begriff „vollständig umschlossen“ ist dabei zu verstehen, dass der aus dem dielektrischen Trägersubstrat 30 herausragende Teil der zweiten Elektrode 20 komplett von dem Dielektrikum 21 umgeben ist. Somit ist die zweite Elektrode 20 gegenüber der ersten Elektrode 10 mittels des Dielektrikums 21 vollständig elektrisch isoliert. Zwischen der ersten Elektrode 10 und der von einem Dielektrikum 21 umschlossenen zweiten Elektrode 20 ist ein Zwischenraum vorgesehen. In diesem Zwischenraum kann sich zum Entzünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches ein Zündplasma ausbilden. Dies wird im Nachfolgenden noch näher erläutert.

20

Das dielektrische Trägersubstrat 30 kann dabei aus einem beliebigen elektrisch isolierenden Material bestehen. Dabei sind selbstverständlich die Anforderungen bezüglich mechanischer Stabilität, Temperaturbeständigkeit und Spannungsfestigkeit des dielektrischen Trägersubstrats 30 zu berücksichtigen. Beispielsweise kann das dielektrische Trägersubstrat 30 eine Keramik umfassen, in die die erste Elektrode 10 und die zweite Elektrode 20 zumindest teilweise eingebettet sind.

30

Das Dielektrikum 21, welches die zweite Elektrode 20 umschließt, kann ebenfalls einen beliebigen elektrisch isolierenden Feststoff umfassen. Auch hier sind Anforderungen bezüglich Spannungsfestigkeit, mechanischer Stabilität und Temperaturbeständigkeit gemäß den Bedingungen in einem Brennraum, in dem das Kraftstoff-Luft-Gemisch verbrannt werden soll, zu berücksichtigen. Beispielsweise kann das Dielektrikum 21, welches die zweite Elektrode 20 umschließt, eine Keramik umfassen. Die erste Elektrode 10 und die zweite

35

5 Elektrode 20 können jeweils aus einem beliebigen elektrisch leitfähigen Material hergestellt sein, welches den Anforderungen bezüglich dem im Brennraum herrschenden Rahmenbedingungen genügt. Beispielsweise können die erste Elektrode 10 und/oder die zweite Elektrode 20 ein Material umfassen, welches auch für Elektroden konventioneller Zündkerzen eingesetzt wird. Da während der Ausbildung eines Zündplasmas zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 jedoch kein hoher elektrischer Strom mit einer großen Energiedichte fließt, werden bezüglich einer Robustheit gegen Abbrand an die Elektroden 10 und 20 keine hohen Anforderungen gestellt. Vorzugsweise umfassen die erste Elektrode 10 und die zweite Elektrode 20 ein Metall mit einer hohen thermischen Leitfähigkeit. Auf diese Weise kann die Wärmeenergie vom Brennraum sehr gut abgeführt werden. Hierzu kann beispielsweise die erste Elektrode 10 und/oder die zweite Elektrode 20 mit einer Kühleinrichtung (hier nicht dargestellt) thermisch gekoppelt werden. Beispielsweise kann sich eine solche Kühleinrichtung auf einer Seite des dielektrischen Trägersubstrats 30 befinden, welche der Seite gegenüberliegt, auf der die erste Elektrode 10 und die zweite Elektrode 20 angeordnet sind. Zur Vermeidung thermischer Spannungen kann für das Material der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 ein Material gewählt werden, welches einen zumindest annähernd gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizient hat wie das dielektrische Trägersubstrat 30 und/oder das Dielektrikum 21, welches die zweite Elektrode 20 umschließt.

Für die Ausbildung eines Zündplasmas zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 können die beiden Elektroden 10, 20 mit einem Spannungsgenerator 40 elektrisch verbunden werden. Bei dem Spannungsgenerator 40 kann es sich um einen beliebigen, geeigneten Spannungsgenerator zur Erzeugung des erforderlichen Spannungspulses handeln. Auf diese Weise kann der Spannungsgenerator 40 zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 eine elektrische Spannung anlegen. Insbesondere kann der Spannungsgenerator 40 zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 einen Gleichspannungsimpuls mit einer vorbestimmten Amplitude und einer vorbestimmten Zeitdauer anlegen. Beispielsweise kann es sich bei diesem Gleichspannungsimpuls um einen rechteckförmigen Gleichspannungsimpuls handeln. Ein solcher Gleichspannungsimpuls kann beispielsweise eine Amplitude von 20 Kilovolt, 30

Kilovolt, 36 Kilovolt oder mehr aufweisen. Beispielsweise kann die erste Elektrode 10 mit einem ersten Anschluss 41 des Spannungsgenerators 40 elektrisch verbunden werden, und die zweite Elektrode 20 kann mit einem zweiten Anschluss 42 des Spannungsgenerators 40 elektrisch verbunden werden. Dabei kann zum Beispiel durch den Spannungsgenerator 40 ein Spannungspuls bereitgestellt werden, bei dem das Spannungspotential an dem zweiten Anschluss 42 höher ist, als an dem ersten Anschluss 41.

