

(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
21. Juni 2018 (21.06.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/108301 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 19/10 (2006.01) *F02D 41/40* (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01) *F02D 35/02* (2006.01)
F02D 41/30 (2006.01) *F02P 5/152* (2006.01)
F02D 41/34 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/001309

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. November 2017 (10.11.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 224 833.2
13. Dezember 2016 (13.12.2016) DE

(71) Anmelder: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH**
[DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: **BAUER, Johannes**; Am Nepomuk 4, 91352
Hallerndorf (DE). **SPÄDER, Tim**; Gräbenen 18, 88085
Langenargen (DE). **WERNER, Roland**; Pacellistraße 2/1,
88045 Friedrichshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE SOWIE BRENNKRAFTMASCHINE

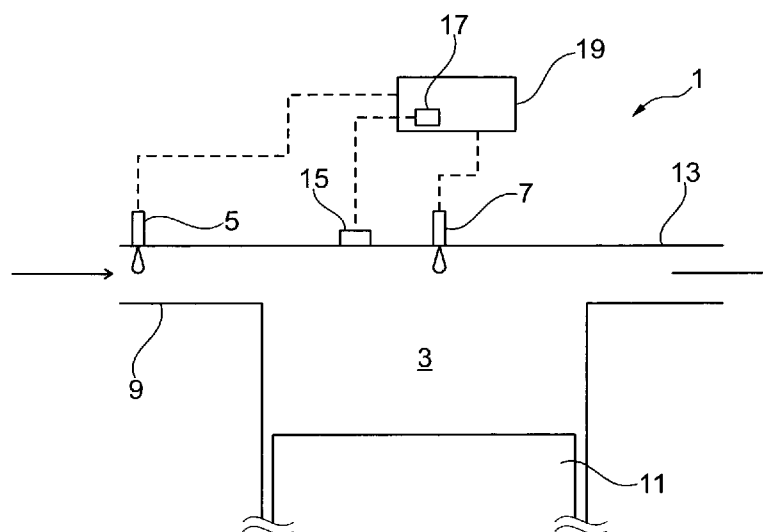


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an internal combustion engine (1), having the following steps: introducing a first defined quantity of a first gaseous fuel into a combustion chamber (3) of the internal combustion engine (1), in a first operating mode; introducing a second defined quantity of a second liquid fuel into the combustion chamber (3) at a defined injection time, inflaming the fuels in the combustion chamber (3), and detecting a knocking signal for the combustion chamber (3) in order to determine a knocking intensity, wherein, in the first operating mode of the internal combustion engine (1), the defined injection time is moved later within a first postponement range (VB1) if the determined knocking intensity exceeds a first smaller threshold value, wherein the determined injection time is moved later within a second postponement range (VB2), which is expanded in comparison to the first postponement range (VB1), if the determined knocking intensity exceeds a second, larger threshold value.



WO 2018/108301 A1



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)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), mit folgenden Schritten: Einbringen einer ersten bestimmten Menge eines ersten gasförmigen Brennstoffs in einen Brennraum (3) der Brennkraftmaschine (1) in einer ersten Betriebsart; Einbringen einer zweiten bestimmten Menge eines zweiten flüssigen Brennstoffs in den Brennraum (3) zu einem bestimmten Einspritzzeitpunkt, Entflammen der Brennstoffe in dem Brennraum (3), und Erfassen eines Klopfsignals für den Brennraum (3) zur Ermittlung einer Klopfintensität, wobei in der ersten Betriebsart der Brennkraftmaschine (1) der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb eines ersten Verschiebungsbereichs (VBI) nach spät verschoben wird, wenn die ermittelte Klopfintensität einen ersten kleineren Schwellenwert überschreitet, wobei der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb eines zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich (VBI) erweiterten Verschiebungsbereichs (VB2) nach spät verschoben wird, wenn die ermittelte Klopfintensität einen zweiten größeren Schwellenwert überschreitet.

BESCHREIBUNG

5 Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine sowie Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine sowie eine Brennkraftmaschine.

- 10 Werden einem Brennraum einer Brennkraftmaschine sowohl ein erster, gasförmiger Brennstoff als auch ein zweiter, flüssiger Brennstoff zugeführt, kann auf eine klopfende Verbrennung in dem Brennraum grundsätzlich in verschiedener Weise reagiert werden: Es ist möglich, einen Entflammungszeitpunkt, der typischerweise durch einen Einspritzzeitpunkt des zweiten, flüssigen Brennstoffs bestimmt ist, nach spät zu verschieben; zusätzlich oder alternativ kann eine
- 15 Menge des in den Brennraum eingebrachten, ersten gasförmigen Brennstoffs reduziert werden. Ein entsprechendes Verfahren geht beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2011 089 292 A1 hervor. Die verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten haben verschiedene, grundsätzlich unerwünschte Nebeneffekte beispielsweise auf die Emissionen, den Wirkungsgrad und/oder die Betriebskosten der Brennkraftmaschine. Weiterhin wirken die verschiedenen
- 20 Maßnahmen verschieden schnell. Außerdem ist eine Vielzahl von Nebenbedingungen zu beachten, wenn die Brennkraftmaschine optimal betrieben werden soll. Bekannte Verfahren sind insbesondere in Hinblick auf die Berücksichtigung solcher Nebenbedingungen sowie einen optimalen Betrieb der Brennkraftmaschine verbesserungswürdig.
- 25 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine sowie eine Brennkraftmaschine zu schaffen, bei welchen die genannten Nachteile nicht auftreten.

- Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.
- 30

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit folgenden Schritten geschaffen wird: Es wird in einer ersten Betriebsart eine erste bestimmte Menge an erstem, gasförmigen Brennstoff in einen Brennraum der

Brennkraftmaschine eingebracht. Eine zweite bestimmte Menge an zweitem, flüssigen Brennstoff wird zu einem bestimmten Einspritzzeitpunkt in den Brennraum eingebracht. Die Brennstoffe werden in dem Brennraum entzündet. Es wird ein Klopfsignal zur Ermittlung einer Klopfintensität für den Brennraum erfasst. Das Klopfsignal wird bevorzugt zur Ermittlung der Klopfintensität ausgewertet. In der ersten Betriebsart der Brennkraftmaschine wird der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb eines ersten Verschiebungsbereichs nach spät verschoben, wenn die ermittelte Klopfintensität einen ersten, kleineren Schwellenwert überschreitet, wobei der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb eines zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich erweiterten Verschiebungsbereichs nach spät verschoben wird, wenn die ermittelte Klopfintensität einen zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. Das Verfahren weist Vorteile im Vergleich zum Stand der Technik auf. Insbesondere ermöglicht das Verfahren eine mehrstufige Eskalationskette in Reaktion auf eine klopfende Verbrennung in dem Brennraum: So kann der Einspritzzeitpunkt innerhalb des ersten Verschiebungsbereichs, der vorzugsweise auf minimale oder gesetzlich zulässige Emissionen der Brennkraftmaschine abgestimmt ist, verschoben werden, solange die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert nicht überschreitet, wobei der Verschiebungsbereich erweitert werden kann, wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. Auf diese Weise ist es möglich, flexibler auf die tatsächlich vorliegende Intensität einer klopfenden Verbrennung zu reagieren, wobei insbesondere eine emissionsschädliche Erweiterung des Verschiebungsbereichs für den bestimmten Einspritzzeitpunkt erst durchgeführt wird, wenn dies tatsächlich zum Schutz der Brennkraftmaschine nötig wird. Zuvor kann der Einspritzzeitpunkt in engeren Grenzen, nämlich in dem ersten Verschiebungsbereich verschoben werden, wobei gleichzeitig ein sicherer Betrieb der Brennkraftmaschine gewährleistet und zulässige Emissionen eingehalten werden können.

