

(19)



(11)

EP 3 613 961 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.02.2020 Patentblatt 2020/09

(51) Int Cl.:
F02B 25/02 (2006.01) **F02D 35/02** (2006.01)
F02B 19/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18190028.3**

(22) Anmeldetag: **21.08.2018**

(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

(72) Erfinder:
• **Wenig, Markus**
8472 Seuzach (CH)
• **Hanz, Timo**
8280 Kreuzlingen (CH)

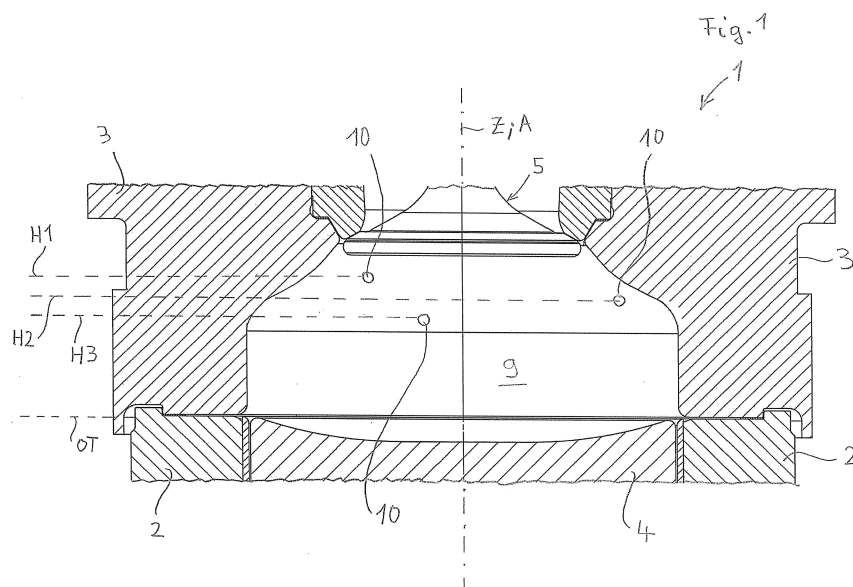
(74) Vertreter: **Intellectual Property Services GmbH**
Langfeldstrasse 88
8500 Frauenfeld (CH)

(71) Anmelder: **Winterthur Gas & Diesel AG**
8401 Winterthur (CH)

(54) **ZYLINDER FÜR EINEN LÄNGSGESPÜLTEN GROSSMOTOR UND VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG DER VERBRENNUNG IN EINEM ZYLINDER EINES LÄNGSGESPÜLTEN GROSSMOTORS**

(57) Es wird ein Zylinder für einen längsgespülten Grossmotor vorgeschlagen, mit einer Zylinderwandung (2), mit einem Kolben (4), welcher entlang einer Zylinderachse (Z) zwischen einem unteren und einem oberen Umkehrpunkt (OT) hin- und her bewegbar angeordnet ist, mit einem Zylinderdeckel (3), welcher gemeinsam mit dem Kolben (4) einen Brennraum (9) begrenzt, und mit mindestens einer Einspritzdüse (7) zum Einbringen eines Brennstoffs in den Brennraum (9), wobei im Zylinderdeckel (3) ein Auslassventil (5) angeordnet ist, durch welches Verbrennungsgase aus dem Brennraum (9) ab-

führbar sind, wobei mindestens drei Drucksensoren (10) zum Bestimmen des Drucks im Brennraum (9) vorgesehen sind, und wobei alle Drucksensoren (10) so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor (10) bei einem Kurbelwinkel von 300°, vorzugsweise bei einem Kurbelwinkel von 330°, oberhalb des Kolbens (4) befindet. Ferner werden ein Verfahren zur Überwachung der Verbrennung in einem Zylinder eines längsgespülten Grossmotors sowie ein längsgespülter Grossmotor vorgeschlagen.

**EP 3 613 961 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Zylinder für einen längsgespülten Grossmotor, ein Verfahren zur Überwachung der Verbrennung in einem Zylinder sowie einen längsgespülten Grossmotor gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs der jeweiligen Kategorie.

[0002] Grossmotoren, die als Zweitakt- oder als Viertakt-Maschinen ausgestaltet sein können, beispielsweise als längsgespülte Zweitakt-Grossdieselmotoren, werden häufig als Antriebsaggregate für Schiffe oder auch im stationären Betrieb, z.B. zum Antrieb grosser Generatoren zur Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt. Dabei laufen die Motoren in der Regel über beträchtliche Zeiträume im Dauerbetrieb, was hohe Anforderungen an die Betriebssicherheit und die Verfügbarkeit stellt. Daher sind für den Betreiber insbesondere lange Wartungsintervalle, geringer Verschleiss und ein wirtschaftlicher Umgang mit den Betriebsstoffen zentrale Kriterien. Grossmotoren haben typischerweise Zylinder, deren Innendurchmesser (Bohrung) mindestens 200 mm beträgt. Heutzutage werden Grossmotoren mit einer Bohrung von bis zu 960 mm oder sogar noch mehr eingesetzt.

[0003] Es sind verschiedene Arten von Grossmotoren bekannt, die jeweils als Zweitakt- oder als Viertakt-Motoren ausgestaltet sein können. Unter den Aspekten des wirtschaftlichen und effizienten Betriebs, der Einhaltung von Abgasgrenzwerten und der Verfügbarkeit von Ressourcen sucht man auch nach Alternativen zum klassischerweise als Brennstoff für Grossmotoren verwendeten Schweröl. Dabei werden sowohl flüssige Brennstoffe eingesetzt, also Brennstoffe, die im flüssigen Zustand in den Brennraum eingebracht werden, als auch gasförmige Brennstoffe, also Brennstoffe, die im gasförmigen Zustand in den Brennraum eingebracht werden.

[0004] Beispiele für flüssige Brennstoffe als bekannte Alternativen zum Schweröl sind andere schwere Kohlenwasserstoffe, die insbesondere als Rückstände bei der Raffinerie von Erdöl übrig bleiben, Alkohole, insbesondere Methanol oder Ethanol, Benzin, Diesel, oder auch Emulsionen oder Suspensionen. So ist es z. B. bekannt, die als MSAR (Multiphase Superfine Atomised Residue) bezeichneten Emulsionen als Brennstoff zu verwenden. Eine bekannte Suspension ist diejenige aus Kohlenstaub und Wasser, die ebenfalls als Brennstoff für Grossmotoren eingesetzt wird. Als gasförmige Brennstoffe sind beispielsweise Erdgase wie LNG (liquefied natural gas) bekannt.

[0005] Eine ebenfalls bekannte Alternative zum reinen Betrieb mit Schweröl ist es, Grossmotoren so auszugestalten, dass sie mit zwei oder noch mehr unterschiedlichen Brennstoffen betrieben werden können, wobei der Motor je nach Betriebssituation oder Umgebung entweder mit dem einen Brennstoff oder mit dem anderen Brennstoff betrieben wird. Ein solcher Grossmotor, der auch als Multi-Fuel Grossmotor bezeichnet wird, kann während des Betriebs von einem ersten Modus, in wel-

chem ein erster Brennstoff verbrannt wird, in einen zweiten Modus, in welchem ein zweiter Brennstoff verbrannt wird, umgeschaltet werden und umgekehrt.

[0006] Eine bekannte Ausgestaltung eines Grossmotors, der mit zwei unterschiedlichen Brennstoffen betrieben werden kann, ist der Motorentyp, für den heutzutage der Begriff "Dual-Fuel Motor" gebräuchlich ist. Diese Motoren sind einerseits in einem Gasmodus betreibbar, in welchem ein gasförmiger Brennstoff, z.B. Erdgas oder Methan, zur Verbrennung in den Brennraum eingebracht wird, und andererseits in einem Flüssigmodus, in welchem ein flüssiger Brennstoff wie Schweröl oder ein anderer flüssiger Brennstoff in demselben Motor verbrannt werden können. Diese Grossmotoren können dabei sowohl Zweitakt- als auch Viertaktmotoren sein, insbesondere auch längsgespülte Zweitakt-Grossdieselmotoren.

[0007] Grossmotoren, die mit mindestens zwei oder auch mehr verschiedenen flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betrieben werden können, werden häufig, je nach aktuell verwendetem Brennstoff in unterschiedlichen Betriebsmodi betrieben. In dem häufig als Dieselmotor bezeichneten Betriebsmodus erfolgt die Verbrennung des Brennstoffs in der Regel nach dem Prinzip der Kompressionszündung oder Selbstzündung des Brennstoffs. In dem häufig als Ottomotor bezeichneten Modus erfolgt die Verbrennung durch die Fremdzündung eines zündfähigen Brennstoff-Luft-Gemisches. Diese Fremdzündung kann beispielsweise durch einen elektrischen Funken erfolgen, z. B. mit einer Zündkerze, oder auch durch die Selbstzündung einer kleinen eingespritzten Brennstoffmenge, welche dann die Fremdzündung eines anderen Brennstoffs bewirkt. Häufig wird dabei die für die Selbstzündung vorgesehene kleine Brennstoffmenge in eine mit dem Brennraum verbundene Vorkammer eingespritzt.