Nach Anlegen eines Spannungsimpulses zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 durch den Spannungsgenerator 40 wird zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 ein elektrisches Feld erzeugt. Insbesondere wenn mindestens eine der beiden Elektroden 10, 20 eine oder mehrere Spitzen oder Kanten aufweist, so handelt es sich bei diesem elektrischen Feld um ein inhomogenes elektrisches Feld. Dabei werden freie Elektronen von der ersten Elektrode 10 (Kathode) in Richtung der zweiten Elektrode 20 (Anode) beschleunigt. Hierbei erzeugen die Elektronen durch Stöße mit neutralen Gasmolekülen zunächst Sekundärelektronen. Im weiteren Verlauf resultieren hieraus Elektronenlawinen. Auf diese Weise kann sich zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 ein Zündplasma und anschließend ein Flammkern ausbilden.

Haben die Elektronen das Dielektrikum 21 um die zweite Elektrode 20 erreicht, so wird das sich zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 ausbildende elektrische Feld abgeschirmt. Hierdurch werden die entstandenen Zündplasmen erlöschen. Durch Umpolen der Elektroden 10 und 20, das heißt durch einen Spannungspuls mit umgekehrter Polarität, können sich die Elektronen von der Oberfläche des Dielektrikums 21 um die zweite Elektrode 20 lösen und werden anschließend in Richtung der ersten Elektrode 10 beschleunigt. Somit werden ebenfalls wieder Sekundärelektronen und anschließend Elektronenlawinen erzeugt, die zu weiteren Zündplasmen führen können.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Zündvorrichtung gemäß einer Ausführungsform. Diese Ausführungsform stimmt im Wesentlichen mit der zuvor beschriebenen Ausführungsform überein, wobei in

diesem Fall mehrere erste Elektroden 10 vorgesehen sind. Die hier gewählte Anzahl von vier ersten Elektroden 10 und einer zweiten Elektrode 20 dient dabei lediglich dem besseren Verständnis und stellt keine Beschränkung der Erfindung dar. Insbesondere können auch mehr oder weniger als vier erste Elektroden 10 und auch gegebenenfalls mehr als nur eine zweite Elektrode 20 vorgesehen sein.

Wie dabei zu erkennen ist, können um eine zweite Elektrode 20 jeweils mehr als nur eine erste Elektrode 10 angeordnet sein. Vorzugsweise haben dabei alle ersten Elektroden 10 jeweils einen zumindest annähernd gleichen Abstand zu der zweiten Elektrode 20. Auf diese Weise ist es möglich, jeweils zwischen einer ersten Elektrode 10 und einer zweiten Elektrode 20 ein Zündplasma zu generieren. Durch das gleichzeitige Erzeugen mehrerer Zündplasmen kann somit die Zuverlässigkeit der Entzündung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches gesteigert werden. Selbst bei lokalen Inhomogenitäten des Kraftstoff-Luft-Gemisches kann auf diese Weise eine zuverlässige Zündung des Gemisches gewährleistet werden.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Zündvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform. Diese Ausführungsform ist mit den zuvor beschriebenen Ausführungsformen weitestgehend identisch. Sie unterscheidet sich insbesondere dadurch von den voraufgegangenen Ausführungsformen, dass nicht nur die zweite Elektrode 20 von einem Dielektrikum 21 umschlossen ist, sondern auch die ersten Elektroden 10 von einem Dielektrikum 11 aus einem Feststoff umschlossen sind. Die in diesem Ausführungsbeispiel gebildete Anzahl von zwei ersten Elektroden 10 und einer zweiten Elektrode 20 dient dabei lediglich dem Verständnis und stellt keine Beschränkung der Erfindung dar. Insbesondere wenn, wie hier dargestellt, sowohl die ersten Elektroden 10 als auch die zweiten Elektroden 20 von einem Dielektrikum 11, 12 umschlossen sind, ist es sehr gut möglich, durch einmaliges oder mehrfaches Umpolen der von dem Spannungsgenerator 40 bereitgestellten Spannungspulse die sich an der Oberfläche des jeweiligen Dielektrikums 11 bzw. 21 gesammelten Elektronen erneut in Richtung der gegenüberliegenden Elektrode zu beschleunigen. Durch mehrfaches Umpolen kann somit die

Entflammungswahrscheinlichkeit eines Kraftstoff-Luft-Gemisches gesteigert weiter werden.