Als erster, gasförmiger Brennstoff wird insbesondere ein Brennstoff verwendet, der unter Normalbedingungen, das heißt insbesondere bei 1013 mbar und 298 K gasförmig ist, insbesondere ein Brenngas, vorzugsweise ein methanhaltiges Brenngas, besonders bevorzugt CNG (Compressed Natural Gas), LPG (Liquid Petroleum Gas), Erdgas, bei der Rohstoffförderung anfallendes Gas, insbesondere Quellengas, Deponiegas, Biogas, oder ein anderes geeignetes Gas. Der erste, gasförmige Brennstoff wird vorzugsweise stromaufwärts des Brennraums in einen Ladepfad oder Luftpfad der Brennkraftmaschine eingebracht, insbesondere in ein Saugrohr, vorzugsweise durch Mehrpunkteindüsung, Einzelpunkteindüsung oder mittels eines Gasmischers, vorzugsweise stromaufwärts eines in dem Ladepfad angeordneten

Verdichters, sodass durch den Verdichter ein Gemisch aus Ladeluft und gasförmigem Brennstoff verdichtet wird, oder in anderer geeigneter Weise.

Als zweiter, flüssiger Brennstoff wird insbesondere ein Brennstoff verwendet, der unter
5 Normalbedingungen, das heißt insbesondere bei 1013 mbar und 298 K flüssig ist, besonders bevorzugt ein Zündöl, insbesondere Diesel, Dimethylether oder dergleichen. Der zweite, flüssige Brennstoff wird vorzugsweise direkt in den Brennraum eingebracht, insbesondere eingespritzt, insbesondere über einen hierfür eingerichteten Injektor.

10 Das Entflammen der Brennstoffe in dem Brennraum erfolgt bevorzugt durch Selbstzündung des zweiten, flüssigen Brennstoffs, was insbesondere in sehr engem zeitlichen Zusammenhang mit dem Einspritzzeitpunkt, insbesondere zum Einspritzzeitpunkt, erfolgt. Der Einspritzzeitpunkt definiert somit den Entflammungszeitpunkt der Brennstoffe. Unter dem Einspritzzeitpunkt wird dabei insbesondere der Beginn der Einspritzung des zweiten Brennstoffs in den Brennraum
15 bezeichnet.

Die erste Betriebsart der Brennkraftmaschine ist insbesondere ein Zweistoffbetrieb, bei welcher dem Brennraum sowohl der erste, gasförmige Brennstoff als auch der zweite, flüssige Brennstoff
zugeführt werden.

20

Die Brennkraftmaschine wird insbesondere so betrieben, dass nicht lediglich eine minimale, zur Entflammung nötige Zündmenge des zweiten, flüssigen Brennstoffs in den Brennraum eingebracht wird, sondern dass auch die zweite bestimmte Menge des zweiten, flüssigen Brennstoffs zur Leistungserzeugung in dem Brennraum mehr als nur marginal beiträgt. Dabei ist
25 die erste bestimmte Menge an erstem Brennstoff vorzugsweise verschieden von der zweiten bestimmten Menge an zweitem Brennstoff. Es ist möglich, dass die erste Menge und die zweite Menge betriebspunktabhängig gewählt werden. Im Betrieb der Brennkraftmaschine erfolgt bevorzugt eine Substitution des zweiten, flüssigen Brennstoffs zu einem bestimmten Anteil durch den ersten, gasförmigen Brennstoff, was insbesondere betriebspunktabhängig erfolgen
30 kann. Diese Substitution ist vorzugsweise stufenlos oder diskret möglich, wobei vorzugsweise von 0 % des zweiten, flüssigen Brennstoffs bis zu nahezu 100 % des zweiten, flüssigen Brennstoffs durch den ersten, gasförmigen Brennstoff ersetzt werden können. Unter einer Menge an Brennstoff wird insbesondere eine Brennstoffmasse verstanden.

Vorzugsweise wird das Klopfsignal ausgewertet, indem es gefiltert wird. Das gefilterte Klopfsignal kann als Klopfintensität verwendet werden. Das Klopfsignal kann aber auch unmittelbar als Klopfintensität verwendet werden, wobei es lediglich mit dem bestimmten Schwellenwert verglichen wird.

5

Wird eine Brennkraftmaschine betrieben, welche eine Mehrzahl von Brennräumen aufweist, wird das Klopfsignal vorzugsweise brennraumindividuell erfasst, entweder mittels einer Mehrzahl von Sensoren, oder mittels eines Sensors, dessen Sensorsignal bevorzugt kurbelwellenwinkelabhängig ausgewertet wird. Bevorzugt wird dann auch die Klopfintensität brennraumindividuell ermittelt, wobei auch die Verschiebung des bestimmten Einspritzzeitpunkts brennraumindividuell durchgeführt wird. Die Wahl des ersten oder zweiten Verschiebungsbereichs erfolgt dagegen bevorzugt global für die gesamte Brennkraftmaschine, sodass insbesondere der zweite, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich erweiterte Verschiebungsbereich freigegeben wird, sobald die Klopfintensität in einem der Brennräume den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet.

10

15

Zum Erfassen des Klopfsignals wird bevorzugt wenigstens ein Körperschallsensor, wenigstens ein Zylinderdrucksensor, oder wenigstens ein anderer geeigneter Sensor verwendet.

20 Dass der bestimmte Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben wird, bedeutet insbesondere, dass dieser – vorzugsweise angegeben auf einer Kurbelwellenwinkel-Skala näher an einen oberen Totpunkt eines in dem Brennraum verlagerbaren Kolbens heran verlagert wird, wobei der obere Totpunkt einen Kompressionstakt von einem Arbeitstakt des Brennraums trennt. Vorzugsweise wird der bestimmte Einspritzzeitpunkt iterativ, insbesondere inkrementell, nach spät verschoben, wenn die ermittelte Klopfintensität den ersten und/oder den zweiten Schwellenwert überschreitet.

25

30

Dass der zweite Verschiebungsbereich im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich erweitert ist, bedeutet bevorzugt insbesondere, dass der zweite Verschiebungsbereich mit dem ersten Verschiebungsbereich überlappt, wobei er aber ein größeres Intervall – insbesondere nach spät erweitert – für zulässige Einspritzzeitpunkte, insbesondere auf der Kurbelwellenwinkelskala, umfasst. Bevorzugt ist vorgesehen, dass der erste Verschiebungsbereich und der zweite Verschiebungsbereich einen gemeinsamen, frühesten zulässigen Einspritzzeitpunkt quasi als Untergrenze des Intervalls aufweisen, wobei aber ein

spätester zulässiger Einspritzzeitpunkt für den zweiten Verschiebungsbereich näher an dem oberen Totpunkt liegt als der späteste zulässige Einspritzzeitpunkt für den ersten Verschiebungsbereich. Mithin unterscheiden sich die beiden Verschiebungsbereiche insbesondere durch ihre Obergrenze für die Spätverschiebung des bestimmten Einspritzzeitpunkts.

