

(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
12. April 2012 (12.04.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/045452 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/004977
- (22) Internationales Anmeldedatum:
6. Oktober 2011 (06.10.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 047 798.2
7. Oktober 2010 (07.10.2010) DE
10 2011 015 628.3 31. März 2011 (31.03.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DAIMLER AG** [DE/DE]; Mercedesstrasse 137, 70327 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DIELER, Torsten** [DE/DE]; In der Schranne 35, 70569 Stuttgart (DE). **HAASE, Dirk** [DE/DE]; Seestrasse 16, 71397 Leutenbach (DE). **HERWEG, Rüdiger** [DE/DE]; Eichendorffstrasse 56, 73734 Esslingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: OPERATIONAL METHOD WITH WATER INJECTION

(54) Bezeichnung : BETRIEBSVERFAHREN MIT WASSEREINSPRITZUNG

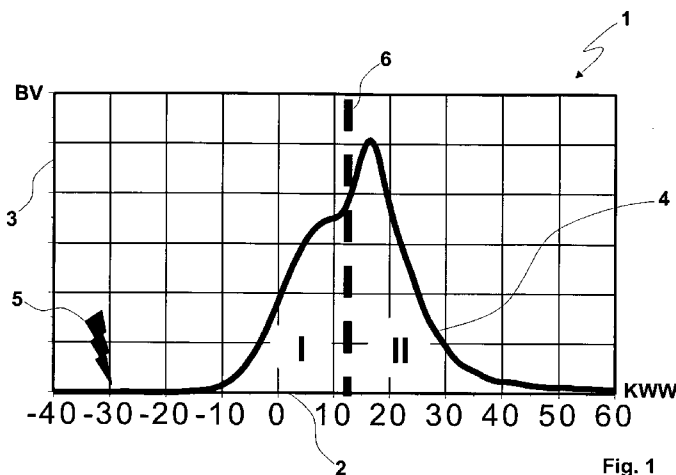


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an operational method for, in particular, a direct-injecting internal combustion engine having a plurality of combustion chambers, in particular for a direct-injection spark-ignition engine of a motor vehicle, with at least partial low NOx combustion (NAV) and with a plurality of operational sub-methods. A low NOx operation sub-method is used, in which at least water is injected into the respective combustion chamber. In the event of the low NOx sub method being ignited by means of an ignition device at an ignition time point (ZZP), a predominantly homogeneous lean fuel/exhaust gas/air mixture having a combustion air ratio of $\lambda \geq 1$ is spark ignited in the respective combustion chamber, and the flame front combustion (FFV) started by spark ignition converts into a charge compression combustion (RZV). The low NOx operation sub-method can also be carried out, also at high engine loads, in an operationally stable due to the injection of water.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/045452 A2



Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für eine, insbesondere direkteinspritzende, mehrere Brennräume aufweisende Brennkraftmaschine, insbesondere für einen direkteinspritzenden Ottomotor eines Kraftfahrzeugs, mit zumindest teilweiser NO_x-armer Verbrennung (NAV) und mit mehreren Teilbetriebsverfahren, wobei ein NAV- Teilbetriebsverfahren eingesetzt wird, bei dem zumindest mittels einer Einspritzung Wasser in den jeweiligen Brennraum eingespritzt wird, wobei bei dem NAV- Teilbetriebsverfahren zu einem Zündzeitpunkt (ZZP) ein weitgehend homogenes, mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch mit einem Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda \geq 1$ in dem jeweiligen Brennraum mittels einer Zündvorrichtung fremdgezündet wird und die durch die Fremdzündung gestartete Flammenfrontverbrennung (FFV) in eine Raumzündverbrennung (RZV) übergeht. Durch die Einspritzung von Wasser kann das NAV-Teilbetriebsverfahren auch bei höheren Motorlasten betriebsstabil durchgeführt werden.

Betriebsverfahren mit Wassereinspritzung

Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Betriebsverfahren für eine Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Hubkolbenmotor, z.B. für einen Ottomotor mit Direkteinspritzung in einem Kraftfahrzeug, mit NO_x-armer Verbrennung (NAV).

Um CO₂-Emissionswerte zu verbessern, kann man im Kraftfahrzeugbau neben anderen Maßnahmen Downsizing betreiben. Dabei versteht man unter Downsizing, Motoren mit kleinerem Hubraum so zu konstruieren, einzusetzen und zu betreiben, dass sie vergleichbare oder verbesserte Werte bezüglich des Fahrverhaltens erreichen, im Gegensatz zu ihren vorangegangenen, hubraumgroße Motoren. Durch Downsizing kann dabei der Kraftstoffverbrauch gesenkt und somit die CO₂-Emissionswerte reduziert werden. Zudem haben hubraumkleinere Motoren eine geringere absolute Reibleistung.

Hubraumkleinere Motoren zeichnen sich jedoch durch ein geringeres Drehmoment, insbesondere bei niedrigen Drehzahlen, aus und führen somit zu einem schlechteren Dynamikverhalten des Fahrzeuges, und damit beispielsweise zu einer schlechteren Elastizität. Durch dementsprechende Betriebsverfahren können Nachteile, die das Downsizing von Ottomotoren mit sich bringt, zumindest weitgehend kompensiert werden.

Aus der EP 1 543 228 B1 ist beispielsweise ein Betriebsverfahren bekannt, bei dem ein mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in dem jeweiligen Brennraum der Brennkraftmaschine zur Selbstzündung veranlasst wird. Damit die Kompressionszündung zu dem gewünschten Zeitpunkt einsetzt, wird in das magere, homogene Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch bei dementsprechender Kompression kurz vor einer Fremdzündung Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt, so dass sich eine fettere Gemischwolke bildet. Eingebettet in das magere, homogene Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch dient diese konzent-

BESTÄTIGUNGSKOPIE

rierte Gemischwolke als Zündinitiator für die kompressionsgezündete Verbrennung im Brennraum.

In der DE102006041467A1 ist ein Betriebsverfahren für einen Ottomotor mit homogener, kompressionsgezündeter Verbrennung beschrieben. Wird dabei im jeweiligen Brennraum der Brennkraftmaschine das homogene Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch, das mager ausgebildet ist, komprimiert, so stellt sich im Gegensatz zum fremdgezündeten, ottomotorischen Betriebsverfahren und ausgehend von der Zündstelle in dem Brennraum keine Flammenfrontverbrennung ein, sondern das homogene Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch zündet in dem jeweiligen Brennraum bei einer dementsprechenden Kompressionsrate an mehreren Stellen nahezu gleichzeitig durch, sodass sich in diesem Fall eine Raumzündverbrennung einstellt. Die Raumzündverbrennung (RZV) hat dabei im Vergleich zu dem ottomotorischen, fremdgezündeten Betriebsverfahren eine deutlich geringere Stickoxidemission bei gleichzeitigem hohem Wirkungsgrad hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches. Allerdings kann dieses emissionsarme, effiziente RZV-Betriebsverfahren mit Raumzündverbrennung nur in einem unteren und ggf. in einem mittleren Motorlast-/Motordrehzahlbereich eingesetzt werden, da mit sinkender Ladungsverdünnung die Klopfneigung ansteigt und somit der Einsatz des RZV-Betriebsverfahrens zu höheren Motorlastbereichen hin beschränkt ist.