5 Für die Ausbildung der im Vorlaufenden beschriebenen Teilentladungen zwischen der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 sind dabei Spannungspulse mit einer Zeitdauer von etwa 10 Mikrosekunden ausreichend. Wie zuvor ebenfalls bereits beschrieben, kann durch abwechselndes Umpolen der Zündspannung zwischen den beiden Elektroden 10, 20 die Zündwahrscheinlichkeit gesteigert werden. Dabei kann das Umpolen der  
10 Spannungspulse beispielsweise mit einer Frequenz von 100 kHz wiederholt werden.

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels für eine Zündvorrichtung 1 zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches. Diese  
15 Ausführungsform ist mit den zuvor beschriebenen Ausführungsformen weitestgehend identisch und unterscheidet sich nur darin, dass hierbei alle ersten Elektroden 10 und alle zweiten Elektroden 20 von einem gemeinsamen Dielektrikum 21 umschlossen sind. Dabei können sich an der Oberfläche 21a  
20 jeweils zwischen zwei Elektroden 10, 20 unterschiedlicher Polarität Teilentladungen ausbilden, die wie zuvor beschrieben zu einem Zündplasma führen können, welches ein Kraftstoff-Luft-Gemisch an der Oberfläche 21a der Zündvorrichtung 1 entzündet. Die Anordnung mehrerer erster Elektroden 10 und mehrerer zweiter Elektroden 20 innerhalb eines gemeinsamen Dielektrikums 21 aus einem Feststoff ermöglicht dabei die Ausbildung von Oberflächenplasmen  
25 mit relativ großen Durchmessern. Insbesondere sind dabei Zündplasmen mit einem Durchmesser von 10 Millimeter und mehr möglich. Die Oberfläche 21a des Dielektrikums 21 kann dabei an die Geometrie eines Brennraums angepasst werden, in dem das Kraftstoff-Luft-Gemisch verbrannt werden soll. Insbesondere ist es dabei auch möglich, einen größeren flächigen Bereich des Brennraums mit der zuvor beschriebenen Zündvorrichtung 1 zu versehen. Auf diese Weise kann  
30 selbst bei stark inhomogenen Kraftstoff-Luft-Gemischen noch eine zuverlässige Entzündung derartiger Gemische erreicht werden. Ferner ist es auch möglich, die zuvor beschriebenen Zündvorrichtungen 1 an mehreren Stellen innerhalb des Brennraums vorzusehen und somit Zündplasmen an mehreren Stellen innerhalb  
35 des Brennraums zu generieren.

Die zuvor beschriebene Zündvorrichtung 1 eignet sich besonders gut für die Entzündung von Kraftstoff-Luft-Gemischen in Kraftfahrzeugen. Insbesondere ist die Zündvorrichtung 1 gut für die Entzündung von Kraftstoff-Luft-Gemischen in Mager- und/oder Hoch-AGR-Brennverfahren geeignet. Darüber hinaus können die erfindungsgemäßen Zündvorrichtungen 1 auch für die Entzündung von Kraftstoff-Luft-Gemischen in beliebigen weiteren Verbrennungsmotoren oder Turbinen, wie zum Beispiel Flugzeugturbinen, eingesetzt werden.