Dass der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb des zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich erweiterten Verschiebungsbereich nach spät verschoben wird, wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet, bedeutet demnach insbesondere, dass der späteste zulässige Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben wird, wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste bestimmte Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs reduziert wird, wenn der bestimmte Einspritzzeitpunkt einen ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert – in Richtung spät, also in Richtung näher zu dem oberen Totpunkt – überschreitet. Es ist also möglich, die Menge an in den Brennraum eingebrachtem Brenngas zu reduzieren, wenn die Verschiebung des Einspritzzeitpunkts eine erhöhte Klopfneigung anzeigt, was insbesondere an den Eigenschaften des verwendeten Brenngases liegen kann. Bevorzugt ist der erste bestimmte Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert so gewählt, dass er gleich dem spätesten, zulässigen Einspritzzeitpunkt des ersten Verschiebungsbereichs ist, sodass insbesondere dann, wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet, nicht nur der Einspritzzeitpunkt weiter nach spät verschoben werden kann, sondern auch zusätzlich dem Brennraum in dem erweiterten zweiten Verschiebungsbereich weniger Brenngas zugeführt wird. Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass die erste bestimmte Menge des ersten, gasförmigen Brennstoff reduziert wird, wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet, vorzugsweise unabhängig von dem momentanen Wert des bestimmten Einspritzzeitpunkts.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweite bestimmte Menge des zweiten, flüssigen Brennstoffs dann, wenn die erste bestimmte Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs reduziert wird, derart erhöht wird, dass eine Leistung und/oder ein Drehmoment der Brennkraftmaschine – insbesondere bezogen auf einen bestimmten, insbesondere momentanen Lastpunkt – konstant gehalten wird/werden. Die Reduzierung der dem Brennraum zugeführten

Menge an Brenngas wird also ausgeglichen durch eine erhöhte Menge an dem Brennraum zugeführten Zündöl.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste bestimmte Menge des
5 ersten, gasförmigem Brennstoffs abhängig von dem – insbesondere momentan gültigen – bestimmten Einspritzzeitpunkt reduziert wird. Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass die erste bestimmte Menge abhängig von einer Differenz zwischen dem – insbesondere momentan gültigen – bestimmten Einspritzzeitpunkt und dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert reduziert wird. Dies ermöglicht eine schrittweise Reduzierung der ersten
10 bestimmten Menge beim Auftreten einer klopfenden Verbrennung. Die Reduzierung der ersten bestimmten Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs kann dabei abhängig von dem bestimmten Einspritzzeitpunkt und/oder der Differenz zwischen dem bestimmten Einspritzzeitpunkt und dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert in einem Kennfeld hinterlegt sein.

15
Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Einbringen der ersten Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs in einer zweiten Betriebsart der Brennkraftmaschine unterlassen wird, wenn die Klopfintensität einen dritten Schwellenwert überschreitet, wobei der dritte Schwellenwert größer ist als der zweite, größere Schwellenwert. Somit ist der dritte
20 Schwellenwert insbesondere auch größer als der erste, kleinere Schwellenwert, der ja kleiner ist als der zweite, größere Schwellenwert. Diese zweite Betriebsart ist insbesondere ein reiner Zündölbetrieb, insbesondere Dieselpetrieb der Brennkraftmaschine ohne Beimischung von Brenngas. Diese zweite Betriebsart entspricht einer dritten Eskalationsstufe der dann insgesamt dreistufigen Eskalationskette zur Reaktion auf eine klopfende Verbrennung, wobei die
25 Brennkraftmaschine bei hoher Klopfintensität effizient dadurch geschützt werden kann, dass auf einen reinen Dieselpetrieb umgeschaltet wird. Das Umschalten in die zweite Betriebsart erfolgt bevorzugt unabhängig von dem momentanen bestimmten Einspritzzeitpunkt und/oder der momentanen bestimmten Menge an erstem, gasförmigen Brennstoff, welche dem Brennraum zugeführt wird. Somit hängt es bevorzugt ausschließlich von der Klopfintensität ab, ob in die
30 zweite Betriebsart der Brennkraftmaschine gewechselt und damit das Einbringen des ersten, gasförmigen Brennstoffs unterlassen wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der bestimmte Einspritzzeitpunkt und/oder ein spätester zulässiger Einspritzzeitpunkt für den zweiten Verschiebungsbereich nach

früh verschoben wird/werden, wenn die Klopfintensität kleiner ist als der zweite, größere Schwellenwert, nach dem die Klopfintensität zuvor, das heißt insbesondere in einem vorhergehenden Arbeitszyklus des Brennraums, den zweiten, größeren Schwellenwert überschritten hat. Dies ermöglicht eine Rücknahme der Spätverschiebung des

5 Einspritzzeitpunkts und somit dessen Rückführung in einen in Hinblick auf die Emissionen der Brennkraftmaschine günstigen Bereich, wenn keine klopfende Verbrennung mehr auftritt. Der zweite, erweiterte Verschiebungsbereich wird somit nur kurzfristig freigegeben und insbesondere zyklisch wieder deaktiviert. Hierdurch kann insbesondere auch verhindert werden, dass bei falsch erkanntem Klopfen nicht fälschlicherweise dauerhaft der erweiterte, zweite

10 Verschiebungsbereich freigegeben ist, was sich schädlich auf die Emissionen der Brennkraftmaschine auswirken würde. Dies bedeutet bevorzugt, dass der bestimmte Einspritzzeitpunkt und/oder der späteste zulässige Einspritzzeitpunkt für den zweiten Verschiebungsbereich nach früh verschoben wird/werden, wenn der bestimmte Einspritzzeitpunkt einen zweiten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert überschreitet

15 und zugleich die Klopfintensität kleiner ist als der zweite, größere Schwellenwert. Der zweite bestimmte Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert kann dabei bevorzugt gleich dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert sein, insbesondere also gleich dem spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkts des ersten Verschiebungsbereichs. Somit kann der momentan gültige Verschiebungsbereich verkleinert und insbesondere auf den ersten Verschiebungsbereich

20 zurückgeführt werden, wenn keine klopfende Verbrennung mehr auftritt, deren Intensität größer wäre als der zweite, größere Schwellenwert. Vorzugsweise erfolgt die Verschiebung des bestimmten Einspritzzeitpunkts und/oder des spätestens zulässigen Einspritzzeitpunkts schrittweise, insbesondere derart, dass eine Mehrzahl von Schritten zur Rückführung des Einspritzzeitpunkts auf den ersten, kleineren Verschiebungsbereich nötig sind. Insbesondere ist

25 es möglich, dass eine kleinere Schrittweite für die Verschiebung des Einspritzzeitpunkts nach früh vorgesehen ist als für die Verschiebung des Einspritzzeitpunkts nach spät, wenn die Klopfintensität den ersten oder zweiten Schwellenwert überschreitet. Dies verhindert eine zu rasche Rückführung des Einspritzzeitpunkts mit dem damit verbundenen Risiko von plötzlichem, intensivem Klopfen.