[0008] Bei den oben genannten Dual-Fuel Motoren ist es beispielsweise für den Gasmodus bekannt, das Gas im gasförmigen Zustand mit der Spülluft zu vermischen, um so im Brennraum des Zylinders ein zündfähiges Gemisch zu erzeugen. Bei diesem Niederdruckverfahren erfolgt dann die Zündung des Gemisches im Zylinder üblicherweise, indem im richtigen Moment eine kleine Menge flüssiger, selbstzündender Brennstoff in den Brennraum des Zylinders bzw. in die Vorkammer eingespritzt wird, die dann zur Zündung des Luft-Gas-Gemisches führt.

[0009] Ferner sind auch Mischformen aus dem Ottomotorbetrieb und dem Dieselmotorbetrieb bekannt.

[0010] Für den effizienten und schadstoffarmen Betrieb eines Grossmotors ist es wichtig, den Verbrennungsprozess zu kontrollieren und optimal zu gestalten. Insbesondere wenn der Grossmotor im Ottomotorbetrieb mit bestimmungsgemässer Fremdzündung betrieben wird, also beispielsweise im Falle eines Dual-Fuel-Motors, der im Gasmodus betrieben wird, reagiert der Verbrennungsprozess empfindlich auf Änderungen der Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise der Temperatur oder der Feuchtigkeit der Spül- oder Ladeluft, oder des

Ladedrucks, mit welchem die Spülluft zur Verfügung gestellt wird. Solche Änderungen können Änderungen in der Zusammensetzung des Brennstoff-Luft-Gemisches im Brennraum verursachen. Im Speziellen kann sich das Luft-Brennstoff-Verhältnis, beispielsweise das Luft-Gas-Verhältnis, ändern. Solche unerwünschten Änderungen im Luft-Brennstoff-Verhältnis können zu nachteiligen Änderungen im Verbrennungsprozess führen, denn die korrekte Einstellung des Luft-Gas-Verhältnisses ist von entscheidender Bedeutung für einen möglichst schadstoffarmen, effizienten und wirtschaftlichen Betrieb des Motors.

[0011] So kann es beispielsweise bei einem nicht optimalen Luft-Gas-Verhältnis zu einer Frühzündung bzw. zu einer unerwünschten Selbstzündung des Brennstoff-Luft Gemisches im Brennraum kommen. Das heisst, der eigentlich für eine Fremdzündung vorgesehene Brennstoff entzündet sich durch Selbstzündung zu früh. Dies kann zu hohen mechanischen Belastungen, zum Klopfen des Motors und zu einer signifikanten Schadstoffhöhung im Abgas führen. Da der Verbrennungsprozess dann nicht mehr korrekt auf die Kolbenbewegung im Zylinder abgestimmt ist, führt dies unter anderem auch dazu, dass die Verbrennung teilweise gegen die Bewegung des Kolbens arbeitet.

[0012] Es besteht daher das Bedürfnis, den Verbrennungsprozess im Zylinder möglichst gut zu überwachen, damit beispielsweise das Auftreten solcher Frühzündungen durch die Selbstentzündung des Brennstoffs, der bestimmungsgemäss fremdgezündet werden sollte, detektiert werden kann.

[0013] Auch im Falle einer bestimmungsgemässen Fremdzündung des Brennstoff-Luft-Gemisches kann es wünschenswert sein, den Prozess der Fremdzündung zu überwachen, beispielsweise um festzustellen oder zu kontrollieren, wo im Brennraum der Verbrennungsprozess beginnt.

[0014] Aber auch im Dieselmotorbetrieb mit bestimmungsgemässer Selbstzündung des Brennstoffes, beispielsweise Schweröl, ist es oft wünschenswert, den Verbrennungsprozess im Brennraum zu überwachen, beispielsweise um festzustellen oder zu kontrollieren, wo im Brennraum der Verbrennungsprozess beginnt.

[0015] Um den Verbrennungsprozess im Brennraum zu überprüfen, beispielsweise, um den Ort des Beginns des Verbrennungsprozesses im Brennraum zu detektieren, sind komplexe optische Messanordnungen bekannt, mit denen der Verbrennungsprozess aufgezeichnet bzw. untersucht werden kann. Diese optischen Messanordnungen sind jedoch in der Regel sehr aufwendig und kostenintensiv und eignen sich häufig nur für den Einsatz auf Testständen oder in der Entwicklung von Grossmotoren, nicht aber für den normalen Einsatzbetrieb des Grossmotors.

[0016] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es daher eine Aufgabe der Erfindung, einen Zylinder für einen längsgespülten Grossmotor vorzuschlagen, bei welchem der Verbrennungsprozess im Brennraum in

einfacher Weise und mit möglichst geringem apparativen Aufwand überwacht werden kann. Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein einfaches Verfahren zur Überwachung der Verbrennung in einem Zylinder eines längsgespülten Grossmotors vorzuschlagen. Auch ist es eine Aufgabe der Erfindung einen entsprechenden längsgespülten Grossmotor vorzuschlagen.

[0017] Die diese Aufgabe lösenden Gegenstände der Erfindung sind durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs der jeweiligen Kategorie gekennzeichnet.

[0018] Erfindungsgemäss wird also ein Zylinder für einen längsgespülten Grossmotor vorgeschlagen, mit einer Zylinderwandung, mit einem Kolben, welcher entlang einer Zylinderachse zwischen einem unteren und einem oberen Umkehrpunkt hin- und her bewegbar angeordnet ist, mit einem Zylinderdeckel, welcher gemeinsam mit dem Kolben einen Brennraum begrenzt, und mit mindestens einer Einspritzdüse zum Einbringen eines Brennstoffs in den Brennraum, wobei im Zylinderdeckel ein Auslassventil angeordnet ist, durch welches Verbrennungsgase aus dem Brennraum abführbar sind, wobei mindestens drei Drucksensoren zum Bestimmen des Drucks im Brennraum vorgesehen sind, und wobei alle Drucksensoren so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor bei einem Kurbelwinkel von 300°, vorzugsweise bei einem Kurbelwinkel von 330°, und besonders bevorzugt bei einem Kurbelwinkel von 350°, oberhalb des Kolbens befindet.

[0019] Mittels der drei Drucksensoren lässt sich der Verbrennungsprozess im Brennraum zuverlässig überwachen. Wenn an irgendeinem Ort im Brennraum eine Verbrennung beginnt, so führt dies zunächst an diesem Ort zu einem lokalen und deutlichen Druckanstieg. Von diesem Ort breitet sich der Druckanstieg in alle Richtungen aus und erreicht so auch die mindestens drei Drucksensoren, sodass diese den Druckanstieg registrieren. Aus den Laufzeitunterschieden, welche der Druckanstieg benötigt, um von seinem Ursprung, also dem Ort, an welchem die Verbrennung begonnen hat, zu den verschiedenen Drucksensoren zu gelangen, lässt sich dann, beispielsweise mittels einer trigonometrischen Methode, der Ort lokalisieren, an welchem die Verbrennung begonnen hat.

[0020] Dies gilt natürlich sowohl im Falle einer regulären Zündung, also einer gewünschten Selbstzündung des Brennstoffs oder einer gewünschten Fremdzündung des Brennstoffs, als auch im Falle einer unerwünschten Zündung, beispielsweise bei einer Frühzündung, bei welcher ein für die Fremdzündung bestimmter Brennstoff durch Selbstzündung zu einem zu frühen Zeitpunkt - bezogen auf den Kurbelwinkel - zu brennen beginnt.

[0021] Mittels der drei Drucksensoren lässt sich somit sowohl für reguläre Zündungen im Brennraum als auch für Frühzündungen oder andere unerwünschte Zündungen im Brennraum der Ort lokalisieren, an welchem die Verbrennung begonnen hat.

[0022] Im Falle von Frühzündungen kann also das Auf-

treten der Frühzündung detektiert werden, und es lässt sich der Ort lokalisieren, an welchem die Verbrennung begonnen hat. Somit können dann Gegenmassnahmen getroffen werden, beispielsweise eine Änderung des Ladedrucks, eine Änderung der eingebrachten Brennstoffmenge oder eine Änderung des Zeitpunkts der Einbringung des Brennstoffs in den Brennraum, um in den folgenden Arbeitszyklen Frühzündungen oder andere unerwünschte Zündvorgänge im Brennraum zu vermeiden oder zumindest deutlich zu reduzieren.