In der PE102007047026A1 ist ein Verfahren zum Betreiben eines Ottomotors beschrieben. Im Zuge des Betriebsverfahrens wird die Verbrennung im Ottomotor kompressionsgezündet gestartet und nach dem Einsetzen einer Selbstzündung des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches in den Brennraum Wasser eingespritzt.

Aus der US7574983B2 ist ein Betriebsverfahren für eine Brennkraftmaschine bekannt, mit dem die Brennkraftmaschine im homogenen kompressionsgezündeten (HCCI) und/oder im fremdgezündeten (SI) Betrieb gefahren werden kann. Durch Injektion von Wasser in den Brennraum während des Expansionstaktes kann zumindest teilweise die Reaktionswärme bei der Verbrennung des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches reduziert werden und somit unbeabsichtigte Verbrennungszustände vermieden werden.

Zwar kann mittels Wassereinspritzung der Kennfeldbereich des jeweiligen Teilbetriebsverfahrens erweitert werden, jedoch ist trotz Wassereinspritzung der Einsatzbereich eines reinen RZV-Teilbetriebsverfahrens limitiert.

Somit beschäftigt sich vorliegende Erfindung mit dem Problem für ein Betriebsverfahren für eine, insbesondere direkt eingespritzte, mehrere Brennräume aufweisende Brennkraftmaschine eine verbesserte oder zumindest eine alternative Ausführungsform anzugeben, die sich insbesondere durch einen größeren Motorlast- und/oder Motordrehzahlbereich auszeichnet, in dem eine Raumzündverbrennung praktiziert werden kann.

Erfindungsgemäß wird dieses Problem durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die Erfindung beruht somit auf dem allgemeinen Gedanken, bei einem Betriebsverfahren für eine, insbesondere direkt eingespritzte, mehrere Brennräume aufweisende Brennkraftmaschine, insbesondere für einen direkt eingespritzten Ottomotor, zum Beispiel eines Kraftfahrzeuges, mit zumindest teilweiser NO_x -armer Verbrennung (NAV) und mit mehreren Teilbetriebsverfahren, das NAV-Teilbetriebsverfahren einzusetzen, bei dem zumindest mittels einer Einspritzung Wasser in den jeweiligen Brennraum eingespritzt wird, wobei bei dem NAV-Teilbetriebsverfahrens zu einem Zündzeitpunkt (ZZP) ein weitgehend homogenes, mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch mit einem Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda \geq 1$ in dem jeweiligen Brennraum mittels einer Zündvorrichtung fremdgezündet wird und die durch die Fremdzündung gestartete Flammenfrontverbrennung (FFV) in eine Raumzündverbrennung (RZV) übergeht.

Aufgrund der Einspritzung von Wasser in den Brennraum kann vorteilhaft eine Reduzierung der Druckanstiege und eine Verminderung der Klopfneigung erreicht werden. Zudem ist mittels Wassereinspritzung das NAV-Teilbetriebsverfahren auch im Vergleich zu dem NAV-Teilbetriebsverfahren ohne Wassereinspritzung zu höheren Motorlasten hin durchführbar und aufgrund der zumindest teilweise stattfindenden Raumzündverbrennung (RZV) ist eine Reduzierung der NO_x -Emissionen möglich.

Bevorzugt wird eine solche Einspritzung von Wasser vor einem Zündzeitpunkt (ZZP) eines in der jeweiligen Brennkammer angeordneten Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches vorgenommen. Dabei kann eine derartige Einspritzung von Wasser während eines Kompressionstaktes, während eines Expansionstaktes und/oder während eines Ansaugtaktes vorgenommen werden. Prinzipiell ist eine Wassereinspritzung möglich vom Zeitpunkt des

Schließens des Auslassventils bis zum Zündzeitpunkt (ZZP). Die Wassermenge kann dabei mittels Einfach- oder Mehrfacheinspritzung in den jeweiligen Brennraum eingebracht werden. Dabei bewirkt eine Wassereinspritzung während des Ansaugtaktes eine gleichmäßige Absenkung der Gemischtemperatur. Eine späte Wassereinspritzung während des Kompressionstaktes dagegen ermöglicht die Ausbildung einer thermischen Schichtung und eine gezielte Ausnutzung derselben. Die Einspritzung des Wassers während des Ansaug- oder Kompressionstaktes ist betriebspunktabhängig, Last- und/oder Drehzahl, zu wählen.

Wird eine Ladungswechselstrategie mit Restgasrückhaltung betrieben, so ist es ebenfalls denkbar, dass zumindest eine Einspritzung von Wasser während der Zwischenkompression stattfindet. Dabei tritt eine derartige Zwischenkompression dann auf, wenn das Auslass- und das Einlassventil vor dem Ausstoßen der gesamten Abgasmenge geschlossen sind, sodass ein Teil des Abgases als Restgas in dem Brennraum rückbehalten wird und dieses bei fortschreitendem Einfahren des Kolbens in den Brennraum zwischenkomprimiert wird.

Es kann eine Einspritzung von Wasser unmittelbar vor einem Start der Raumzündverbrennung (RZV) vorgenommen werden.

Bevorzugt wird eine Einspritzung von Wasser in Abhängigkeit des in dem jeweiligen Brennraum herrschenden Druckes vorgenommen. Es ist aber auch eine Einspritzung von Wasser in Abhängigkeit der in dem jeweiligen Brennraum herrschenden Temperatur denkbar und vorteilhaft.

Somit kann mit der Einspritzung von Wasser in den Brennraum die Temperatur des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches kontrolliert und gesteuert werden, sodass es möglich wird, dass NAV-Teilbetriebsverfahren auch in Motorlastbereichen einzusetzen, die sich ohne Wassereinspritzung aufgrund der erhöhten Klopfneigung und der verringerten Betriebsstabilität nicht eignen würden.