30

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welche wenigstens einen Brennraum aufweist, sowie wenigstens ein erstes Einbringungsmittel zum Einbringen einer ersten bestimmten Menge eines ersten, gasförmigen Brennstoffs in den Brennraum der Brennkraftmaschine in einer ersten Betriebsart, und wenigstens ein zweites

Einbringungsmittel zum Einbringen einer zweiten bestimmten Menge eines zweiten, flüssigen Brennstoffs in den Brennraum zu einem bestimmten Einspritzzeitpunkt. Weiterhin ist wenigstens ein Erfassungsmittel zum Erfassen eines Klopfsignals für den wenigstens einen Brennraum vorgesehen, und ein Auswertemittel zur Ermittlung einer Klopfintensität für den wenigstens einen Brennraum und bevorzugt zur Auswertung des Klopfsignals. Die Brennkraftmaschine weist außerdem eine Steuereinrichtung auf, die eingerichtet ist, um den bestimmten Einspritzzeitpunkt innerhalb eines ersten Verschiebungsbereichs nach spät zu verschieben, wenn die ermittelte Klopfintensität einen ersten, kleineren Schwellenwert überschreitet, wobei die Steuereinrichtung eingerichtet ist, um den bestimmten Einspritzzeitpunkt innerhalb eines zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich erweiterten Verschiebungsbereich nach spät zu verschieben, wenn die ermittelte Klopfintensität einen zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. In Hinblick auf die Brennkraftmaschine ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden. Bevorzugt ist die Brennkraftmaschine eingerichtet, um mit einer Ausführungsform des zuvor beschriebenen Verfahrens betrieben zu werden.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist die Brennkraftmaschine eine Mehrzahl von Brennräumen auf, wobei das wenigstens eine Erfassungsmittel eingerichtet ist, um das Klopfsignal brennraumindividuell zu erfassen, und wobei die Steuereinrichtung eingerichtet ist, um den bestimmten Einspritzzeitpunkt brennraumindividuell zu verschieben. Es ist dabei möglich, dass eine Mehrzahl von Erfassungsmitteln vorgesehen sind, beispielsweise eine Mehrzahl von Körperschallsensoren und/oder Zylinderdrucksensoren, wobei insbesondere jedem Brennraum ein Erfassungsmittel zugeordnet sein kann. Es ist aber auch möglich, dass eine brennraumindividuelle Erfassung des Klopfsignals mit einer Anzahl von Erfassungsmitteln erfolgt, die kleiner ist als die Anzahl der Brennräume, insbesondere auch mit nur einem Erfassungsmittel oder einem Erfassungsmittel pro Zylinderbank, wenn die Brennkraftmaschine eine Mehrzahl von Zylinderbänken aufweisen, wobei die Zuordnung des Klopfsignals zu einem Brennraum insbesondere anhand des Kurbelwellenwinkels erfolgen kann.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine als Zweistoffmotor ausgebildet ist, wobei der Zweistoffmotor insbesondere ausgebildet und eingerichtet ist zum gleichzeitigen Betrieb mit einem Brenngas und einem Zündöl in dem wenigstens einen Brennraum.

Die Beschreibung des Verfahrens einerseits und der Brennkraftmaschine andererseits sind komplementär zueinander zu verstehen. Merkmale der Brennkraftmaschine, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben wurden, sind bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Merkmale eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der

- 5 Brennkraftmaschine. Verfahrensschritte, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine beschrieben wurden, sind bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Schritte einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens. Dieses zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens einen Verfahrensschritt aus, der durch wenigstens ein Merkmal eines erfindungsgemäßen oder bevorzugten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine bedingt ist.
- 10 Die Brennkraftmaschine zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens ein Merkmal aus, welches durch wenigstens einen Schritt einer erfindungsgemäßen oder bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bedingt ist.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

- 15
- Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine;
- Figur 2 eine schematische Darstellung der im Rahmen einer Ausführungsform des
- 20 Verfahrens verwendeten Verschiebungsbereiche;
- Figur 3 eine erste schematische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens, und
- Figur 4 eine zweite schematische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens.

25

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1, die insbesondere als Zweistoffmotor ausgebildet ist, welcher eingerichtet ist zum Betrieb mit einem Brenngas und einem Zündöl. Die Brennkraftmaschine 1 weist wenigstens einen Brennraum 3 sowie ein erstes Einbringungsmittel 5 zum Einbringen einer ersten bestimmten

30 Menge an einem ersten, gasförmigen Brennstoff in den Brennraum 3 in einer ersten Betriebsart und ein zweites Einbringungsmittel 7 zum Einbringen einer zweiten bestimmten Menge an einem zweiten, flüssigen Brennstoff in den Brennraum 3 zu einem bestimmten Einspritzzeitpunkt auf. Das erste Einbringungsmittel 5 mündet hier in ein Saugrohr 9 der Brennkraftmaschine 1. Dabei kann das erste Einbringungsmittel 5 zur Einzelpunkteindüsung

oder auch zur Mehrpunkteindüsung vorgesehen und angeordnet sein. Durch das Saugrohr 9 ist dem Brennraum 3 – wie schematisch durch einen Pfeil dargestellt – bevorzugt ein Gemisch aus vorzugsweise verdichteter Ladeluft und dem ersten, gasförmigen Brennstoff zuführbar. Das zweite Einbringungsmittel 7 ist als Injektor zur Direkteinspritzung des zweiten, flüssigen Brennstoffs in den Brennraum 3 ausgebildet. Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 werden die beiden Brennstoffe in dem Brennraum 3 entflammt, wobei in an sich bekannter Weise ein in dem Brennraum 3 beweglich angeordneter Kolben 11 in einem Arbeitstakt von einem oberen Totpunkt in Richtung eines unteren Totpunkts gedrängt wird, und wobei Abgas aus der Verbrennung der Brennstoffe in einem darauffolgenden Ausschiebetakt über ein Abgasrohr 13 aus dem Brennraum 3 abgeführt wird. Die Darstellung der Brennkraftmaschine 1 ist wie bereits angesprochen äußerst schematisch, wobei zahlreiche Elemente nicht dargestellt sind, beispielsweise wenigstens ein Einlassventil und wenigstens ein Auslassventil, welche dem Brennraum 3 bevorzugt zugeordnet sind. Ebenso sind die ersten und zweiten Einbringungsmittel 5, 7 bevorzugt mit jeweiligen Brennstoffreservoirs für den ersten Brennstoff und den zweiten Brennstoff in Fluidverbindung, was hier ebenfalls nicht dargestellt ist.

Die Brennkraftmaschine 1 weist außerdem wenigstens ein Erfassungsmittel 15 zur Erfassung eines Klopfsignals für den Brennraum 3 auf. Das Erfassungsmittel 15 kann insbesondere als Körperschallsensor oder als Zylinderdrucksensor, oder auch in anderer geeigneter Weise ausgebildet sein. Es ist vorzugsweise mit einem Auswertemittel 17 wirkverbunden, welches eingerichtet ist zur Auswertung des Klopfsignals, insbesondere zu dessen Filterung, wobei – insbesondere durch Filtern – aus dem Klopfsignal eine Klopfintensität ermittelbar ist. Weiterhin weist die Brennkraftmaschine 1 eine Steuereinrichtung 19 auf, welche ihrerseits das Auswertemittel 17 aufweist oder mit dem Auswertemittel 17 wirkverbunden ist, wobei die Steuereinrichtung 19 weiterhin bevorzugt mit dem ersten Einbringungsmittel 5 und dem zweiten Einbringungsmittel 7 wirkverbunden und eingerichtet ist, um in der ersten Betriebsart den bestimmten Einspritzzeitpunkt innerhalb eines ersten Verschiebungsbereichs nach spät zu verschieben, wenn die ermittelte Klopfintensität einen ersten, kleineren Schwellenwert überschreitet, wobei sie weiter eingerichtet ist, um den bestimmten Einspritzzeitpunkt innerhalb eines zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich erweiterten Verschiebungsbereichs nach spät zu verschieben, wenn die Klopfintensität einen zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet.

Die Brennkraftmaschine 1 weist vorzugsweise eine Mehrzahl von Brennräumen 3 auf, wobei das wenigstens eine Erfassungsmittel 15 eingerichtet ist, um das Klopfsignal brennraumindividuell zu erfassen, wobei die Steuereinrichtung 19 eingerichtet ist, um den bestimmten Einspritzzeitpunkt brennraumindividuell zu verschieben.