[0023] Der erfindungsgemässe Zylinder mit den mindestens drei Drucksensoren ermöglicht es somit in vorteilhafter Weise, das volle Potential des Verbrennungssystems auszunutzen, beispielsweise indem während des Betriebs des Grossmotors die Betriebsparameter dynamisch angepasst werden, um die Effizienz bzw. die Leistung des Motors in Abhängigkeit von den jeweiligen Betriebsbedingungen zu optimieren. Diese Betriebsbedingungen können z. B. sein: Umgebungsbedingungen, wie Lufttemperatur oder Luftfeuchtigkeit, die Qualität des verwendeten Brennstoffs, beispielsweise die Gasqualität, oder der Betriebszustand des Ladesystems, mit welchem die Spül- oder Ladeluft für den Zylinder bereitgestellt wird. Das Ladesystem umfasst typischerweise mindestens ein Abgassammler, einen Turbolader, einen Ladeluftkühler und einen Einlassspeicher (Einlassreceiver), aus welchem die Ladeluft in den Zylinder einströmt.

[0024] Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform sind alle Drucksensoren so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor bei einem Kurbelwinkel von 0° bzw. 360° oberhalb des Kolbens befindet. Wie dies allgemein üblich ist, wird mit dem Kurbelwinkel 0° derjenige Kurbelwinkel bezeichnet, bei welchem sich der Kolben in seinem oberen Umkehrpunkt befindet, der auch als oberer Totpunkt bezeichnet wird. Bei dem Kurbelwinkel von 0° bzw. 360° ist somit das Volumen des Brennraums minimal und der Kolben beginnt mit seiner Abwärtsbewegung (Expansionshub).

[0025] Bei einem Zweitakt-Motor entspricht ein Arbeitszyklus des Kolbens einem Kurbelwinkelbereich von 360°. Der Kolben beginnt den Arbeitszyklus im oberen Umkehrpunkt bei dem Kurbelwinkel 0° mit seinem Expansionshub, bewegt sich dabei abwärts bis er bei dem Kurbelwinkel 180° den unteren Umkehrpunkt erreicht, der auch als unterer Totpunkt bezeichnet wird. Anschliessend bewegt sich der Kolben wieder aufwärts (Kompressionshub) und erreicht bei dem Kurbelwinkel von 360° wieder den oberen Umkehrpunkt. Der Kurbelwinkel 0° ist gleichbedeutend mit dem Kurbelwinkel 360°.

[0026] Bei einem Viertakt-Motor entspricht bekanntermassen ein Arbeitszyklus des Kolbens einem Kurbelwinkelbereich von 720°, weil sich der Kolben während eines Arbeitszyklus zweimal aufwärts und zweimal abwärts bewegen muss. Bei den Kurbelwinkeln 0°, 360° und 720° befindet sich der Kolben jeweils im oberen Umkehrpunkt, und bei den Kurbelwinkeln 180° und 540° befindet sich der Kolben jeweils im unteren Umkehrpunkt.

[0027] Bei der bevorzugten Ausführungsform, bei wel-

cher alle Drucksensoren so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor bei einem Kurbelwinkel von 0° bzw. 360° oberhalb des Kolbens befindet, sind alle Drucksensoren also derart angeordnet, dass sie zu jedem Zeitpunkt der Kolbenbewegung, also für jeden beliebigen Kurbelwinkel immer oberhalb des Kolbens angeordnet sind. Das heisst, keiner der Drucksensoren ist für irgendeinen Kurbelwinkel durch den Kolben verdeckt.

[0028] Auch wenn dies eine bevorzugte Ausführungsform ist, so ist es keinesfalls notwendig, die Drucksensoren alle so anzuordnen, dass sie sich stets -also für jeden Kurbelwinkel - oberhalb des Kolbens befinden. Insbesondere im Hinblick auf Frühzündungen im Zylinder, beispielsweise durch Selbstzündung des Brennstoff-Luft-Gemisches, hat die Praxis nämlich gezeigt, dass diese Frühzündungen typischerweise in einem Kurbelwinkelbereich auftreten, bei welchem der Kolben den oberen Umkehrpunkt noch nicht erreicht hat, beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich von 30° vor dem oberen Umkehrpunkt, also in dem Kurbelwinkelbereich von 330° bis 360°. Besonders häufig beobachtet man Frühzündungen im Bereich von 10° bis 15° vor dem oberen Umkehrpunkt, also in dem Kurbelwinkelbereich von 345°- 350°. Insbesondere zur Detektion von Frühzündungen sind daher auch solche Ausführungsformen möglich, bei welchen einer oder auch mehrere der Drucksensoren während eines Teils der Kolbenbewegung, beispielsweise im Kurbelwinkelbereich von 330° bis 360°, von dem Kolben verdeckt bzw. überdeckt ist/sind.

[0029] Gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist mindestens eine mit dem Brennraum verbundene Vorkammer zum Zünden des Brennstoffs im Brennraum vorgesehen. Diese Ausführung ist insbesondere geeignet, wenn der Grossmotor im Ottobetrieb betrieben wird, bei welchem das Brennstoff-Gas-Gemisch im Brennraum fremdgezündet wird, also beispielsweise für einen Dual-Fuel Motor, der im Gasbetrieb betrieben wird. Die Vorkammer ist in an sich bekannter Weise über eine Austrittsöffnung mit dem Brennraum verbunden. Zur Fremdzündung des Brennstoff-Luft-Gemisches im Brennraum wird dann eine kleine Menge eines flüssigen, selbstzündenden Brennstoffs, beispielsweise Schweröl oder Diesel, in die Vorkammer eingebracht, wo sich dieser Brennstoff selbstzündet. Die hierdurch entstehende Flamme gelangt durch die Austrittsöffnung der Vorkammer in den Brennraum und zündet dort das Brennstoff-Gas-Gemisch.

[0030] Aus herstellungstechnischen und apparativen Gründen ist es bevorzugt, dass jeder Drucksensor im Zylinderdeckel oder in der Zylinderwandung angeordnet ist. Dazu können im Zylinderdeckel bzw. in der Zylinderwandung Bohrungen vorgesehen sein, die sich jeweils bis in den Brennraum erstrecken. In diesen Bohrungen können dann die Drucksensoren angeordnet werden, so dass sich diese möglichst nahe am Brennraum befinden.

[0031] Es ist aber auch möglich, die Drucksensoren an anderen Stellen anzuordnen, beispielsweise im Auslassventil, insbesondere in dem dem Brennraum zuge-

wandten Ventilteller des Auslassventils, oder im Kolben, insbesondere im Bereich der dem Brennraum zugewandten Oberfläche des Kolbens.

[0032] Um eine möglichst gute räumliche Auflösung zu erzielen, d.h. um den Ort, an welchem die Verbrennung beginnt, möglichst genau zu lokalisieren, ist es vorteilhaft, die Drucksensoren derart anzuordnen, dass sie einen möglichst grossen Abstand voneinander haben, wobei natürlich zu berücksichtigen ist, dass im Zylinder auch noch andere Komponenten angeordnet werden müssen, beispielsweise das Auslassventil, oder zumindest eine aber typischerweise mehrere Einspritzdüse(n) für das Einbringen des Brennstoffs in den Brennraum, oder Startluftventile oder die Vorkammer.

[0033] Im Hinblick auf eine möglichst gute, das heisst hohe, räumliche Auflösung ist es daher vorteilhaft, wenn die Drucksensoren bezüglich einer durch die Zylinderachse definierten axialen Richtung auf mindestens zwei verschiedenen Höhen angeordnet sind.

[0034] Vorzugsweise sind alle Drucksensoren auf jeweils verschiedenen Höhen angeordnet.

[0035] Um den Abstand zwischen den Drucksensoren möglichst gross zu gestalten, ist es ferner vorteilhaft, wenn die Drucksensoren bezüglich der Umfangsrichtung derart angeordnet sind, dass der Winkelabstand zwischen zwei benachbarten Drucksensoren in Umfangsrichtung gesehen jeweils mindestens 45° ist.

[0036] Um die Zuverlässigkeit der Ortsbestimmung des Verbrennungsprozesses zu erhöhen, ist es vorteilhaft, wenn mindestens vier Drucksensoren vorgesehen sind. Hierdurch lässt sich das Ergebnis der beispielsweise mittels Trigonometrie durchgeführten Ortsbestimmung überprüfen bzw. validieren.