Die Geometrie der ersten Elektrode 10 bzw. der zweiten Elektrode 20 ist dabei nicht auf die zuvor beschriebenen und in den Figuren dargestellten Geometrien beschränkt. Darüber hinaus sind auch beliebige weitere Ausgestaltungen für die Geometrien der ersten Elektrode 10 und der zweiten Elektrode 20 möglich. Insbesondere können die ersten und zweiten Elektroden 10 und 20 auch als ringförmige Elektrodenanordnungen auf einem Trägersubstrat 30 angeordnet werden. Dabei sind insbesondere auch mehrere konzentrische Ringe möglich, wobei sich jeweils von innen nach außen erste und zweite Elektroden 10, 20 abwechseln. Darüber hinaus sind auch streifenförmige Elektroden, insbesondere mehrere sich abwechselnde Streifen von ersten und zweiten Elektroden 10, 20 möglich. Ferner können die einzelnen Elektroden 10, 20 auch als einzelne Pins, z.B. in Form von Zylindern, ausgestaltet sein, die aus einem Trägersubstrat 30 herausragen. Weitere beliebige Ausgestaltungen für die ersten Elektroden 10 sowie die zweiten Elektroden 20 sind darüber hinaus ebenso möglich. Insbesondere können sowohl an den ersten Elektroden 10 als auch an den zweiten Elektroden 20 gegebenenfalls Spitzen, Kanten oder beliebige weitere geometrische Elemente vorgesehen sein, die zu einer Inhomogenität eines elektrischen Feldes zwischen einer ersten Elektrode 10 und einer zweiten Elektrode 20 führen.

Zusammenfassend betrifft die vorliegende Erfindung eine Zündvorrichtung zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches basierend auf dem Prinzip von Teilentladungen. Hierzu wird mindestens eine von zwei Elektroden der Zündvorrichtung vollständig von einem Dielektrikum aus einem Feststoff umschlossen. Wird ein elektrischer Spannungspuls zwischen diesen Elektroden angelegt, so werden aufgrund des sich ausbildenden elektrischen Feldes

5 Teilentladungen generiert, die zur Ausbildung eines Zündplasmas und eines Flammkerns führen können. Da die beiden Elektroden durch das Dielektrikum um mindestens eine der Elektroden voneinander elektrisch isoliert sind, kann keine vollständige Entladung erfolgen. Daher kann auch bei hohen Zündspannungen eine zuverlässige und stabile Entflammung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches erfolgen, ohne dass es zu einem signifikanten Abbrand an den der Elektroden kommt.

## 5 Ansprüche

1. Zündvorrichtung (1) zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches, mit:

10 einem Spannungsgenerator (40), der dazu ausgelegt ist, zwischen einem ersten Anschluss (41) und einem zweiten Anschluss (42) einen vorbestimmten Spannungspuls bereitzustellen;

einem dielektrischen Trägersubstrat (30);

15 einer ersten Elektrode (10), die auf dem dielektrischen Trägersubstrat (30) angeordnet ist, und die mit dem ersten Anschluss (41) des Spannungsgenerators (40) elektrisch verbindbar ist; und

20 einer zweiten Elektrode (20), die auf dem dielektrischen Trägersubstrat (30) angeordnet ist, und die mit dem zweiten Anschluss (42) des Spannungsgenerators (40) elektrisch verbindbar ist,

wobei die zweite Elektrode (20) von einem Dielektrikum (21) mit einem Feststoff umschlossen ist.

25

2. Zündvorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Zündvorrichtung (1) eine Mehrzahl von ersten Elektroden (10) und/oder eine Mehrzahl von zweiten Elektroden (20) umfasst.

30

3. Zündvorrichtung (1) nach Anspruch 2, wobei auf dem dielektrischen Trägersubstrat (30) die erste Elektroden (10) und die zweite Elektroden (20) abwechselnd nebeneinander angeordnet sind.

4. Zündvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die erste Elektrode (10) vollständig von einem weiteren Dielektrikum (11) mit einem Feststoff umschlossen ist.
- 5 5. Zündvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die erste Elektrode (10) und die zweite Elektrode (20) von dem Dielektrikum (21) umschlossen sind.
- 10 6. Zündvorrichtung (1) nach Anspruch 5, wobei eine von dem dielektrischen Trägersubstrat (30) wegweisende Oberfläche (21a) des Dielektrikums (21) eine sphärische Oberfläche aufweist.
- 15 7. Zündvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Spannungsgenerator (40) dazu ausgelegt ist, eine Mehrzahl von vorbestimmten Spannungspulsen in äquidistanten Zeitintervallen nacheinander bereitzustellen.
8. Zündvorrichtung (1) nach Anspruch 7, wobei aufeinander folgende Spannungspulse ein unterschiedliches Vorzeichen aufweisen.
- 20 9. Zündvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Pulsdauer eines Spannungspulses kleiner oder gleich 1 Mikrosekunde ist.
- 25 10. Zündvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Spannungspuls einen Spannungspuls mit einer Amplitude von mehr als 30 Kilovolt umfasst.