5

Die Steuereinrichtung 19 ist bevorzugt weiter eingerichtet, um die erste bestimmte Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs zu reduzieren, wenn der bestimmte Einspritzzeitpunkt einen ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert überschreitet und/oder wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. Vorzugsweise wird dabei die zweite bestimmte Menge des zweiten, flüssigen Brennstoffs derart erhöht, dass eine Leistung und/oder ein Drehmoment der Brennkraftmaschine 1 konstant gehalten wird/werden.

10

In einer zweiten Betriebsart wird vorzugsweise das Einbringen der ersten Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs unterlassen, wenn die Klopfintensität einen dritten Schwellenwert überschreitet. Der dritte Schwellenwert ist dabei größer als der zweite Schwellenwert.

15

Wird die erste bestimmte Menge des ersten Brennstoffs reduziert, erfolgt dies vorzugsweise abhängig von dem momentan gültigen bestimmten Einspritzzeitpunkt, besonders bevorzugt abhängig von einer Differenz zwischen dem momentan gültigen bestimmten Einspritzzeitpunkt und dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert.

20

Der bestimmte Einspritzzeitpunkt und/oder ein spätester zulässiger Einspritzzeitpunkt für den zweiten Verschiebungsbereich wird/werden bevorzugt nach früh verschoben, wenn die Klopfintensität kleiner ist als der zweite, größere Schwellenwert, nachdem sie zuvor den zweiten, größeren Schwellenwert überschritten hat, insbesondere wenn der bestimmte Einspritzzeitpunkt einen zweiten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert, der gleich dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert oder von diesem verschieden definiert sein kann, überschreitet, und zugleich die Klopfintensität kleiner ist als der zweite, größere Schwellenwert.

25

30

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Verschiebungsbereiche. Ein Arbeitszyklus des Brennraums 3 ist dabei als Vollkreis gedacht, von dem hier nur ein Segment dargestellt ist. Dabei ist ein oberer Totpunkt OT ausgezeichnet, welcher einen Kompressionstakt – entgegen dem Uhrzeigersinn vor dem oberen Totpunkt liegend – von einem Arbeitstakt – im

Uhrzeigersinn hinter dem oberen Totpunkt liegend – trennt. Die hier dargestellten Winkelabstände zwischen den noch zu erläuternden Ereignissen sind stark übertrieben dargestellt, um die Verständlichkeit des Diagramms zu erhöhen. Durch Doppelpfeile dargestellt sind hier zum einen der erste Verschiebungsbereich VB1 und zum anderen der zweite, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich VB1 erweiterte Verschiebungsbereich VB2, wobei diese miteinander überlappen und insbesondere einen gemeinsamen frühesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP1 aufweisen. Der erste Verschiebungsbereich VB1 ist nach spät begrenzt durch einen ersten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.1. Der zweite Verschiebungsbereich VB2 ist nach spät begrenzt durch einen zweiten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.2, wobei der zweite späteste zulässige Einspritzzeitpunkt EZP2.2 später, das heißt näher an dem oberen Totpunkt OT angeordnet ist, als der erste späteste zulässige Einspritzzeitpunkt EZP2.1. Der erste Verschiebungsbereich VB1 entspricht bevorzugt einem Soll-Bereich mit Blick auf günstige oder gesetzlich zulässige Emissionen der Brennkraftmaschine 1, wobei insbesondere in dem über den ersten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.1 hinausgehenden Bereich des zweiten Verschiebungsbereichs VB2 verschlechterte Emissionen der Brennkraftmaschine 1 auftreten können. Daher wird dieser Bereich nur betreten, wenn dies nötig ist, um die Brennkraftmaschine 1 aufgrund entsprechend starker klopfender Verbrennung vor Beschädigungen zu schützen.

Fig. 3 zeigt eine erste schematische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens zum Betreiben der Brennkraftmaschine 1. Dabei ist ein Zustand Z1 dargestellt, in welchem der erste Verschiebungsbereich VB1 gültig ist. Wird eine Klopfintensität erkannt, die größer ist als der erste, kleinere Stellenwert, jedoch kleiner, als der zweite, größere Schwellenwert, wird der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb des ersten Verschiebungsbereichs VB1 nach spät verschoben. Durch einen ersten Pfeil P1 ist dargestellt, dass das Verfahren in einen zweiten Zustand Z2 übergehen kann, in welchem der zweite Verschiebungsbereich VB2 gültig ist, wenn in einem beliebigen Brennraum 3 der Brennkraftmaschine 1 die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. In diesem Fall wird der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb des zweiten Verschiebungsbereichs VB2 nach spät verstellt, kann also insbesondere bis zu dem zweiten, spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.2 verschoben werden. Insbesondere dann, wenn sich der bestimmte Einspritzzeitpunkt in dem Bereich zwischen dem ersten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.1 und dem zweiten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.2 befindet, wird vorzugsweise die erste bestimmte Menge an erstem, gasförmigem Brennstoff reduziert, insbesondere abhängig von dem momentan gültigen

bestimmten Einspritzzeitpunkt oder abhängig von einer Differenz zwischen dem momentan gültigen bestimmten Einspritzzeitpunkt und dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert, der gleich dem ersten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.1 sein kann. In diesem Fall kann vorzugsweise die zweite bestimmte Menge des zweiten, flüssigen Brennstoffs derart erhöht, dass eine Leistung und/oder ein Drehmoment der Brennkraftmaschine konstant gehalten wird/werden.

Durch einen zweiten Pfeil P2 ist dargestellt, dass das Verfahren in einen dritten Zustand Z2-1 wechseln kann, wenn in dem zweiten Zustand Z2 die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert nicht mehr überschreitet. In dem dritten Zustand Z2-1 wird dann der bestimmte Einspritzzeitpunkt und/oder der zweite späteste zulässige Einspritzzeitpunkt EZP2.1 für den zweiten Verschiebungsbereich VB2 schrittweise zurückgenommen, sodass der Zustand der Brennkraftmaschine 1 langsam in Richtung des ersten Verschiebungsbereichs VB1 verändert wird. Dabei ist durch einen dritten Pfeil P3 dargestellt, dass dies – sofern nicht zwischenzeitlich der zweite, größere Schwellenwert der Klopfintensität wieder überschritten wird – dazu führt, dass schließlich der erste Zustand Z1 wieder erreicht wird, in welchem der erste Verschiebungsbereich VB1 gültig ist. Durch einen vierten Pfeil P4 ist angedeutet, dass das Verfahren ausgehend von dem dritten Zustand Z2-1 wieder in den zweiten Zustand Z2 wechseln kann, wenn in einem beliebigen Brennraum der Brennkraftmaschine 1 die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. In diesem Fall gilt dann wieder der zweite Verschiebungsbereich VB2 mit dem ursprünglichen zweiten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.2.

Fig. 4 zeigt eine zweite schematische Darstellung des Verfahrens. Dabei wird in einem ersten Schritt S1 – vorzugsweise brennraumindividuell – das Klopfsignal erfasst, welches in einem zweiten Schritt S2 gefiltert wird, wobei eine Klopfintensität ermittelt wird. In einem dritten Schritt S3 wird geprüft, ob die Klopfintensität den dritten Schwellenwert überschreitet, der größer ist als der zweite, größere Schwellenwert. Ist dies der Fall, wird in einem vierten Schritt S4 in die zweite Betriebsart gewechselt, und das Einbringen des ersten, gasförmigen Brennstoffs wird unterlassen, sodass die Brennkraftmaschine 1 in einem reinen Dieselmotorbetrieb betrieben wird.