[0037] Um eine möglichst gute räumliche Auflösung und damit eine möglichst genaue Bestimmung desjenigen Ortes zu erzielen, an welchem ein Verbrennungsprozess beginnt, ist es vorteilhaft, wenn jeder Drucksensor eine Messfrequenz von mindestens 20 kHz aufweist. Mit der Messfrequenz des Drucksensors ist dabei die Anzahl der individuellen Druckmessungen gemeint, welche der Drucksensor in einem Zeitintervall, also beispielsweise in einer Sekunde, durchführen kann. Die Messfrequenz legt somit die Rate fest, mit welcher eine Druckänderung von dem Drucksensor abgetastet wird.

[0038] Bei einer Messfrequenz von 20 kHz beträgt der zeitliche Abstand zwischen zwei individuellen Druckmessungen eines Drucksensors 50 Mikrosekunden. Es hat sich gezeigt, dass unter Berücksichtigung der typischen Dimensionen des Brennraums eines Grossmotors und der Schallgeschwindigkeit im Brennraum bei einer typischen Verbrennungstemperatur eine Messfrequenz von 20 kHz für viele Anwendungen ausreichend ist, um eine gute Lokalisierung des Ortes zu erreichen, an welchem ein Verbrennungsprozess beginnt.

[0039] Je nach Anwendung kann es aber auch vorteilhaft sein, dass jeder Drucksensor eine Messfrequenz von mindestens 50 kHz aufweist. Bei der Verwendung von sehr schnellen Drucksensoren mit einer Messfre-

quenz von beispielsweise 50 kHz beträgt der zeitliche Abstand zwischen zwei individuellen Druckmessungen des Drucksensors nur noch 20 Mikrosekunden, wodurch sich die Genauigkeit der Ortsbestimmung noch erhöhen lässt. Geht man von einer typischen Massenmitteltemperatur im Zylinder von etwa 700 K aus, so ergibt sich bei Verwendung der Schallgeschwindigkeit in Luft bei etwa 700 K eine Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckänderung, die einer Weglänge von ungefähr einem Zentimeter in 20 Mikrosekunden entspricht, d.h. die Druckänderung kann sich in der Zeitspanne zwischen zwei individuellen Druckmessungen des Drucksensors um etwa einen Zentimeter ausbreiten. Mit dieser hohen Messfrequenz von beispielsweise 50 kHz lässt sich daher eine besonders genaue Lokalisierung desjenigen Ortes erzielen, an welchem ein Verbrennungsprozess beginnt.

[0040] Durch die Erfindung wird ferner ein Verfahren zur Überwachung der Verbrennung in einem Zylinder eines längsgespülten Grossmotors vorgeschlagen. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinder erfindungsgemäss ausgestaltet ist, und dass mittels der Drucksensoren Messsignale erfasst werden, wobei anhand der Messsignale ein Ort im Brennraum ermittelt wird, an welchem ein Verbrennungsvorgang beginnt.

[0041] Die Messsignale der Drucksensoren werden einer Auswerteeinheit zugeführt. In dieser kann dann, beispielsweise mittels einer trigonometrischen Methode, anhand der von den verschiedenen Drucksensoren erhaltenen Messsignale der Ort im Brennraum bestimmt werden, an welchem ein Verbrennungsprozess begonnen hat. Um den Zeitpunkt des Beginns des Verbrennungsprozesses relativ zum Arbeitszyklus des Kolbens zu ermitteln, ist es beispielsweise möglich, den Zeitpunkt der Erfassung eines Messsignals auf den Kurbelwinkel zu normieren, sodass den erfassten Messsignalen ein Kurbelwinkel zugeordnet wird, bei welchen sie erfasst wurden.

[0042] Ferner kann es vorteilhaft sein, wenn alle Drucksensoren synchron getaktet werden. Das heisst, die verschiedenen Drucksensoren werden so angesteuert, dass sie alle jeweils zum gleichen Zeitpunkt eine individuelle Druckmessung durchführen.

[0043] Eine weitere Möglichkeit, den Messsignalen der Drucksensoren einem Kurbelwinkel zuzuordnen, besteht darin, in der Auswerteeinheit für jeden Drucksensor die Messsignale mit einer Kompressionskurve des Zylinders zu vergleichen. Die Kompressionskurve eines Zylinders beschreibt den Druckverlauf im Brennraum des Zylinders in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel. Solche Kompressionskurven können beispielsweise in elektronischer Form in der Auswerteeinheit hinterlegt sein oder sie lassen sich anhand anderer Parameter ermitteln, welche beim Betrieb des Grossmotors erfasst werden.

[0044] Weiterhin wird durch die Erfindung ein längsgespülter Grossmotor vorgeschlagen, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass der Grossmotor einen Zylinder aufweist, welcher gemäss der Erfindung ausgestaltet ist,

oder dass die Verbrennung mit einem erfindungsgemässen Verfahren überwacht wird.

[0045] Der Grossmotor ist beispielsweise als längsgespülter Zweitakt-Grossdieselmotor ausgestaltet und insbesondere als Dual-Fuel Grossdieselmotor, der in einem Flüssigmodus betreibbar ist, in welchem ein flüssiger Brennstoff zur Verbrennung in den Brennraum eingebracht wird, und der ferner in einem Gasmodus betreibbar ist, in welchem ein Gas als Brennstoff in den Brennraum eingebracht wird.

[0046] Weitere vorteilhafte Massnahmen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0047] Im Folgenden wird die Erfindung sowohl in apparativer als auch in verfahrenstechnischer Hinsicht anhand von Ausführungsbeispielen und anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1: eine schematische Schnittdarstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemässen Zylinders in einem Schnitt entlang der Zylinderachse, und

Fig. 2: eine schematische Schnittdarstellung des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1 in einem Schnitt senkrecht zur Zylinderachse.

[0048] Fig. 1 zeigt in einer schematischen Schnittdarstellung ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Zylinders für einen nicht näher dargestellten längsgespülten Grossmotor. Der Zylinder ist gesamthaft mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet. Der Zylinder 1 umfasst eine Zylinderwandung 2, die vorzugsweise als Zylinderliner ausgestaltet ist, einen Zylinderdeckel 3, welcher den darstellungsgemäss oberen Abschluss des Zylinders 1 bildet, sowie einen Kolben 4, welcher entlang einer Zylinderachse Z zwischen einem oberen Umkehrpunkt OT und einem unteren Umkehrpunkt (nicht dargestellt) hin und her bewegbar angeordnet ist. Fig. 1 zeigt den Kolben 4 im oberen Umkehrpunkt OT. Zum besseren Verständnis zeigt Fig. 2 noch eine schematische Schnittdarstellung des Zylinders 1 in einem Schnitt senkrecht zur Zylinderachse Z, wobei in Fig. 2 die Blickrichtung in Richtung des Zylinderdeckels 3 ist. In Fig. 2 ist die Schnittpflinie I-I dargestellt, entlang welcher der Schnitt für die Fig. 1 erfolgt. Durch die Zylinderachse Z wird eine axiale Richtung A festgelegt.

[0049] Mit dem Begriff "Grossmotor" sind solche Motoren gemeint, wie sie üblicherweise als Hauptantriebsaggregate für Schiffe oder auch im stationären Betrieb, z.B. zum Antrieb grosser Generatoren zur Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt werden. Typischerweise haben die Zylinder eines Grossmotors jeweils einen Innendurchmesser (Bohrung), der mindestens etwa 200 mm beträgt. Mit dem Begriff "längsgespült" ist gemeint, dass die Spül- oder Ladeluft im Bereich des dem Zylinderdeckel 3 abgewandten Endes in den Zylinder 1 eingebracht wird.

[0050] Der Grossmotor kann als Viertakt- oder als Zweitakt-Motor ausgestaltet sein. Insbesondere kann der Grossmotor als Grossdieselmotor ausgestaltet sein, speziell als längsgespülter Zweitakt-Grossdieselmotor. Mit dem Begriff "Grossdieselmotor" sind dabei solche Grossmotoren gemeint, die in einem Dieselmotorbetrieb betreibbar sind, bei welchem die Verbrennung des Brennstoffs üblicherweise nach dem Prinzip der Selbstzündung erfolgt. Im Rahmen dieser Anmeldung sind mit dem Begriff "Grossdieselmotor" auch solche Grossmotoren gemeint, die ausser im Dieselmotorbetrieb, alternativ auch in einem Ottomotorbetrieb betrieben werden können. Im Ottomotorbetrieb erfolgt die Verbrennung typischerweise nach dem Prinzip der Fremdzündung des Brennstoffs. Auch ist es möglich, dass der Grossdieselmotor in Mischformen aus dem Dieselmotorbetrieb und dem Ottomotorbetrieb betrieben werden kann.