Eine direkteinspritzende, mehrere Brennräume aufweisende Brennkraftmaschine kann nach verschiedenen Betriebsverfahren bzw. mit verschiedenen Teilbetriebsverfahren betrieben werden. So sind mehrere ottomotorische Teilbetriebsverfahren möglich. Das stöchiometrische, ottomotorische Teilbetriebsverfahren weist ein Verbrennungsluftverhältnis

oder auch Luftzahl $\lambda = 1$ auf und wird durch eine Zündeinrichtung fremdgezündet, wobei sich eine Flammenfrontverbrennung (FFV) einstellt. Das stöchiometrische, ottomotorische Teilbetriebsverfahren kann im gesamten Motorlast- und/oder Motordrehzahlbereich angewendet werden. Bevorzugt wird es bei Anwendung auch anderer Teilbetriebsverfahren im hohen Motorlast- und/oder Motordrehzahlbereich angewendet.

Ein ottomotorisches Teilbetriebsverfahren kann fremdgezündet auch mit Luftüberschuss und somit mit einem Verbrennungsluftverhältnis $\lambda > 1$ durchgeführt werden. Dieses Teilbetriebsverfahren wird üblicherweise auch als DES-Teilbetriebsverfahren (DirektEinspritzungSchicht) bezeichnet, wobei mittels mehrerer Direkteinspritzungen ein geschichtetes, insgesamt mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in der jeweiligen Brennkammer ausgebildet wird. Aufgrund der geschichteten Ausbildung sind in dem jeweiligen Brennraum zumindest idealisiert zwei Teilbereiche mit einem unterschiedlichen Verbrennungsluftverhältnis λ angeordnet. Diese Schichtung wird üblicherweise durch mehrere Einspritzungen erzeugt. Dabei kann zuerst durch eine oder mehrere Einspritzungen ein mageres, homogenes Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in dem jeweiligen Brennraum ausgebildet werden. In diesen mageren, homogenen Bereich wird dann durch eine letzte Einspritzung, die auch als Mehrfach-Einspritzung ausgebildet sein kann, im Bereich der Zündeinrichtung eine Gemischwolke positioniert, die fetter ausgebildet ist, als der magere, homogene Bereich. Dieses Verfahren wird üblicherweise als HOS (HomogenSchicht) bezeichnet. Durch die fettere Gemischwolke im Bereich der Zündeinrichtung kann das insgesamt magere Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in der Brennkammer gezündet werden und durch eine Flammenfrontverbrennung (FFV) umgesetzt werden. Die DES- und HOS Teilbetriebsverfahren werden bevorzugt in einem unteren Motorlast- und/oder Motordrehzahlbereich angewendet.

Die DES-, und HOS Teilbetriebsverfahren können auch kompressionsgezündet werden und werden dann üblicherweise aber nicht mehr als DES-, HOS-Teilbetriebsverfahren bezeichnet.

Ebenfalls in einem unteren Motorlast- und/oder Motordrehzahlbereich kann das RZV-Teilbetriebsverfahren angewendet werden, bei dem ein mageres, homogenes Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in dem jeweiligen Brennraum durch Raumzündverbrennung und somit kompressionsgezündet gestartet wird. Im Gegensatz zu einem ottomotorischen Teilbetriebsverfahren, bei dem durch Fremdzündung eine Flammenfrontverbrennung

(FFV) auftritt, beginnt bei dem RZV-Teilbetriebsverfahren das in der jeweiligen Brennkammer angeordnete Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch nahezu gleichzeitig in mehreren Bereichen der jeweiligen Brennkammer durchzuzünden, sodass eine Raumzündverbrennung auftritt. Das RZV-Teilbetriebsverfahren weist gegenüber den ottomotorischen Teilbetriebsverfahren eine deutlich geringere NO_x -emission auf und zeichnet sich gleichzeitig durch einen geringeren Kraftstoffverbrauch aus.

Das erfindungsgemäße NAV-Teilbetriebsverfahren kann nun als Kombination aus einem fremdgezündeten, ottomotorischen Teilbetriebsverfahren und einem RZV-Teilbetriebsverfahren verstanden werden. Dabei liegt bei dem NAV-Teilbetriebsverfahren ein homogenes, mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch vor, das mittels einer Zündeinrichtung fremdgezündet wird. Nach einer anfänglichen Flammenfrontverbrennung (FFV) geht die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches bei dem NAV-Teilbetriebsverfahren jedoch in eine Raumzündverbrennung (RZV) über. Demzufolge weist auch das NAV-Teilbetriebsverfahren im Vergleich zu den ottomotorischen Teilbetriebsverfahren aufgrund der auftretenden Raumzündverbrennung (RZV) einen verringerten Kraftstoffverbrauch und eine reduzierte NO_x -emission auf.

Im Gegensatz zum RZV-Teilbetriebsverfahren wird bei dem NAV-Teilbetriebsverfahren die Verbrennung durch eine Zündeinrichtung fremdgezündet. Unter Anderem deshalb ist, insbesondere im höheren Motorlast- und/oder Motordrehzahlbereich, die Betriebsstabilität der Gemischzündung und/oder der Verbrennung deutlich verbessert. Somit beginnt das homogene, magere Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in Art einer ottomotorischen Flammenfrontverbrennung (FFV) zu verbrennen, die dann anschließend in eine Raumzündverbrennung (RZV) übergeht. Somit kombiniert das NAV-Teilbetriebsverfahren die Vorteile der Raumzündverbrennung (RZV) und der ottomotorischen, betriebsstabilen Zündung des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches. Dabei kann gesteuert durch die Bereitstellung eines dementsprechend zusammengesetzten Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches im jeweiligen Brennraum, sowie gesteuert durch das Fremdzünden mittels einer Zündeinrichtung zum richtigen Zeitpunkt dieses erfindungsgemäße NAV-Teilbetriebsverfahren durchgeführt werden.

Das NAV-Teilbetriebsverfahren zeichnet sich durch einen geringen Druckgradienten und durch eine Reduzierung der Klopfneigung aus. Demzufolge ist mittels des NAV-Teilbetriebsverfahrens auch eine Raumzündverbrennung (RZV) in einem höheren Motor-

lastbereich durchführbar, in dem das reine RZV-Teilbetriebsverfahren aufgrund des ansteigenden Druckgradienten und wegen irregulärer Verbrennungszustände, insbesondere wegen der erhöhten Klopfneigung, nicht mehr ausreichend betriebsstabil durchgeführt werden kann.

Ein Vergleich der Teilbetriebsverfahren führt zu folgendem Ergebnis:

Teilbetriebsverfahren	Kraftstoffverbrauch	NO _x -Emission	Einsatzbereich	Laufruhe
ottomotorisch $\lambda=1$	+/-	+/-	+++	+/-
DES	+++	--	+	+/-
RZV	++	+++	+	+/-
NAV	++	++	++	++

(- \triangleq Verschlechterung, + \triangleq Verbesserung, ++ \triangleq gute Verbesserung, +++ \triangleq sehr gute Verbesserung)

Demzufolge weisen Teilbetriebsverfahren mit Raumzündverbrennung (RZV) gegenüber stöchiometrischen ottomotorischen Brennverfahren sowohl einen verringerten Kraftstoffverbrauch als auch reduzierte NO_x-Emissionswerte auf. Zudem kann der Einsatzbereich durch das NAV-Teilbetriebsverfahren hinsichtlich der effizienten Raumzündverbrennung erweitert werden. Auch ist die Laufruhe beim NAV Brennverfahren gegenüber dem Teilbetriebsverfahren mit Raumzündung verbessert.