Überschreitet dagegen die Klopfintensität den dritten Schwellenwert nicht, wird das Verfahren in einem fünften Schritt S5 fortgesetzt, in dem geprüft wird, ob die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet. Ist dies der Fall, wird in einem sechsten Schritt S6 der

zweite Verschiebungsbereich VB2 freigeschaltet, und das Verfahren schreitet fort zu einem siebten Schritt S7. Überschreitet dagegen die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert nicht, wird in einem achten Schritt S8 geprüft, ob der momentan gültige bestimmte Einspritzzeitpunkt den zweiten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert
5 überschritten hat, der beispielsweise gleich dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert und insbesondere gleich dem ersten spätesten zulässigen Einspritzzeitpunkt EZP2.1 sein kann. Ist dies der Fall, hat also zugleich der bestimmte Einspritzzeitpunkt den zweiten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert überschritten und ist die Klopfintensität kleiner als der zweite, größere Schwellenwert, wird in einem neunten Schritt S9 der bestimmte
10 Einspritzzeitpunkt und/oder ein späterster zulässiger Einspritzzeitpunkt für den zweiten Verschiebungsbereich VB2 nach früh verschoben. Das Verfahren wird anschließend in dem siebten Schritt S7 fortgesetzt.

Wird dagegen in dem achten Schritt S8 festgestellt, dass der bestimmte Einspritzzeitpunkt den
15 zweiten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert nicht überschritten hat, wird das Verfahren gleich ausgehend von dem achten Schritt S8 in dem siebten Schritt S7 fortgesetzt.

In dem siebten Schritt S7 wird geprüft, ob die Klopfintensität den ersten, kleineren Schwellenwert überschreitet. Ist dies der Fall, wird in einem zehnten Schritt S10 der bestimmte
20 Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben, je nach gültigem Verschiebungsbereich innerhalb des ersten Verschiebungsbereichs VB1 oder innerhalb des zweiten Verschiebungsbereichs VB2. Diese Verschiebung erfolgt bevorzugt brennraumindividuell.

Anschließend wird in einem elften Schritt S11 geprüft, ob der momentan gültige bestimmte
25 Einspritzzeitpunkt den ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert überschreitet. Ist dies der Fall, wird in einem zwölften Schritt S12 die erste bestimmte Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs reduziert, wobei vorzugsweise zugleich die zweite bestimmte Menge des zweiten, flüssigen Brennstoffs derart erhöht wird, dass eine Leistung und/oder ein Drehmoment der Brennkraftmaschine 1 – insbesondere bezogen auf einen bestimmten,
30 momentanen Lastpunkt – konstant gehalten wird/werden. Anschließend endet das Verfahren in einem dreizehnten Schritt S13.

Wird in dem elften Schritt S11 festgestellt, dass der momentan gültige bestimmte Einspritzzeitpunkt den ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert nicht überschreitet,

endet das Verfahren direkt in dem dreizehnten Schritt S13. Ebenso endet das Verfahren bevorzugt direkt in dem dreizehnten Schritt S13, wenn in dem siebten Schritt S7 festgestellt wird, dass die Klopfintensität den ersten, kleineren Schwellenwert nicht überschreitet.

- 5 Das Verfahren wird bevorzugt iterativ durchgeführt, startet also wiederum in dem ersten Schritt S1 nach seiner Beendigung in dem dreizehnten Schritt S13.

Insgesamt zeigt sich, dass mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren und der Brennkraftmaschine 1 eine verbesserte Regelung in Hinblick auf eine klopfende Verbrennung der

- 10 Brennkraftmaschine 1 möglich ist, wobei diese optimal betrieben und eine Vielfalt von Nebenbedingungen beherrscht werden kann.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), mit folgenden Schritten:
 - 5 – Einbringen einer ersten bestimmten Menge eines ersten gasförmigen Brennstoffs in einen Brennraum (3) der Brennkraftmaschine (1) in einer ersten Betriebsart;
 - Einbringen einer zweiten bestimmten Menge eines zweiten flüssigen Brennstoffs in den Brennraum (3) zu einem bestimmten Einspritzzeitpunkt;
 - Entflammen der Brennstoffe in dem Brennraum (3), und
 - 10 – Erfassen eines Klopfsignals für den Brennraum (3) zur Ermittlung einer Klopfintensität, wobei in der ersten Betriebsart der Brennkraftmaschine (1)
 - a) der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb eines ersten Verschiebungsbereichs (VB1) nach spät verschoben wird, wenn die ermittelte Klopfintensität einen ersten kleineren Schwellenwert überschreitet, wobei
 - 15 b) der bestimmte Einspritzzeitpunkt innerhalb eines zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich (VB1) erweiterten Verschiebungsbereichs (VB2) nach spät verschoben wird, wenn die ermittelte Klopfintensität einen zweiten größeren Schwellenwert überschreitet.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste bestimmte Menge an erstem, gasförmigen Brennstoff reduziert wird, wenn der bestimmte Einspritzzeitpunkt einen ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert überschreitet oder wenn die Klopfintensität den zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet, wobei bevorzugt die zweite bestimmte Menge an zweitem, flüssigen Brennstoff derart erhöht wird, dass eine
- 25 Leistung und/oder ein Drehmoment der Brennkraftmaschine konstant gehalten wird/werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste bestimmte Menge des ersten gasförmigen Brennstoffs abhängig von dem bestimmten Einspritzzeitpunkt reduziert wird, vorzugsweise abhängig von einer Differenz zwischen dem
- 30 bestimmten Einspritzzeitpunkt und dem ersten bestimmten Einspritzzeitpunkt-Schwellenwert.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einbringen der ersten bestimmten Menge des ersten, gasförmigen Brennstoffs in einer zweiten Betriebsart der Brennkraftmaschine (1) unterlassen wird, wenn die ermittelte Klopfintensität einen dritten Schwellenwert überschreitet, wobei der dritte Schwellenwert größer ist als der zweite Schwellenwert.
- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der bestimmte Einspritzzeitpunkt und/oder ein spätester zulässiger Einspritzzeitpunkt für den zweiten Verschiebungsbereich (VB2) nach früh verschoben wird/werden, wenn die Klopfintensität kleiner ist als der zweite, größere Schwellenwert, nachdem die Klopfintensität zuvor den zweiten, größeren Schwellenwert überschritten hat.
- 10
6. Brennkraftmaschine (1), mit
- wenigstens einem Brennraum (3);
 - 15 – wenigstens einem ersten Einbringungsmittel (5), eingerichtet zum Einbringen einer ersten bestimmten Menge eines ersten, gasförmigen Brennstoffs in den Brennraum (3) in einer ersten Betriebsart der Brennkraftmaschine (1);
 - wenigstens einem zweiten Einbringungsmittel (7), eingerichtet zum Einbringen einer zweiten bestimmten Menge eines zweiten, flüssigen Brennstoffs in den Brennraum (3) zu einem bestimmten Einspritzzeitpunkt;
 - 20 – wenigstens einem Erfassungsmittel, eingerichtet zum Erfassen eines Klopfsignals für den Brennraum (3);
 - einem Auswertungsmittel (17), eingerichtet zur Ermittlung einer Klopfintensität; und mit
 - einer Steuereinrichtung (19), die eingerichtet ist, um in der ersten Betriebsart der Brennkraftmaschine (1)
 - 25
 - a) den bestimmten Einspritzzeitpunkt innerhalb eines ersten Verschiebungsbereichs (VB1) nach spät zu verschieben, wenn die ermittelte Klopfintensität einen ersten, kleineren Schwellenwert überschreitet, und
 - b) den bestimmten Einspritzzeitpunkt innerhalb eines zweiten, im Vergleich zu dem ersten Verschiebungsbereich (VB1) erweiterten Verschiebungsbereichs (VB2) nach spät zu verschieben, wenn die ermittelte Klopfintensität einen zweiten, größeren Schwellenwert überschreitet.
 - 30

7. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 6, **gekennzeichnet durch** eine Mehrzahl von Brennräumen (3), wobei das wenigstens eine Erfassungsmittel (15) eingerichtet ist, um das Klopfsignal brennraumindividuell zu erfassen, wobei die Steuereinrichtung (19) eingerichtet ist, um den bestimmten Einspritzzeitpunkt brennraumindividuell zu verschieben.