[0051] Als "flüssiger Brennstoff" wird ein Brennstoff bezeichnet, der im flüssigen Zustand in den Zylinder eingebracht wird. Als "gasförmiger Brennstoff" wird ein Brennstoff bezeichnet, der im gasförmigen Zustand in den Zylinder eingebracht wird. Ferner wird mit dem Begriff "fremdgezündeter Brennstoff" ein solcher Brennstoff bezeichnet, der bestimmungsgemäss durch Fremdzündung im Zylinder 1 verbrennt, bei welchem also bestimmungsgemäss eine Selbstzündung vermieden werden soll. Im Unterschied dazu wird mit einem "selbstzündenden Brennstoff" ein solcher Brennstoff bezeichnet, der bestimmungsgemäss durch Selbstzündung im Zylinder 1 verbrennt, also beispielsweise Schweröl oder Dieselmotorbrennstoff.

[0052] Bei der folgenden Beschreibung der Erfindung wird mit beispielhaftem Charakter auf den für die Praxis wichtigen Fall eines Grossmotors Bezug genommen, der als längsgespülter Zweitakt-Grossdieselmotor ausgestaltet ist, und der als Hauptantriebsaggregate eines Schiffes verwendet wird. Dieser Grossdieselmotor ist vorzugsweise als Dual-Fuel Grossdieselmotor ausgestaltet, sodass er mit zwei unterschiedlichen Brennstoffen betreibbar ist, nämlich mit einem flüssigen Brennstoff wie Schweröl oder Marinediesel, und mit einem gasförmigen Brennstoff, z. B. Erdgas. Der Dual-Fuel Grossdieselmotor kann während des Betriebs vom Verbrennen des ersten Brennstoffs auf das Verbrennen des zweiten Brennstoffs umgeschaltet werden und umgekehrt. Er ist also in einem Flüssigmodus betreibbar, in welchem ein flüssiger Brennstoff zur Verbrennung in den Brennraum eingebracht wird, und ferner in einem Gasmodus, in welchem ein Gas als Brennstoff in den Brennraum eingebracht wird. Im Gasmodus wird der Dual-Fuel-Motor vorzugsweise nach einem Niederdruckverfahren betrieben. Die Fremdzündung des Luft-Gas-Gemisches im Zylinder 1 erfolgt im Gasmodus vorzugsweise durch die Einspritzung einer kleinen Menge selbstzündenden Brennstoffs, z. B. Schweröl oder Diesel, welche dann das Luft-Gas-Gemisch fremdzündet.

[0053] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf diesen Typ von Grossmotor und auf diese Verwendung

beschränkt ist, sondern Grossmotoren im Allgemeinen betrifft. Dabei ist es auch möglich, dass der Grossmotor nur für die Verbrennung eines einzigen Brennstoffs, beispielsweise Schweröl, Marinediesel oder Diesel, oder eines Gases wie Erdgas ausgestaltet ist. Der Grossmotor kann also auch als Gasmotor ausgestaltet sein. Auch ist es möglich, dass der Grossmotor als Multi-Fuel Grossmotor ausgestaltet ist, der mit einem ersten Brennstoff betrieben werden kann, und der mit mindestens einem zweiten Brennstoff betrieben werden kann, der von dem ersten Brennstoff verschieden ist. Natürlich kann der Grossmotor auch für die Verbrennung von mehr als zwei Brennstoffen ausgestaltet sein.

[0054] In jedem der üblicherweise mehreren Zylinder 1 des Grossdieselmotors ist jeweils ein Kolben 4 vorgesehen, dessen Oberseite gemeinsam mit dem Zylinderdeckel 3 einen Brennraum 9 begrenzt. Der Kolben 4 ist in an sich bekannter Weise über eine Kolbenstange mit einem Kreuzkopf verbunden, welcher über eine Schubstange mit einer Kurbelwelle verbunden ist, sodass die Bewegung des Kolbens 4 über die Kolbenstange, den Kreuzkopf und die Schubstange auf die Kurbelwelle übertragen wird, um diese zu drehen.

[0055] In den Brennraum 9 kann mittels mindestens einer Einspritzdüse 7 ein Brennstoff eingespritzt werden. Es können natürlich auch an jedem Zylinder mehrere Einspritzdüsen 7 vorgesehen sein. Falls der Grossmotor mit unterschiedlichen Brennstoffen betreibbar ist, können für die unterschiedlichen Brennstoffe auch unterschiedliche Einspritzdüsen 7 bzw. Einspritzvorrichtungen vorgesehen sein.

[0056] Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel sind im Zylinderdeckel 3 zwei Einspritzdüsen 7 vorgesehen. Diese Einspritzdüsen 7 dienen dazu, im Flüssigmodus den selbstzündenden flüssigen Brennstoff, beispielsweise Schweröl, Marinediesel oder Diesel in den Brennraum 9 einzuspritzen.

[0057] Für den Gasmodus werden typischerweise die Einspritzdüsen 7 nicht verwendet. Es ist mindestens eine von den Einspritzdüsen 7 verschiedene Einspritzvorrichtung für den gasförmigen Brennstoff vorgesehen. Diese Einspritzvorrichtung umfasst mindestens eine nicht dargestellte Gaseinlassdüse, durch welche der gasförmige Brennstoff in den Brennraum 9 eingebracht werden kann. Die Gaseinlassdüse ist vorzugsweise in der Zylinderwandung 2 angeordnet, sodass der gasförmige Brennstoff bei einem niedrigen Druck in den Brennraum 9 eingebracht werden kann.

[0058] Im Zylinderdeckel 3 ist weiterhin ein Startluftventil 8 angeordnet, welches in an sich bekannter Weise zum Starten des Grossmotors genutzt wird. Um den Grossmotor zu starten, wird durch das Startluftventil 8 Druckluft in den Brennraum 9 eingeblasen, um den Kolben 4 zu bewegen.

[0059] Im Zylinderdeckel 3 ist zudem ein meistens zentral angeordnetes Auslassventil 5 vorgesehen, durch welches die Verbrennungsgase nach dem Verbrennungsprozess aus dem Zylinder 1 in ein Abgassystem

(nicht dargestellt) ausgetragen werden können.

[0060] Ferner ist im Zylinderdeckel 3 mindestens eine Vorkammer 6 (Fig. 2) vorgesehen, welche mit dem Brennraum 9 verbunden ist. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel sind zwei Vorkammern 6 vorgesehen. Die Vorkammern 6 dienen der Fremdzündung des gasförmigen Brennstoffs, genauer gesagt des Brennstoff-Gas-Gemisches, wenn der Grossmotor im Gasmodus bzw. im Ottobetrieb betrieben wird. Jede Vorkammer 6 in an sich bekannter Weise über eine Austrittsöffnung mit dem Brennraum 9 verbunden. Zur Fremdzündung des Brennstoff-Luft-Gemisches im Brennraum 9 wird dann eine kleine Menge eines flüssigen, selbstzündenden Brennstoffs, beispielsweise Schweröl oder Diesel, in die jeweilige Vorkammer 6 eingebracht, wo sich dieser Brennstoff selbstzündet. Die hierdurch entstehende Flamme gelangt durch die Austrittsöffnung der jeweiligen Vorkammer 6 in den Brennraum 9 und zündet dort das Brennstoff-Gas-Gemisch.

[0061] Der weitere Aufbau und die einzelnen Komponenten des Grossdieselmotors wie beispielsweise Einzelheiten des Einspritzsystems, das Gaswechselsystem, das Abgassystem oder das Turboladersystem für die Bereitstellung der Spül- bzw. Ladeluft, sowie das Kontroll- und Steuerungssystem für einen Grossdieselmotor sind dem Fachmann sowohl für die Ausgestaltung als Zweitaktmotor als auch für die Ausgestaltung als Viertaktmotor hinlänglich bekannt und bedürfen daher hier keiner weiteren Erläuterung.

[0062] Bei dem längsgespülten Zweitakt-Grossdieselmotor sind üblicherweise im unteren Bereich eines jeden Zylinders 1 Spülluftöffnungen (nicht dargestellt), beispielsweise ausgestaltet als Spülluftschlitze, zum Zuführen von Spülluft in den Zylinder 1 vorgesehen, wobei die Spülluftöffnungen durch die Bewegung des Kolbens 4 im Zylinder periodisch verschlossen und geöffnet werden, sodass die von dem Turbolader unter einem Ladedruck bereitgestellte Spülluft durch die Spülluftschlitze in den Zylinder 1 einströmen kann, solange diese geöffnet sind.

[0063] Die nicht dargestellte(n) Gaseinlassdüse(n) für das Einbringen des gasförmigen Brennstoffs in den Brennraum 9 sind beispielsweise bezüglich der axialen Richtung A zwischen den Spülluftschlitzen und dem Zylinderdeckel 3 in der Zylinderwandung 2 angeordnet.

[0064] Das Kontroll- und Steuerungssystem ist in modernen Grossmotoren ein elektronisches System, mit welchem sich üblicherweise alle Motor- oder Zylinderfunktionen, insbesondere die Einspritzung (Beginn und Ende der Einspritzung) und die Betätigung des Auslassventils, einstellen oder steuern bzw. regeln lassen.