Fig. 1

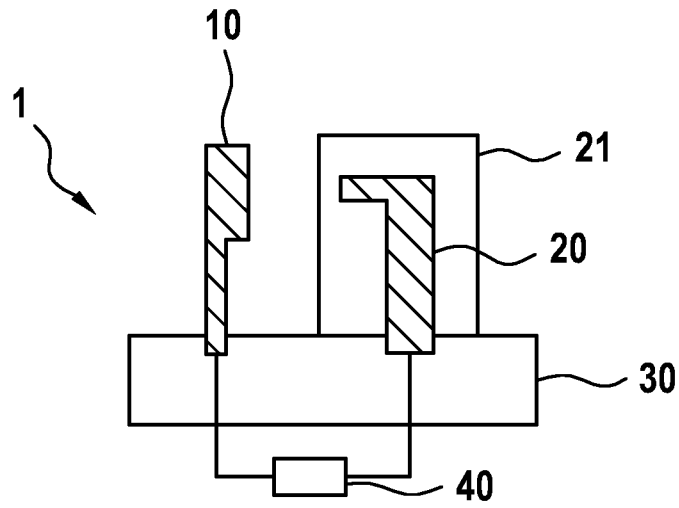


Fig. 2

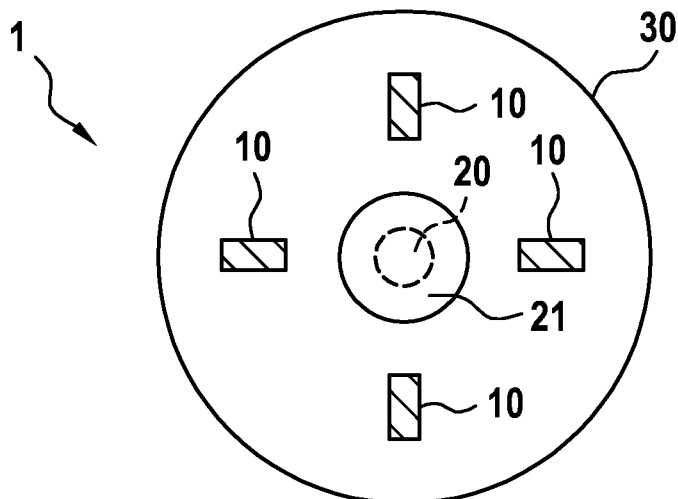


Fig. 3

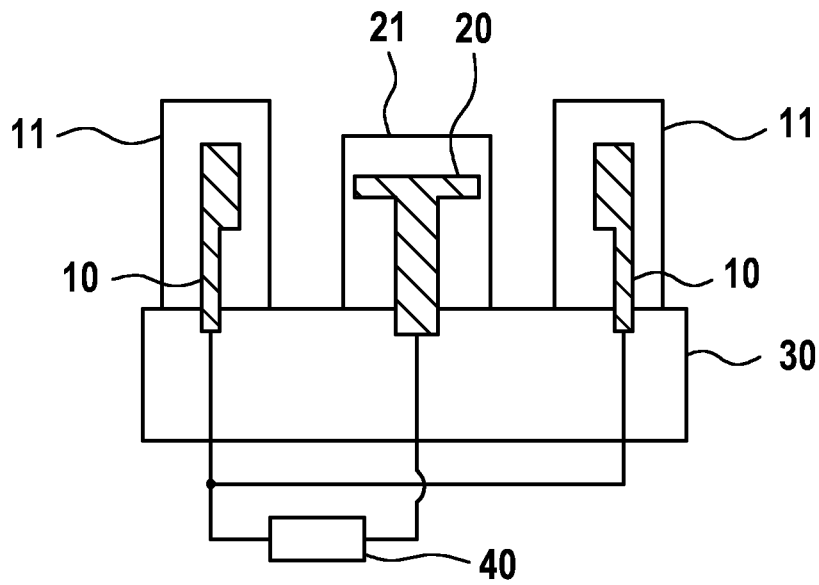
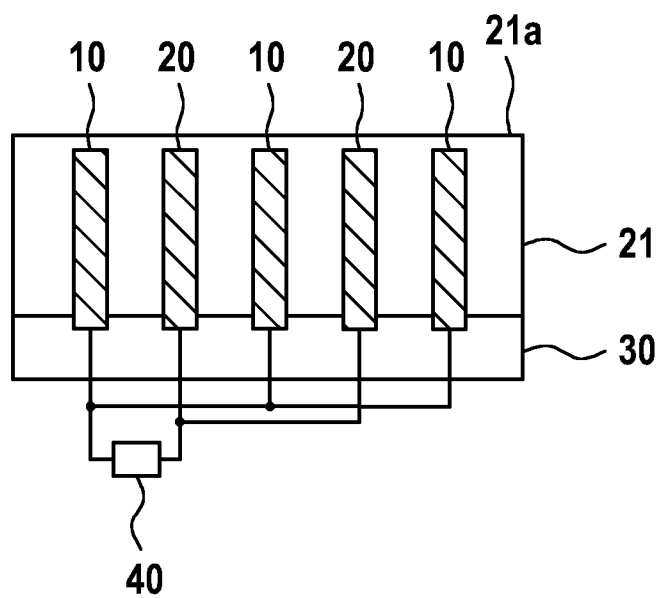