5

8. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine (1) als Zweistoffmotor ausgebildet und eingerichtet ist zum Betrieb mit einem Brenngas und einem Zündöl.

1/2

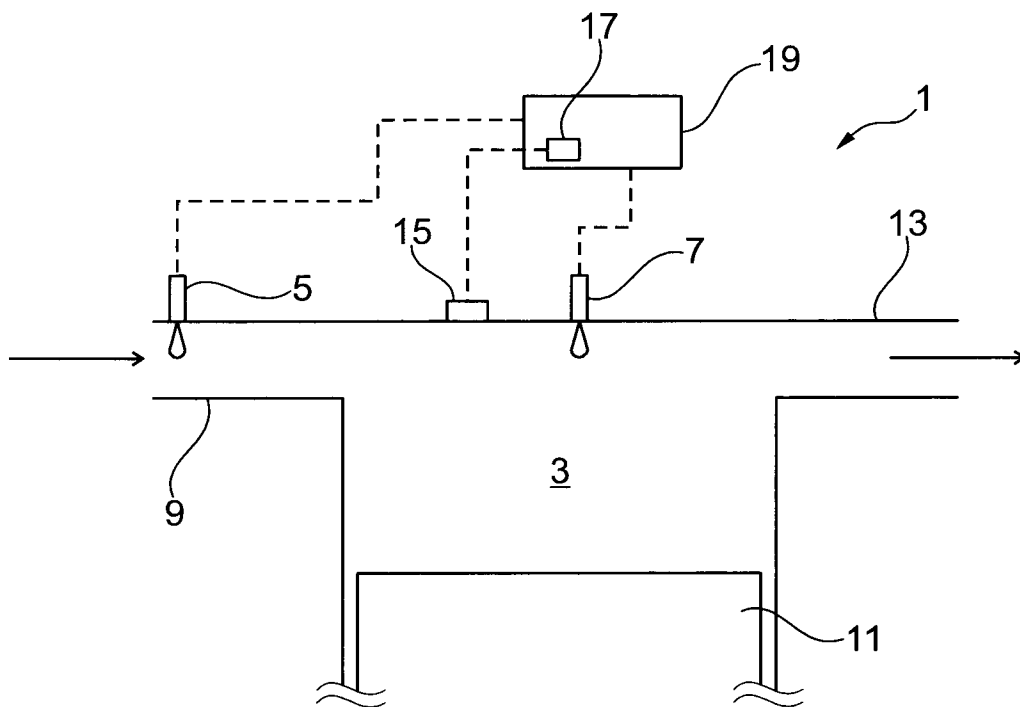


Fig. 1

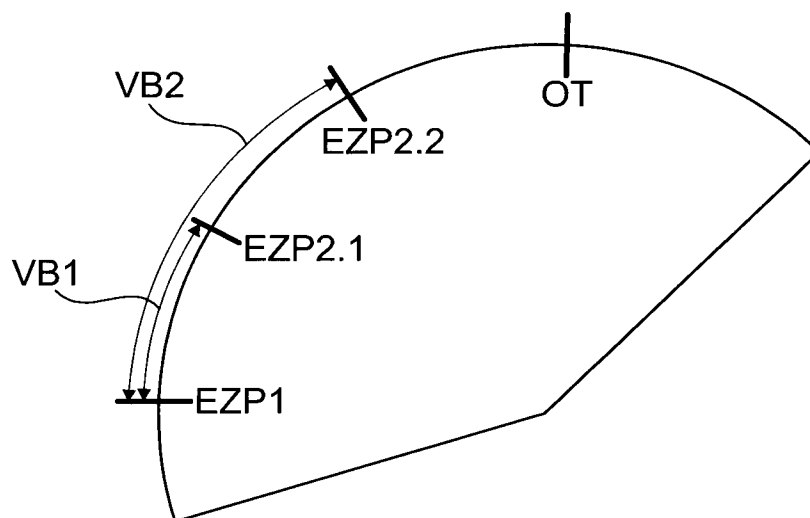


Fig. 2

2/2

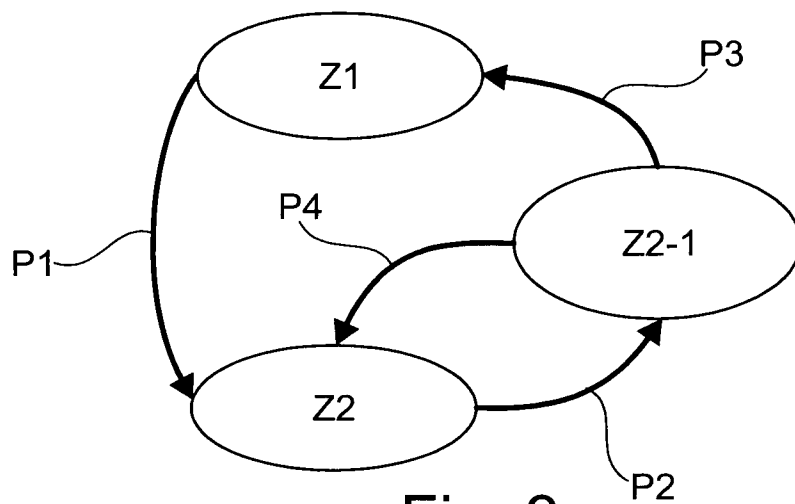


Fig. 3

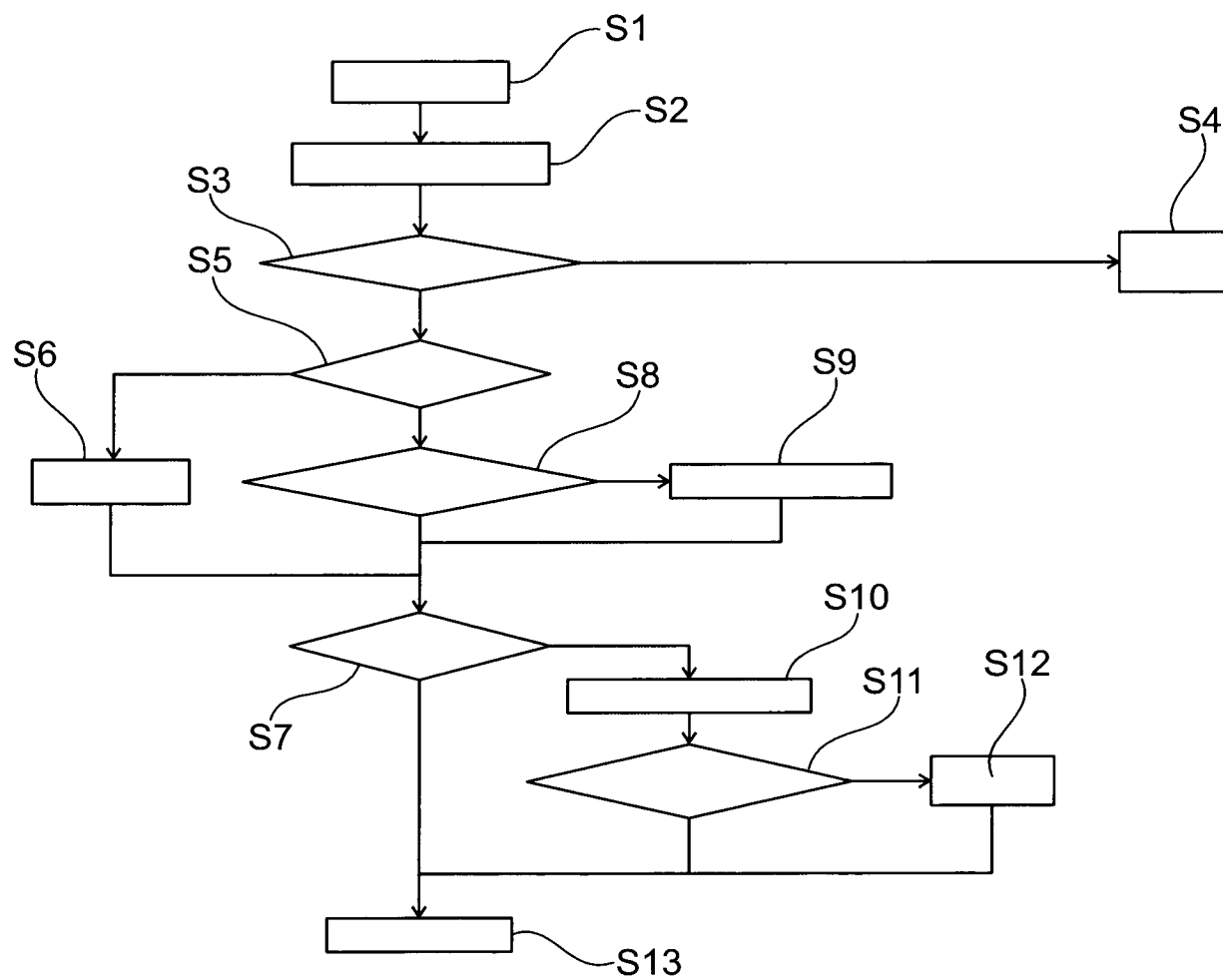


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/001309

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F02D19/10 F02D41/00 F02D41/30 F02D41/34 F02D41/40 F02D35/02 F02P5/152 ADD. 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) F02D 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 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">X</td> <td style="vertical-align: top;">EP 2 907 993 A1 (CATERPILLAR MOTOREN GMBH & CO [DE]) 19 August 2015 (2015-08-19)</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-3,5-8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">Y</td> <td style="vertical-align: top;">paragraphs [0003], [0006], [0027], [0033], [0036] - [0041], [0051]; claim 1; figures 1-3</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">X</td> <td style="vertical-align: top;">----- DE 10 2013 215924 A1 (MTU ONSITE ENERGY GMBH [DE]) 12 February 2015 (2015-02-12) paragraphs [0006], [0011], [0016], [0017], [0018], [0019], [0020], [0025], [0032]; claims 1-4; figure 1</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">Y</td> <td style="vertical-align: top;">----- WO 2012/057691 A1 (AFV ALTERNATIVE FUEL VEHICLE [SE]; MOREN MATS [SE]; JOHANSSON ANDERS []) 3 May 2012 (2012-05-03)</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td style="vertical-align: top;">page 8, lines 4-8; claim 1; figures 2,3 page 6, lines 3-26 -----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1,6</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	EP 2 907 993 A1 (CATERPILLAR MOTOREN GMBH & CO [DE]) 19 August 2015 (2015-08-19)	1-3,5-8	Y	paragraphs [0003], [0006], [0027], [0033], [0036] - [0041], [0051]; claim 1; figures 1-3	4	X	----- DE 10 2013 215924 A1 (MTU ONSITE ENERGY GMBH [DE]) 12 February 2015 (2015-02-12) paragraphs [0006], [0011], [0016], [0017], [0018], [0019], [0020], [0025], [0032]; claims 1-4; figure 1	1-8	Y	----- WO 2012/057691 A1 (AFV ALTERNATIVE FUEL VEHICLE [SE]; MOREN MATS [SE]; JOHANSSON ANDERS []) 3 May 2012 (2012-05-03)	4	A	page 8, lines 4-8; claim 1; figures 2,3 page 6, lines 3-26 -----	1,6
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
X	EP 2 907 993 A1 (CATERPILLAR MOTOREN GMBH & CO [DE]) 19 August 2015 (2015-08-19)	1-3,5-8																		