[0065] Erfindungsgemäss umfasst der Zylinder 1 mindestens drei Drucksensoren 10 zur Erfassung des Drucks im Brennraum 9. Als Drucksensoren 10 sind alle an sich bekannten Drucksensoren geeignet, insbesondere resistive Drucksensoren 10 oder piezoelektrischer Drucksensoren 10.

[0066] Die Drucksensoren 10 dienen dazu, den Ort im

Brennraum 9 zu lokalisieren, an welchem ein Verbrennungsprozess beginnt. Wenn irgendwo im Brennraum 9 eine Verbrennung beginnt, so führt dies an diesem Ort zu einem lokalen, deutlichen Druckanstieg. Diese Druckänderung breitet sich mit Schallgeschwindigkeit im Brennraum 9 aus und erreicht so auch die mindestens drei Drucksensoren 10, sodass jeder dieser Drucksensoren 10 den Druckanstieg registriert. Je nachdem, wie weit der jeweilige Drucksensor 10 vom Ursprungsort entfernt ist, an welchem der Verbrennungsprozess begonnen hat, benötigt die Druckänderung mehr oder weniger Zeit, um diesen Drucksensor 10 zu erreichen. Durch Vergleich der Messsignale, die von den mindestens drei Drucksensoren 10 erfasst werden, kann dann aus den Laufzeitunterschieden bzw. aus den jeweiligen Zeitpunkten, an denen die drei Drucksensoren 10 die Druckänderung detektiert haben, der ursprüngliche Ort ermittelt werden, an welchem der Verbrennungsprozess begonnen hat. Dies kann beispielsweise mittels einer trigonometrischen Methode erfolgen.

[0067] Prinzipiell lässt sich mit den drei Drucksensoren 10 für jeden Verbrennungsprozess derjenige Ort im Brennraum 9 ermitteln, an welchem der Verbrennungsprozess begonnen hat, unabhängig davon ob es sich um eine gewünschte Verbrennung oder um eine unerwünschte Verbrennung handelt. Gewünschte Verbrennungen umfassen dabei die Selbstzündung eines Brennstoffs, der bestimmungsgemäss ein selbstzündender Brennstoff ist, beispielsweise Schweröl oder Diesel, und die Fremdzündung eines Brennstoffs, der bestimmungsgemäss ein fremdgezündeter Brennstoff ist, beispielsweise ein Luft-Gas-Gemisch. Ungewünschte Verbrennungen umfassen insbesondere Frühzündungen im Brennraum 9, bei denen ein Brennstoff, der bestimmungsgemäss ein fremdgezündeter Brennstoff ist, durch Selbstzündung zu früh zu brennen beginnt.

[0068] Die Erfindung eignet sich somit insbesondere zur Detektion und zur Lokalisierung von Frühzündungen im Brennraum 9. Da solche Frühzündungen üblicherweise auftreten, bevor der Kolben 4 den oberen Umkehrpunkt OT erreicht, können einer oder mehrere der Drucksensoren 10 auch an solchen Orten angeordnet werden, an denen sie während eines Teils der Kolbenbewegung vom Kolben 4 überdeckt werden.

[0069] Die Position des Kolbens 4 im Zylinder 1 wird üblicherweise durch den Kurbelwinkel beschrieben, also die Winkelstellung der Kurbelwelle. Bei dem Kurbelwinkel 0° befindet sich der Kolben im oberen Umkehrpunkt OT (Fig. 1). Der Brennraum 9 hat sein minimales Volumen. Vom oberen Umkehrpunkt bewegt sich der Kolben 4 während eines Arbeitszyklus zunächst abwärts (Expansionshub) und erreicht bei dem Kurbelwinkel 180° den unteren Umkehrpunkt. Anschliessend bewegt sich der Kolben wieder aufwärts (Kompressionshub) und erreicht bei dem Kurbelwinkel von 360° wieder den oberen Umkehrpunkt OT, wodurch beim Zweitakt-Motor ein Arbeitszyklus komplett ist. Die Kurbelwinkel 0° und 360° sind somit identisch.

[0070] Wie bereits erwähnt, können einer oder mehrere der Drucksensoren 10 auch an solchen Orten angeordnet werden, an denen sie während eines Teils der Kolbenbewegung vom Kolben 4 überdeckt werden. Jedenfalls sind alle Drucksensoren 10 so angeordnet, dass sich jeder Drucksensor 10 bei einem Kurbelwinkel von 300° noch oberhalb des Kolbens 4 befindet, dass also bei einem Kurbelwinkel von 300° keiner der Drucksensoren 10 von dem Kolben 4 überdeckt wird. Vorzugsweise sind alle Drucksensoren 10 so angeordnet, dass sich jeder Drucksensor 10 bei einem Kurbelwinkel von 330° noch oberhalb des Kolbens 4 befindet, dass also bei einem Kurbelwinkel von 330° keiner der Drucksensoren 10 von dem Kolben 4 überdeckt wird.

[0071] Noch mehr bevorzugt ist es, wenn alle Drucksensoren 10 so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor 10 bei einem Kurbelwinkel von 350° noch oberhalb des Kolbens 4 befindet, dass also bei einem Kurbelwinkel von 350° keiner der Drucksensoren 10 von dem Kolben 4 überdeckt wird.

[0072] Besonders bevorzugt sind alle Drucksensoren 10 so angeordnet, dass sich jeder Drucksensor 10 auch bei einem Kurbelwinkel von 360° bzw. 0° noch oberhalb des Kolbens 4 befindet. Alle Drucksensoren 10 sind folglich so angeordnet, dass sie sich auch dann noch oberhalb des Kolbens 4 befinden, wenn der Kolben 4 im oberen Umkehrpunkt OT ist. Eine solche besonders bevorzugte Anordnung ist in Fig. 1 dargestellt. Für jede beliebige Position des Kolbens 4, das heisst für jeden Kurbelwinkel, wird keiner der Drucksensoren 10 von dem Kolben 4 überdeckt.

[0073] Vorzugsweise ist jeder Drucksensor 10 im Zylinderdeckel 3 oder in der als Zylinderliner ausgestalteten Zylinderwandung 2 vorgesehen.

[0074] Es ist aber auch möglich, die Drucksensoren 10 an anderen Stellen anzuordnen, beispielsweise im Auslassventil 5, insbesondere in dem dem Brennraum 9 zugewandten Ventilteller des Auslassventils 5, oder im Kolben 4, insbesondere im Bereich der dem Brennraum 9 zugewandten Oberfläche des Kolbens 4. Wesentlich ist, dass alle Drucksensoren so angeordnet sind, dass sie eine Druckänderung im Brennraum 9 detektieren können.

[0075] Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel sind alle Drucksensoren 10 im Zylinderdeckel 3 angeordnet. Dazu ist im Zylinderdeckel 3 für jeden Drucksensor 10 jeweils eine durchgängige Bohrung vorgesehen, welche sich von der Aussenseite des Zylinderdeckels 3 durch den Zylinderdeckel 3 hindurch erstreckt und in den Brennraum 9 einmündet. In dieser Bohrung wird dann der jeweilige Drucksensor 10 angeordnet und fixiert, beispielsweise durch Einschrauben in die Bohrung oder durch einen Presssitz, wobei der jeweilige Drucksensor 10 so platziert wird, dass es sich möglichst nahe am Brennraum 9 befindet.

[0076] Wie bereits erwähnt, basiert die Bestimmung des Ortes im Brennraum 9, an welchem ein Verbrennungsprozess beginnt, vorzugsweise auf einer trigono-

metrischen Methode, bei der aus den Laufzeiten, welche die Druckänderung vom Ort des Beginns der Verbrennung bis zum Erreichen des jeweiligen Drucksensors 10 benötigt, der Ort bestimmt wird, an welchem die Verbrennung, also beispielsweise die Frühzündung, begonnen hat bzw. aufgetreten ist.

[0077] Um eine möglichst hohe Ortsauflösung, das heisst eine möglichst genaue Bestimmung des Orts der Verbrennung zu erzielen, ist es eine vorteilhafte Massnahme, den gegenseitigen Abstand zwischen den Drucksensoren 10 möglichst gross zu wählen. Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass im Zylinderdeckel 3 auch noch andere Komponenten angeordnet sind, wie beispielsweise das Auslassventil 5, die Vorkammern 6, die Einspritzdüsen 7 oder das Startluftventil 8.