Unter einem mageren Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch ist ein Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch zu verstehen, das ein Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda > 1$ und somit einen Luftüberschuss aufweist, während ein fettes Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch zumindest ein Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda = 1$ aufweist.

Das Verbrennungsluftverhältnis ist eine dimensionslose, physikalische Größe, mit der eine Gemischzusammensetzung eines Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches beschrieben wird. Das Verbrennungsluftverhältnis λ wird dabei als Quotient aus der tatsächlich für eine Verbrennung zur Verfügung stehenden Luftmasse und der mindestens notwendigen stöchiometrischen Luftmasse für eine vollständige Verbrennung des vorhandenen Kraftstoff-

fes berechnet. Ist demnach $\lambda = 1$, so spricht man von einem stöchiometrischen Verbrennungsluftverhältnis bzw. Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch, und im Falle von $\lambda > 1$ von einem mageren Verbrennungsluftverhältnis bzw. Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch. Liegt zudem zumindest $\lambda = 1$ oder $\lambda < 1$ vor, so spricht man auch von einem fetten Verbrennungsluftverhältnis bzw. Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch.

Bevorzugt liegt beim NAV-Teilbetriebsverfahren zum Zündzeitpunkt (ZZP) ein Verbrennungsluftverhältnis λ von 1 bis 2 vor.

Des Weiteren kann die Gemischzusammensetzung des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches durch die Ladungsverdünnung angegeben werden. Unabhängig ob nun ein mageres oder ein fettes oder stöchiometrisches Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch vorliegt, gibt die Ladungsverdünnung an, wie viel Kraftstoff in Relation zu den anderen Komponenten des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches in der jeweiligen Brennkammer positioniert wurde. Dabei ist die Ladungsverdünnung der Quotient aus der Masse an Kraftstoff und der Gesamtmasse an Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch, die in der jeweiligen Brennkammer vorliegt.

Bevorzugt wird bei dem NAV-Teilbetriebsverfahren eine Ladungsverdünnung von 0,03 bis 0,05 eingestellt.

Da der Zündzeitpunkt beim NAV-Teilbetriebsverfahren eine wesentliche Rolle spielt, wird bevorzugt der Zündzeitpunkt bei einem Kurbelwellenwinkel (KWW) von -45 bis -10° KWW angeordnet.

Unter dem Kurbelwellenwinkel versteht man eine in Grad eingeteilte Bewegung des Kolbens in dem jeweiligen Zylinder bzw. Brennraum. Im Falle eines Viertaktzyklus, bei dem ein Ansaugtakt in einen Kompressionstakt und dann in einen Expansionstakt und darauf folgend in einen Ausstoßtakt übergeht, wird üblicherweise der obere Totpunkt des in den jeweiligen Brennraum bzw. Zylinder eingefahrenen Kolbens zwischen dem Kompressionstakt und dem Expansionstakt mit dem Kurbelwellenwinkel von 0° referenziert. Ausgehend von diesem oberen Totpunkt bei 0° KWW nimmt der Kurbelwellenwinkel in Richtung des Expansionstaktes und Ausstoßtaktes zu und in Richtung des Verdichtungstaktes und Ansaugtaktes ab. Der Ansaugtakt ist in dieser Einteilung zwischen -360° KWW und -180° KWW angeordnet, der Kompressionstakt zwischen -180° KWW und 0° KWW, der

Expansionstakt zwischen 0° KWW und 180° KWW und der Ausstoßtakt zwischen 180° KWW und 360° KWW.

Wird von einem weitgehend homogenen, mageren Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch gesprochen, so versteht man darunter ein homogenes, mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch, das im Wesentlichen homogen in dem jeweiligen Brennraum verteilt ist. Im idealen Fall ist dabei eine exakt homogene Ausbildung vorliegend. Im realen Fall können aber auch geringe Inhomogenitäten auftreten, die jedoch keinen wesentlichen Einfluss auf das jeweilige Teilbetriebsverfahren haben. Ein derartiges homogenes, mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch kann durch Einfach- oder Mehrfacheinspritzung erzeugt werden. Bevorzugt werden die Einspritzungen bzw. die Mehrfach-Einspritzungen lastabhängig und/oder drehzahlabhängig vorgenommen.

Bevorzugt wird das NAV-Teilbetriebsverfahren bei einer Motordrehzahl von 5 % bis 70 % der maximalen Motordrehzahl der Brennkraftmaschine durchgeführt.

Ebenfalls bevorzugt wird das NAV-Teilbetriebsverfahren bei einer Motorlast von 10 % bis 70 % der maximalen Motorlast der Brennkraftmaschine durchgeführt.

Zusätzlich kann bei dem NAV-Betriebsverfahren zur Aufheizung des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches in dem jeweiligen Brennraum eine interne Abgasrückführung durchgeführt werden. Diese Abgasrückführung kann als Abgasrücksaugung und/oder Abgasrückhaltung ausgeführt werden. Bei der Abgasrücksaugung wird durch Ausstoßen des Abgases in den Ansaugtrakt und/oder in den Ausstoßtrakt mit nachfolgendem Rücksaugen dem jeweiligen Brennraum Abgas zugeführt. Alternativ oder zusätzlich zur Abgasrücksaugung, als interne Abgasrückführung, kann eine Abgasrückhaltung vorgenommen werden, bei der ein Teil des Abgases in dem jeweiligen Brennraum rückgehalten wird. Zur Abkühlung des Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisches ist wiederum eine externe Abgasrückführung durchführbar, wobei das extern rückgeführte Abgas zudem noch gekühlt werden kann.

Das NAV-Teilbetriebsverfahren kann in Kombination mit und/oder ergänzend zu einem fremdgezündeten, geschichteten DES-Teilbetriebsverfahren durchgeführt werden.

Bevorzugt kann in diesem Fall der Zündzeitpunkt (ZZP) und/oder eine Schwerpunktlage der Verbrennungsumsetzung bei einem derartigen Kurbelwellenwinkel positioniert sein,

der dem Kurbelwellenwinkel des Zündzeitpunktes (ZZP) und/oder der Schwerpunktlage eines fremdgezündeten, geschichteten DES-Teilbetriebsverfahrens entspricht.