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/079876

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01T13/50  
ADD. H01T13/22

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)  
H01T F02P

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	US 6 321 733 B1 (SUCKEWER SZYMON [US] ET AL) 27 November 2001 (2001-11-27)	1-3,7,10
Y	column 15, line 21 - line 36 figure 8	4-6,9
Y	----- US 6 289 868 B1 (JAYNE MICHAEL E [US]) 18 September 2001 (2001-09-18)	4-6
A	column 10, line 11 - line 42 column 12, line 65 - column 13, line 48 figures 2,7A,8A, 11, 12	1-3
A	----- US 4 589 398 A (PATE RONALD C [US] ET AL) 20 May 1986 (1986-05-20) column 29, line 18 - line 21 column 30, line 64 - line 66 figures 14B,15,21-25	1,5-9
	----- -/--	

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  23 February 2017	Date of mailing of the international search report  06/03/2017
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Stichauer, Libor
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/079876

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2004 058925 A1 (SIEMENS AG [DE]) 8 June 2006 (2006-06-08)	9
A	claims 1, 2, 4 figures -----	1,7,10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2016/079876
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6321733	B1	27-11-2001	NONE
-----			
US 6289868	B1	18-09-2001	US 6289868 B1 18-09-2001
			US 2002033156 A1 21-03-2002
			US 2003217731 A1 27-11-2003
			US 2009104576 A1 23-04-2009
			US 2013004905 A1 03-01-2013
			WO 0159295 A2 16-08-2001
-----			
US 4589398	A	20-05-1986	AU 3272589 A 03-08-1989
			JP S618470 A 16-01-1986
			JP H0585752 B2 08-12-1993
			US 4560060 A 24-12-1985
			US 4589398 A 20-05-1986
-----			
DE 102004058925	A1	08-06-2006	DE 102004058925 A1 08-06-2006
			WO 2006061314 A1 15-06-2006
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01T13/50 ADD. H01T13/22		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) H01T F02P		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 321 733 B1 (SUCKEWER SZYMON [US] ET AL) 27. November 2001 (2001-11-27)	1-3,7,10
Y	Spalte 15, Zeile 21 - Zeile 36 Abbildung 8	4-6,9
Y	----- US 6 289 868 B1 (JAYNE MICHAEL E [US]) 18. September 2001 (2001-09-18)	4-6
A	Spalte 10, Zeile 11 - Zeile 42 Spalte 12, Zeile 65 - Spalte 13, Zeile 48 Abbildungen 2,7A,8A, 11, 12	1-3
A	----- US 4 589 398 A (PATE RONALD C [US] ET AL) 20. Mai 1986 (1986-05-20) Spalte 29, Zeile 18 - Zeile 21 Spalte 30, Zeile 64 - Zeile 66 Abbildungen 14B,15,21-25 ----- -/--	1,5-9
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
23. Februar 2017	06/03/2017	
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  Stichauer, Libor	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2004 058925 A1 (SIEMENS AG [DE]) 8. Juni 2006 (2006-06-08)	9
A	Ansprüche 1, 2, 4 Abbildungen -----	1,7,10

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/079876

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6321733	B1	27-11-2001	KEINE
US 6289868	B1	18-09-2001	US 6289868 B1 18-09-2001
			US 2002033156 A1 21-03-2002
			US 2003217731 A1 27-11-2003
			US 2009104576 A1 23-04-2009
			US 2013004905 A1 03-01-2013
			WO 0159295 A2 16-08-2001
US 4589398	A	20-05-1986	AU 3272589 A 03-08-1989
			JP S618470 A 16-01-1986
			JP H0585752 B2 08-12-1993
			US 4560060 A 24-12-1985
			US 4589398 A 20-05-1986
DE 102004058925	A1	08-06-2006	DE 102004058925 A1 08-06-2006
			WO 2006061314 A1 15-06-2006