[0078] Um einen möglichst grossen Abstand der Drucksensoren 10 untereinander zu realisieren, können die Drucksensoren 10 bezüglich der axialen Richtung A auf unterschiedlichen Höhen H1, H2, H3 angeordnet werden, so wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Dabei ist es bevorzugt, dass alle Drucksensoren 10 auf jeweils verschiedenen Höhen H1, H2, H3 bezüglich der axialen Richtung A angeordnet sind. Das heisst, in Fig. 1 bezeichnen H1 und H2 und H3 jeweils verschiedene Höhengniveaus, sodass die Höhe H1 verschieden von der Höhe H2 und der Höhe H3 ist, wobei die Höhe H2 auch verschieden von der Höhe H3 ist.

[0079] Um einen möglichst grossen Abstand der Drucksensoren 10 untereinander zu realisieren, ist es ferner eine vorteilhafte Massnahme, die Drucksensoren 10 bezüglich der Umfangsrichtung des Zylinders 1 bzw. des Zylinderdeckels 3 an unterschiedlichen Positionen anzuordnen, sodass jeweils zwei benachbarte Drucksensoren 10 bezüglich der Umfangsrichtung einen Winkelabstand haben. Dieser Winkelabstand zwischen benachbarten Drucksensoren ist vorzugsweise jeweils mindestens 45°.

[0080] Um eine möglichst hohe Ortsauflösung zu erzielen, d.h. um den Ort, an welchem ein Verbrennungsprozess im Zylinder 1 beginnt, möglichst genau zu bestimmen, werden vorzugsweise Drucksensoren mit einer hohen Messfrequenz verwendet. Die Messfrequenz des Drucksensors 10 gibt an, wie viele individuelle Messungen der Drucksensor 10 in einem Zeitintervall, beispielsweise in einer Sekunde, durchführen kann. Bevorzugt werden Drucksensoren 10 eingesetzt, die eine Messfrequenz von mindestens 20 kHz haben oder sehr schnelle Drucksensoren 10, die eine Messfrequenz von 50 kHz oder noch grösser haben. Bei einer Messfrequenz von 50 kHz beträgt der Zeitabstand zwischen zwei individuellen Messungen zwanzig Mikrosekunden.

[0081] Ferner kann es vorteilhaft sein, vier oder noch mehr Drucksensoren 10 vorzusehen, wobei mit jedem Drucksensor 10 der Druck im Brennraum 9 ermittelt werden kann. Mit mindestens einem zusätzlichen Drucksensor zu den drei Drucksensoren 10 kann das Ergebnis der Messung überprüft werden oder beispielsweise ein Fehler in einem der drei Drucksensoren 10 detektiert werden.

Natürlich kann es je nach Anwendungsfall auch vorteilhaft sein, fünf oder auch noch mehr Drucksensoren 10 im Brennraum 9 anzuordnen.

[0082] Bei der Verwendung von vier Drucksensoren kann bei einer trigonometrischen Auswertung der Messsignale von drei der Drucksensoren 10 das Messsignal des vierten Drucksensors 1 zur Validierung bzw. zur Überprüfung der Ortsbestimmung herangezogen werden.

[0083] Die Messsignale aller Drucksensoren 10 werden einer Auswerteeinheit (nicht dargestellt) zugeführt. In dieser kann dann, beispielsweise mittels einer trigonometrischen Methode, anhand der von den verschiedenen Drucksensoren 10 erhaltenen Messsignale der Ort im Brennraum 9 bestimmt werden, an welchem ein Verbrennungsprozess begonnen hat.

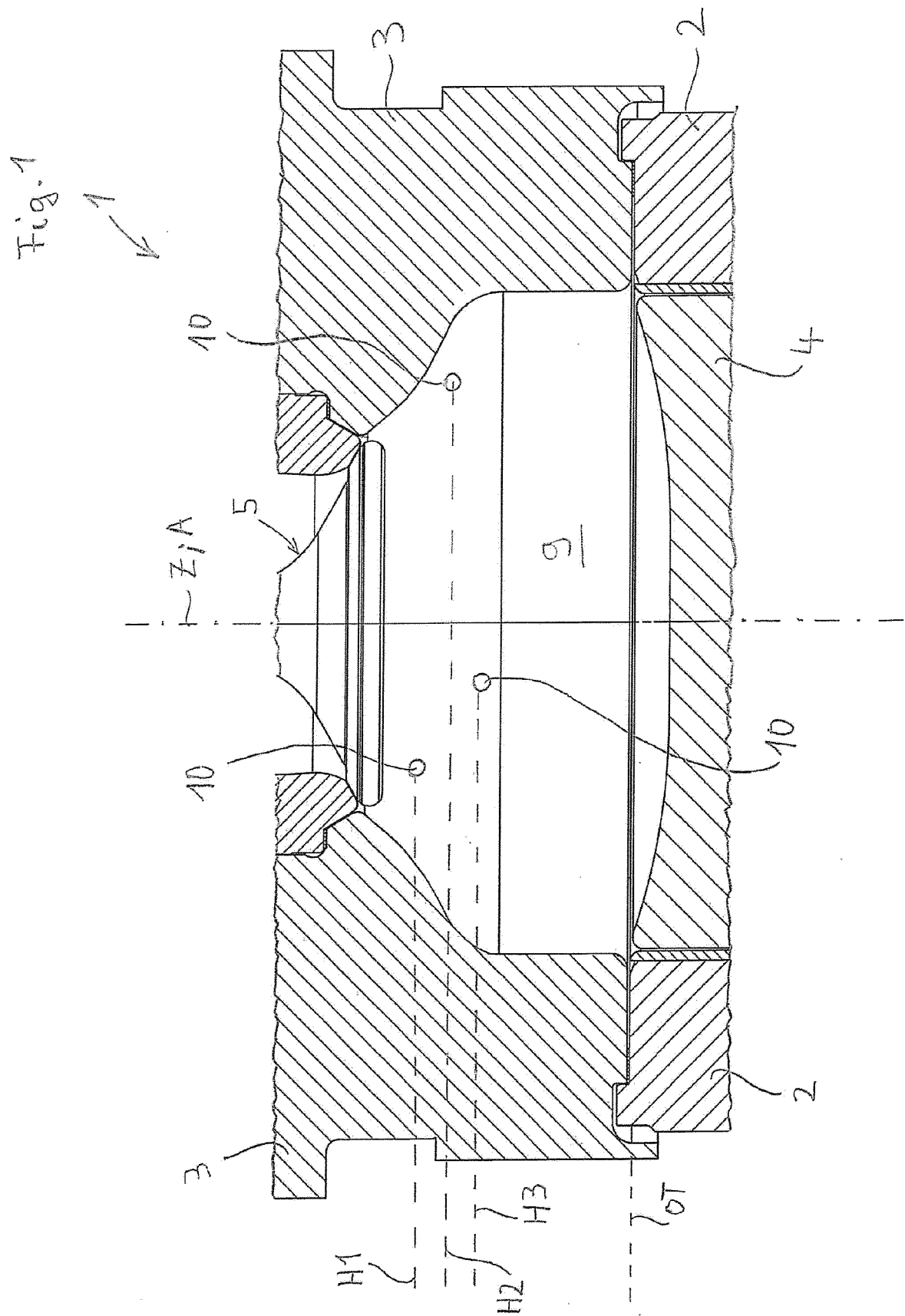
[0084] Zur Vereinfachung der Auswertung in der Auswerteeinheit kann es vorteilhaft sein, wenn alle Drucksensoren 10 synchron getaktet werden, sodass die individuellen Druckmessungen der verschiedenen Drucksensoren 10 jeweils für alle Drucksensoren 10 zum gleichen Zeitpunkt stattfinden.