Bevorzugt wird in diesem Fall auch das NAV-Teilbetriebsverfahren in einem Motordrehzahlbereich und/oder einem Motorlastbereich durchgeführt, in dem auch ein fremdgezündetes, geschichtetes DES-Teilbetriebsverfahren möglich ist.

Besonders bevorzugt wird das NAV-Teilbetriebsverfahren in Kombination mit und/oder ergänzend zu einem RZV-Teilbetriebsverfahren mit reiner Raumzündverbringung (RZV) durchgeführt, wobei zwischen den beiden Teilbetriebsverfahren gewechselt wird, wenn das jeweilig andere Teilbetriebsverfahren eine geringere Betriebsstabilität aufweist.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Bauteile beziehen.

Fig. 1: Eine grafische Darstellung eines Brennverlaufes des NAV-Betriebsverfahrens,

Fig. 2: ein Vergleich von Ventilhuben eines RZV-, NAV- und DES-Betriebsverfahrens,

Fig. 3: eine grafische Darstellung eines Kennfeldbereiches des RZV- und NAV-Betriebsverfahrens,

Fig. 4: Einstellbedingungen des RZV- und NAV-Betriebsverfahrens.

In einem in Fig. 1 gezeigten Brennverlauf-Diagramm 1 eines NAV-Teilbetriebsverfahrens ist auf einer Abszisse 2 der Kurbelwellenwinkel in Grad KWW abgetragen, während auf einer Ordinate 3 ein Brennverlauf in Joule aufgetragen ist. Der Brennverlauf des NAV-Teilbetriebsverfahrens ist durch eine Kurve 4 dargestellt. Ein in dem jeweiligen Brenn-

raum angeordnetes Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch wird zu einem Zündzeitpunkt 5 bei einem Kurbelwellenwinkel von $-30^\circ \pm 5^\circ$ KWW fremdgezündet. Bis zu einer Grenzlinie 6 verbrennt das in dem jeweiligen Brennraum angeordnete Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch mit einer ottomotorischen Flammenfrontverbrennung (FFV). Ab der Grenzlinie 6 beginnt das durch die Flammenfrontverbrennung (FFV) weiter aufgeheizte und stärker unter Druck gesetzte Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch in eine Raumzündverbrennung überzugehen. Dabei werden eine für die Raumzündung notwendige Temperatur und ein ausreichend hoher Druck durch die voranschreitende Flammenfrontverbrennung (FFV) aufgebaut. Somit ist das NAV-Teilbetriebsverfahren in eine Phase I der homogenen Flammenfrontverbrennung (FFV) und in eine Phase II der homogenen Raumzündverbrennung (RZV) unterteilbar, wobei beide Phasen I,II durch die Grenzlinie 6 begrenzt werden.

In einem Zylinderdruck-/Ventilhub-Diagramm 7 der Fig. 2 ist auf einer Abszisse 8 der Kurbelwellenwinkel in Grad KWW abgetragen, während auf den Ordinaten 9,9' der Zylinderdruck in Bar bzw. der Ventilhub in Millimeter aufgetragen ist. Die Kurven 10,10',10'' referenzieren jeweils die Zylinderdruckkurven des DES-, RZV-, und NAV-Teilbetriebsverfahrens. Für diese Kurven gilt die Zylinderdruckeinteilung der Ordinate 9. Des Weiteren sind die DES-Ventilhub-Kurven 11,11' die RZV-Ventilhub-Kurven 12,12' und die NAV-Ventilhub-Kurven 13,13' in das Zylinderdruck-Ventilhub-Diagramm 7 eingezeichnet. Bei Vergleich der Ventilhub-Kurven 11,11', 12,12', 13,13' ist festzustellen, dass die NAV-Ventilhub-Kurven 13,13' im Vergleich zu den DES-Ventilhub-Kurven 11,11' deutlich kleiner ausfallen. Auch erstreckt sich die DES-Ventilhub-Kurve 11,11' über einen größeren Kurbelwellenwinkel-Bereich als die NAV-Ventilhub-Kurve 13,13'. Demzufolge ist bei einer derartigen DES-Ventilhub-Kurve 11,11' eine Abgasrückhaltung bzw. eine interne Abgasrückführung nur unzureichend möglich. Im Gegensatz dazu kann mit derartigen NAV-Ventilhub-Kurven eine interne Abgasrückführung und/oder eine Abgasrückhaltung eingestellt werden.

Vergleicht man nun die RZV-Ventilhub-Kurven 12,12' und die NAV-Ventilhub-Kurven 13,13', so stellt man fest, dass die NAV-Ventilhub-Kurven 13,13' einen geringfügig höheren Ventilhub aufweisen und zudem sich über einen größeren Kurbelwellenwinkelbereich erstrecken als die RZV-Ventilhub-Kurven 12,12'. Demzufolge zeichnen sich derartige RZV-Ventilhub-Kurven 12,12' durch eine größere Abgasrückhaltung bzw. interne Abgasrückführung aus und es können dadurch höhere Temperaturen in dem jeweiligen Brennraum eingestellt werden. Jedoch ist auch aufgrund der kleinen Hübe und kurzen Öff-

nungszeiten die Drosselung des Luftstromes groß. Demzufolge können für einen hohe Motorlastbereich derartige RZV-Ventilhub-Kurven 12,12' nur eingeschränkt verwendet werden. Dies ist bei den vorliegenden NAV-Ventilhub-Kurven 13,13' verbessert, da zum einen größere Ventilhuber eingestellt werden können und da zum anderen die Öffnung des Ventiles über einen größeren Kurbelwellenwinkelbereich stattfindet. Demzufolge lässt sich mittels derartiger NAV-Ventilhub-Kurven 13,13' auch eine geringere Temperatur in dem jeweiligen Brennraum einstellen und die angesaugte Luftmenge ist größer als mit den in der Fig. 2 dargestellten RZV-Ventilhub-Kurven 12,12'.

In Fig. 3 ist in einem Motorlast-/Motordrehzahl-Diagramm 14 ein Kennfeld 15 für das RZV-Teilbetriebsverfahren und ein Kennfeld 16 für das NAV-Teilbetriebsverfahren eingezeichnet. In dem Motorlast-/Motordrehzahl-Diagramm 14 ist auf der Abszisse 17 die Drehzahl abgetragen, während auf der Ordinate 18 die Motorlast abgetragen ist. Eine Grenzkurve 19 begrenzt denjenigen Motorlast- bzw. Motordrehzahlbereich, in dem die Brennkraftmaschine betrieben werden kann. In dem Motorlast-/Motordrehzahl-Bereich 20, der nicht von dem Kennfeld 15 des RZV-Teilbetriebsverfahrens und auch nicht von dem Kennfeld 16 des NAV-Teilbetriebsverfahrens eingenommen wird, kann ein ottomotorisches Teilbetriebsverfahren durchgeführt werden.