Y	paragraphs [0003], [0006], [0027], [0033], [0036] - [0041], [0051]; claim 1; figures 1-3	4																		
X	----- DE 10 2013 215924 A1 (MTU ONSITE ENERGY GMBH [DE]) 12 February 2015 (2015-02-12) paragraphs [0006], [0011], [0016], [0017], [0018], [0019], [0020], [0025], [0032]; claims 1-4; figure 1	1-8																		
Y	----- WO 2012/057691 A1 (AFV ALTERNATIVE FUEL VEHICLE [SE]; MOREN MATS [SE]; JOHANSSON ANDERS []) 3 May 2012 (2012-05-03)	4																		
A	page 8, lines 4-8; claim 1; figures 2,3 page 6, lines 3-26 -----	1,6																		
☐ 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 24 January 2018		Date of mailing of the international search report 31/01/2018																		
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 Boye, Michael																		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/001309

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2907993	A1	19-08-2015	CN 104847519 A 19-08-2015
		EP 2907993 A1	19-08-2015
		US 2015226144 A1	13-08-2015

DE 102013215924	A1	12-02-2015	NONE

WO 2012057691	A1	03-05-2012	AU 2011321007 A1 30-05-2013
		CA 2816214 A1	03-05-2012
		CN 103597187 A	19-02-2014
		EP 2633170 A1	04-09-2013
		US 2013255628 A1	03-10-2013
		WO 2012057691 A1	03-05-2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	F02D19/10 F02D35/02	F02D41/00 F02P5/152
	F02D41/30	F02D41/34 F02D41/40
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02D 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	EP 2 907 993 A1 (CATERPILLAR MOTOREN GMBH & CO [DE]) 19. August 2015 (2015-08-19)	1-3,5-8
Y	Absätze [0003], [0006], [0027], [0033], [0036] - [0041], [0051]; Anspruch 1; Abbildungen 1-3	4
X	DE 10 2013 215924 A1 (MTU ONSITE ENERGY GMBH [DE]) 12. Februar 2015 (2015-02-12)	1-8
	Absätze [0006], [0011], [0016], [0017], [0018], [0019], [0020], [0025], [0032]; Ansprüche 1-4; Abbildung 1	
Y	WO 2012/057691 A1 (AFV ALTERNATIVE FUEL VEHICLE [SE]; MOREN MATS [SE]; JOHANSSON ANDERS []) 3. Mai 2012 (2012-05-03)	4
A	Seite 8, Zeilen 4-8; Anspruch 1; Abbildungen 2,3 Seite 6, Zeilen 3-26	1,6
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. Januar 2018		31/01/2018
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 Boye, Michael

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/001309

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2907993 A1	19-08-2015	CN 104847519 A	19-08-2015
		EP 2907993 A1	19-08-2015
		US 2015226144 A1	13-08-2015

DE 102013215924 A1	12-02-2015	KEINE	

WO 2012057691 A1	03-05-2012	AU 2011321007 A1	30-05-2013
		CA 2816214 A1	03-05-2012
		CN 103597187 A	19-02-2014
		EP 2633170 A1	04-09-2013
		US 2013255628 A1	03-10-2013
		WO 2012057691 A1	03-05-2012