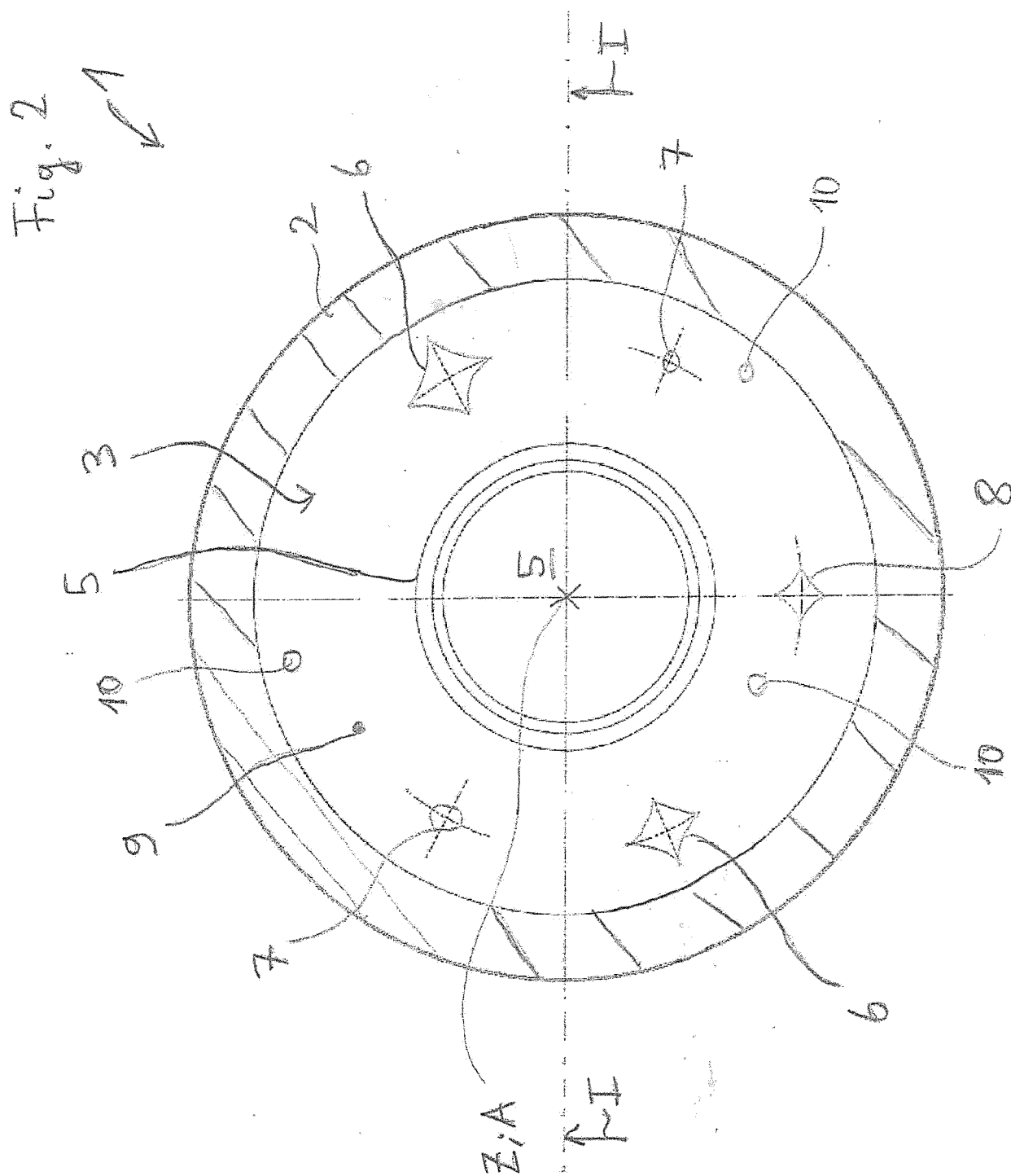
[0085] Im Hinblick auf die Auswertung der Messsignale der Drucksensoren 10 kann es vorteilhaft sein, wenn die Messsignale der Drucksensoren 10 mit einer Kompressionskurve für den Zylinder 1 verglichen werden. Die Kompressionskurve des Zylinders 1 gibt den Verlauf des Drucks im Brennraum 9 des Zylinders 1 in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel an.

Patentansprüche

1. Zylinder für einen längsgespülten Grossmotor mit einer Zylinderwandung (2), mit einem Kolben (4), welcher entlang einer Zylinderachse (Z) zwischen einem unteren und einem oberen Umkehrpunkt (OT) hin- und her bewegbar angeordnet ist, mit einem Zylinderdeckel (3), welcher gemeinsam mit dem Kolben (4) einen Brennraum (9) begrenzt, und mit mindestens einer Einspritzdüse (7) zum Einbringen eines Brennstoffs in den Brennraum (9), wobei im Zylinderdeckel (3) ein Auslassventil (5) angeordnet ist, durch welches Verbrennungsgase aus dem Brennraum (9) abführbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens drei Drucksensoren (10) zum Bestimmen des Drucks im Brennraum (9) vorgesehen sind, wobei alle Drucksensoren (10) so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor (10) bei einem Kurbelwinkel von 300°, vorzugsweise bei einem Kurbelwinkel von 330°, und besonders bevorzugt bei einem Kurbelwinkel von 350°, oberhalb des Kolbens (4) befindet.
2. Zylinder nach Anspruch 1, wobei alle Drucksensoren (10) so angeordnet sind, dass sich jeder Drucksensor (10) bei einem Kurbelwinkel von 0° bzw. 360° oberhalb des Kolbens (4) befindet.

3. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mindestens eine mit dem Brennraum (9) verbundene Vorkammer (6) zum Zünden des Brennstoffs im Brennraum (9) vorgesehen ist.
4. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jeder Drucksensor (10) im Zylinderdeckel (3) oder in der Zylinderwandung (2) angeordnet ist.
5. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Drucksensoren (10) bezüglich einer durch die Zylinderachse (Z) definierten axialen Richtung (A) auf mindestens zwei verschiedenen Höhen (H1, H2, H3) angeordnet sind.
6. Zylinder nach Anspruch 5, wobei alle Drucksensoren (10) auf jeweils verschiedenen Höhen (H1, H2, H3) angeordnet sind.
7. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Drucksensoren (10) bezüglich der Umfangsrichtung derart angeordnet sind, dass der Winkelabstand zwischen zwei benachbarten Drucksensoren (10) in Umfangsrichtung gesehen jeweils mindestens 45° ist.
8. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mindestens vier Drucksensoren (10) vorgesehen sind.
9. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jeder Drucksensor (10) eine Messfrequenz von mindestens 20 kHz aufweist.
10. Zylinder nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jeder Drucksensor (10) eine Messfrequenz von mindestens 50 kHz aufweist.
11. Verfahren zur Überwachung der Verbrennung in einem Zylinder eines längsgespülten Grossmotors, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zylinder (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche ausgestaltet ist, und dass mittels der Drucksensoren (10) Messsignale erfasst werden, wobei anhand der Messsignale ein Ort im Brennraum (9) ermittelt wird, an welchem ein Verbrennungsvorgang beginnt.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei alle Drucksensoren (10) synchron getaktet werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11-12, wobei in einer Auswerteeinheit für jeden Drucksensor (10) die Messsignale mit einer Kompressionskurve des Zylinders (1) verglichen werden.
14. Längsgespülter Grossmotor, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Grossmotor einen Zylinder (1) aufweist, welcher gemäß einem der Ansprüche 1-10 ausgestaltet ist, oder dass die Verbrennung mit einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-13 überwacht wird.
15. Grossmotor nach Anspruch 14, ausgestaltet als längsgespülter Zweitakt-Grossdieselmotor, insbesondere als Dual-Fuel Grossdieselmotor, der in einem Flüssigmodus betreibbar ist, in welchem ein flüssiger Brennstoff zur Verbrennung in den Brennraum (9) eingebracht wird, und der ferner in einem Gasmodus betreibbar ist, in welchem ein Gas als Brennstoff in den Brennraum (9) eingebracht wird.







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 19 0028

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)
Y	US 2015/075485 A1 (YAMADA TAKAYUKI [JP] ET AL) 19. März 2015 (2015-03-19) * Absätze [0009], [0010], [0032] - [0036], [0041]; Abbildung 1 *	1-15	INV. F02B25/02 F02D35/02 F02B19/00
Y	DE 10 2006 008802 A1 (IAV GMBH [DE]) 30. August 2007 (2007-08-30) * Absätze [0008] - [0010]; Abbildungen 1,4 *	1-15	
A	EP 1 956 211 A2 (WAERTSILAE SCHWEIZ AG [CH]) 13. August 2008 (2008-08-13) * Absätze [0002] - [0003], [0032] - [0033], [0051] - [0059], [0064], [0065]; Abbildungen 1,2 *	1-15	
A	DE 10 2012 021053 A1 (IAV GMBH [DE]) 30. April 2014 (2014-04-30) * Absätze [0009] - [0011]; Abbildung 1 *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F02B F02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 12. Februar 2019	Prüfer Le Bihan, Thomas
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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 03.92 (P04C03)

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

EP 18 19 0028

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.

12-02-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015075485 A1	19-03-2015	CN 104520558 A	15-04-2015
		DK 2860376 T3	06-11-2017
		EP 2860376 A1	15-04-2015
		JP 5949183 B2	06-07-2016
		JP 2013253529 A	19-12-2013
		KR 20150013846 A	05-02-2015
		US 2015075485 A1	19-03-2015
		WO 2013183737 A1	12-12-2013
DE 102006008802 A1	30-08-2007	KEINE	
EP 1956211 A2	13-08-2008	BR PI0800106 A	23-09-2008
		CN 101240742 A	13-08-2008
		EP 1956211 A2	13-08-2008
		JP 2008196482 A	28-08-2008
		KR 20080074719 A	13-08-2008
DE 102012021053 A1	30-04-2014	KEINE	

EPO FORM P0461

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