Ein Einstellbedingungs-Diagramm 21, dargestellt in Fig. 4, stellt schematisch Einstellbedingungen für das RZV-Teilbetriebsverfahren und für das NAV-Teilbetriebsverfahren dar. Auf einer Abszisse 22 ist die Ladungsverdünnung abgetragen, die in Richtung der Abszisse 22 abnimmt, visualisiert durch einen abnehmenden Balken 30. Demzufolge nimmt in Richtung der Abszisse 22 die Motorlast zu. Auf einer Ordinate 23 ist der Kurbelwellenwinkel des Zündzeitpunktes (ZZP) abgetragen, der ebenfalls in Orientierung der Ordinate 23 abnimmt, visualisiert durch einen abnehmenden Balken 30'. In dem Einstellbedingungs-Diagramm 21 sind die Betriebsbereiche 24, 25, 26, 27, 28, 29 eingezeichnet. Der Betriebsbereich 24 kennzeichnet einen möglichen Betriebsbereich des RZV-Teilbetriebsverfahrens. In diesem sehr hohen Ladungsverdünnungsbereich ist es nicht möglich, das dementsprechend verdünnte Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch durch eine Zündvorrichtung fremdzuzünden. In diesem Betriebsbereich 24 kann vorteilhaft das RZV-Teilbetriebsverfahren angewendet werden. Mit sinkender Ladungsverdünnung kann in dem Betriebsbereich 25 sowohl das RZV-Teilbetriebsverfahren durchgeführt werden als auch das NAV-Teilbetriebsverfahren. Durch Verwendung des NAV-Teilbetriebsverfahrens

kann mittels des Zündzeitpunktes die Schwerpunktlage der Verbrennungsumsetzung zu einem früheren Kurbelwellenwinkel hin verschoben werden.

Senkt man die Ladungsverdünnung weiter ab, so kommt man in den Betriebsbereich 26, in dem das RZV-Teilbetriebsverfahren zwar durchgeführt werden kann, jedoch weist in diesem Ladungsverdünnungsbereich das RZV-Teilbetriebsverfahren eine höhere Klopfneigung auf und zeichnet sich durch einen dementsprechend hohen Druckanstieg aus. Dadurch leidet das RZV-Teilbetriebsverfahren in diesem Ladungsverdünnungsbereich unter einer erhöhten Betriebsinstabilität, die durch zum Beispiel eine externe Abgasrückführung verbessert werden kann. Dieser Betriebsbereich 26 kann durch das NAV-Teilbetriebsverfahren übersprungen werden, wobei in diesem Fall ebenfalls durch dementsprechende Wahl des Zündzeitpunktes (ZZP) die Schwerpunktlage der Verbrennungsumsetzung zu einem geringen Kurbelwellenwinkel hin verschoben werden kann.

In dem Betriebsbereich 27 ist bevorzugt das NAV-Teilbetriebsverfahren anzuwenden. In dem Betriebsbereich 28 kann ein ottomotorisches Teilbetriebsverfahren angewendet werden. Üblicherweise kann in dem Betriebsbereich 29 weder das RZV-, NAV- oder DES-Teilbetriebsverfahren angewendet werden.

Für einen weiter verbesserten Betrieb der Brennkraftmaschine ist das Verdichtungsverhältnis der Brennkraftmaschine entsprechend vorteilhaft auszulegen. Insbesondere wird das NAV-Teilbetriebsverfahren bei einem Verdichtungsverhältnis ϵ von 10 bis 13 durchgeführt.

Das Verdichtungsverhältnis ϵ ist der Quotient aus einem Kompressionsvolumen des Brennraums bei einer Stellung des Kolbens in seinem oberen Totpunkt und der Summe aus dem Kompressionsvolumen und dem Hubvolumen des Brennraums bei einer Stellung des Kolbens in seinem unteren Totpunkt.

Bei einem Wechsel vom RZV-Teilbetriebsverfahren zum NAV-Teilbetriebsverfahren wird das Verdichtungsverhältnis ϵ abgesenkt. Aufgrund des abgesenkten Verdichtungsverhältnisses ϵ ist die Klopfneigung deutlich reduziert und eine frühere Schwerpunktlage der Verbrennungsumsetzung, sowie eine daraus resultierende erhöhte Betriebsstabilität des NAV-Teilbetriebsverfahrens gegeben.

Bei einem Wechsel vom NAV-Teilbetriebsverfahren zum RZV-Teilbetriebsverfahren wird das Verdichtungsverhältnis ε angehoben.

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine, insbesondere direkteinspritzende, Brennkraftmaschine mit Abgasrückführung, insbesondere für einen direkteinspritzenden Ottomotor, wobei in einem Kennfeldbereich mit niedriger bis mittlerer Drehzahl und/oder niedriger bis mittlerer Last ein RZV-Teilbetriebsverfahren durchgeführt wird, in dem ein mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch durch Kompressionszündung gezündet wird und in einer Raumzündverbrennung (RZV) verbrennt, wobei an den Kennfeldbereich mit Kompressionszündung zu höherer Last ein weiterer Kennfeldbereich anschließt, in dem ein NAV-Teilbetriebsverfahren durchgeführt wird, bei dem zu einem Zündzeitpunkt (ZZP) ein homogenes, mageres Kraftstoff-/Abgas-/Luftgemisch mit einem Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda > 1$ in einem jeweiligen Brennraum der Brennkraftmaschine mittels einer Zündvorrichtung fremdgezündet wird und bei dem eine durch die Fremdzündung gestartete Flammenfrontverbrennung (FFV) in die Raumzündverbrennung (RZV) übergeht, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest bei dem NAV-Teilbetriebsverfahren zumindest mittels einer Einspritzung Wasser in den jeweiligen Brennraum eingespritzt wird.
2. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest zeitweise das RZV-Teilbetriebsverfahrens durch ein DES-Teilbetriebsbrennverfahren ersetzt wird, so dass anstatt des RZV-Teilbetriebsverfahrens das DES-Teilbetriebsverfahren zur Anwendung kommt.
3. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine Einspritzung von Wasser während eines Kompressionstaktes vorgenommen wird.

4. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine Einspritzung von Wasser vor und/oder nach dem Zündzeitpunkt (ZZP) vorgenommen wird.
5. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine Einspritzung von Wasser während eines Expansionstaktes vorgenommen wird.
6. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine Einspritzung von Wasser während eines Ansaugtaktes vorgenommen wird.
7. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine Einspritzung von Wasser vor einem Start der Raumzündverbrennung (RZV) vorgenommen wird.
8. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
im Falle einer Abgasrückhaltung zumindest eine Einspritzung von Wasser während einer Zwischenkompression vorgenommen wird.
9. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine Einspritzung von Wasser in Abhängigkeit des in dem jeweiligen Brennraum herrschenden Druckes vorgenommen wird.
10. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

zumindest eine Einspritzung von Wasser in Abhängigkeit der in dem jeweiligen Brennraum herrschenden Temperatur vorgenommen wird.

11. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Wechsel vom RZV-Teilbetriebsverfahren zum NAV-Teilbetriebsverfahren ein Verdichtungsverhältnis ϵ abgesenkt wird und bei einem Wechsel vom NAV-Teilbetriebsverfahren zum RZV-Teilbetriebsverfahren das Verdichtungsverhältnis ϵ angehoben wird.

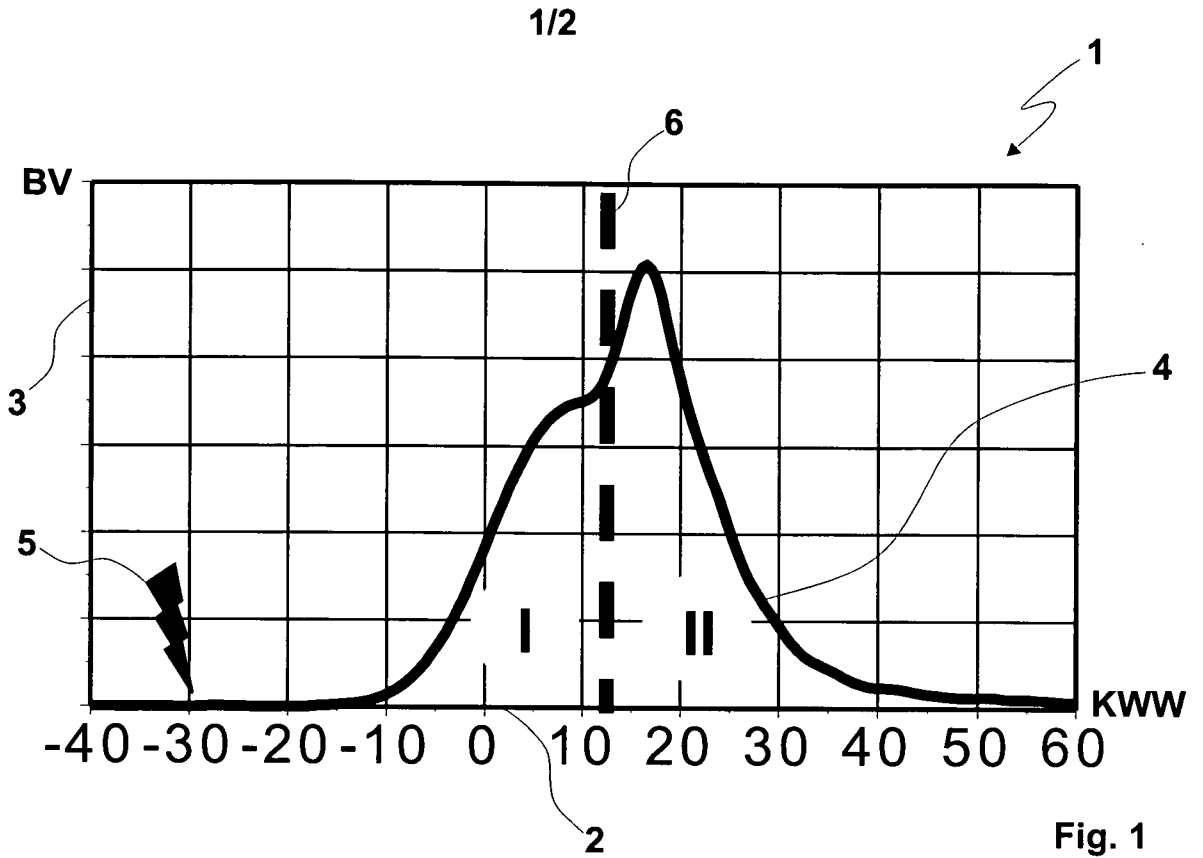


Fig. 1

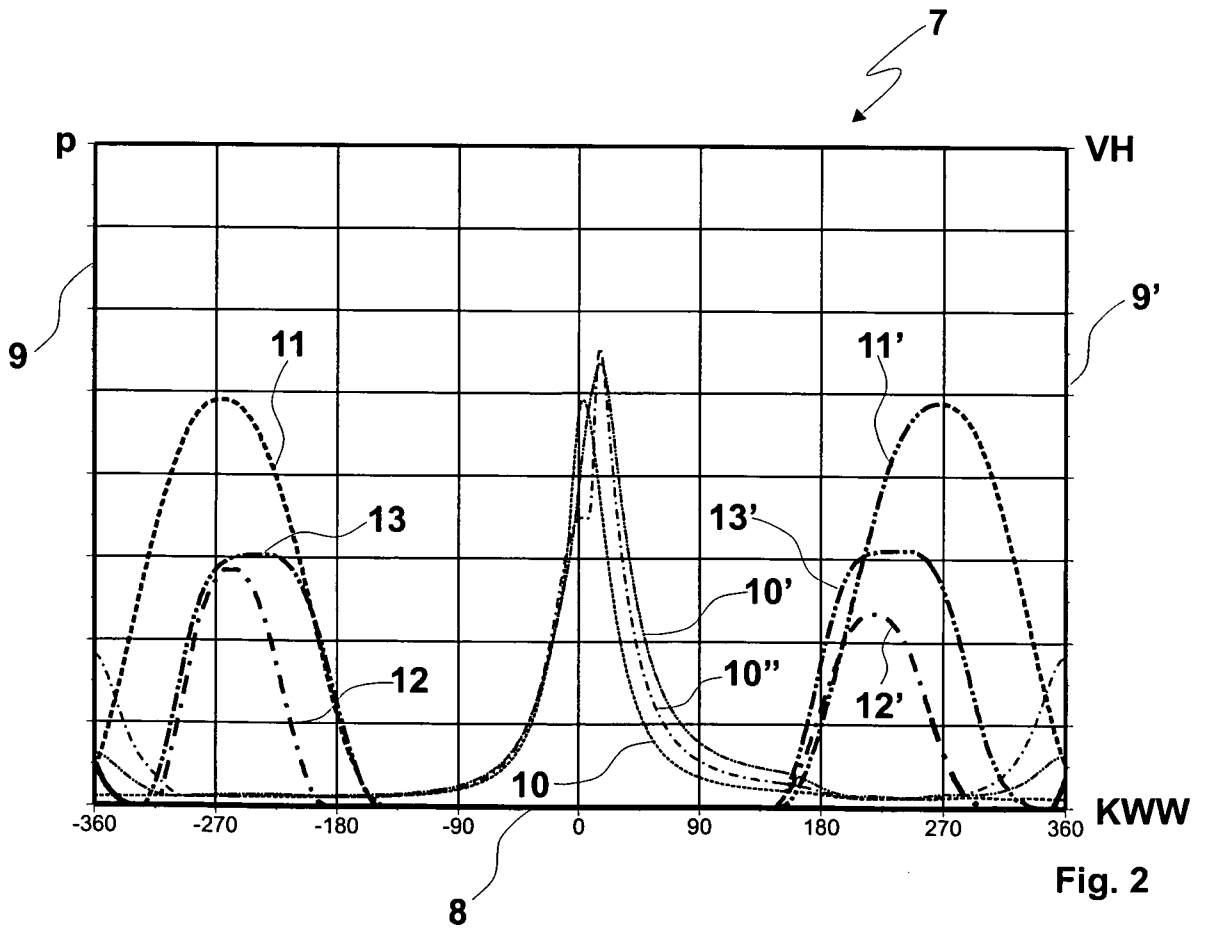


Fig. 2

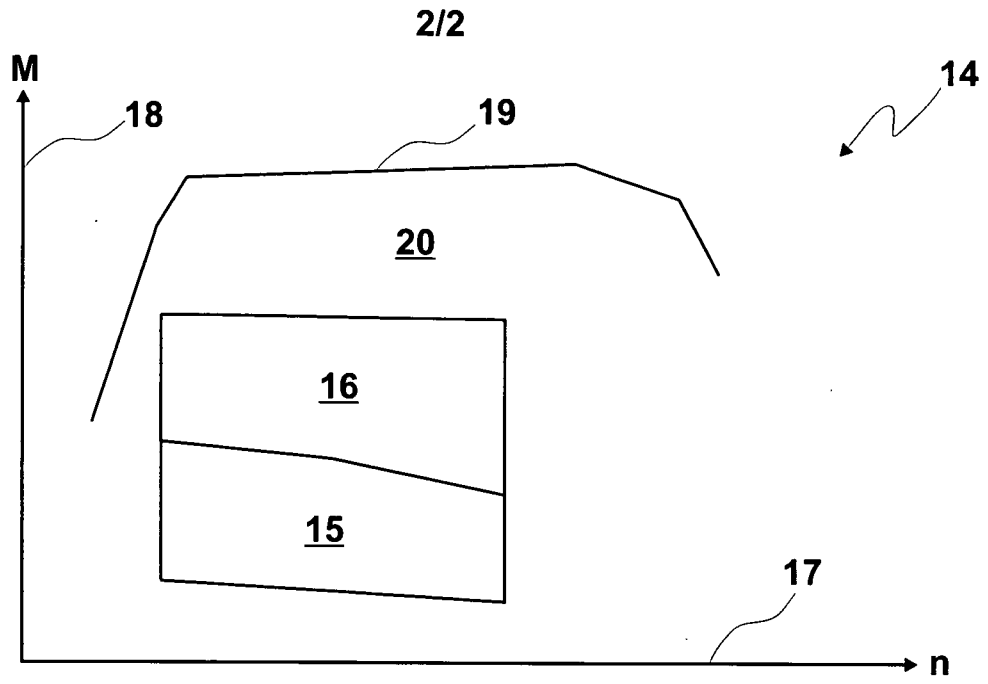


Fig. 3

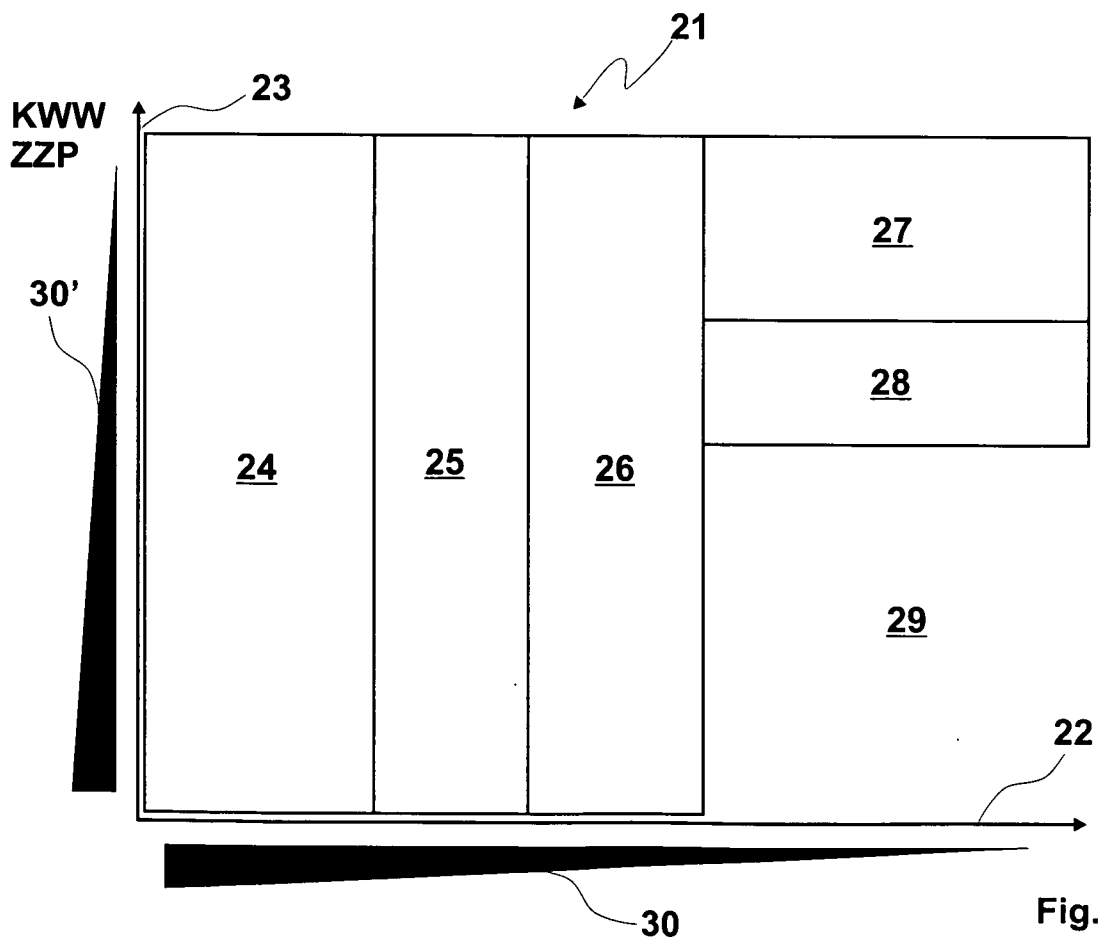


Fig. 4