

(19)



(11)

**EP 2 532 870 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.12.2012 Patentblatt 2012/50**

(51) Int Cl.:  
**F02F 1/24** (2006.01) **F02B 37/02** (2006.01)  
**F01N 13/10** (2010.01) **F02B 75/20** (2006.01)  
**F02B 27/04** (2006.01) **F02B 75/18** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12157315.8**

(22) Anmeldetag: **28.02.2012**

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

- **Kuhlbach, Kai**  
**51427 Bergisch Gladbach (DE)**
- **Dunstheimer, Jens**  
**50823 Koeln (DE)**
- **Stump, Ludwig**  
**51427 Bergisch Gladbach (DE)**
- **Whiston, Phil John**  
**Ingatstone / Essex, CM4 9AS (GB)**

(30) Priorität: **10.06.2011 EP 11169411**

(71) Anmelder: **Ford Global Technologies, LLC**  
**Dearborn, MI 48126 (US)**

(74) Vertreter: **Drömer, Hans-Carsten**  
**Henry-Ford Str. 1**  
**50735 Köln (DE)**

(72) Erfinder:  
 • **Breuer, Albert**  
**50769 Köln (DE)**

(54) **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit mindestens vier in Reihe angeordneten Zylindern**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinderkopf (1), der vier entlang der Längsachse (2) des Zylinderkopfes (1) in Reihe angeordnete Zylinder (3) aufweist, wobei jeder Zylinder (3) mindestens eine Auslaßöffnung (4) zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder (3) via Abgasabführsystem aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung (4) eine Abgasleitung (5) anschließt, und bei dem die Abgasleitungen (5) der Zylinder (3) unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers (9) innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes (1) zu einer Gesamtabgasleitung (7) zusammenführen, die an einer

Außenseite (8) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) austritt.

Es soll ein Verfahren zum Betreiben einer kompakten Brennkraftmaschine aufgezeigt werden, mit dem sich die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder (3) beim Ladungswechsel beheben läßt.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren der genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, dass bei den Zylindern (3) die Verbrennung in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 initiiert wird, wobei die Zylinder (3) beginnend mit einem außenliegenden Zylinder (3a) der Reihe nach entlang der Längsachse (2) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) durchgezählt und numeriert werden.

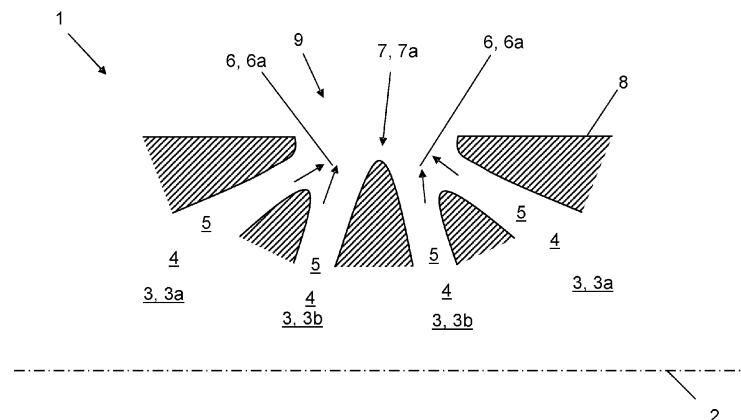


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinderkopf, der vier entlang der Längsachse des Zylinderkopfes in Reihe angeordnete Zylinder aufweist, wobei jeder Zylinder mindestens eine Auslaßöffnung zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder via Abgasabfuhrsystem aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung eine Abgasleitung anschließt, und bei dem die Abgasleitungen der Zylinder unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen, die an einer Außenseite des mindestens einen Zylinderkopfes austritt.

**[0002]** Eine Brennkraftmaschine der genannten Art wird als Antrieb für Kraftfahrzeuge eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfaßt der Begriff Brennkraftmaschine insbesondere Ottomotoren, aber auch Dieselmotoren und Hybrid-Brennkraftmaschinen, d. h. Brennkraftmaschinen, die mit einem Hybrid-Brennverfahren betrieben werden.

**[0003]** Brennkraftmaschinen verfügen über einen Zylinderblock und mindestens einen Zylinderkopf, die zur Ausbildung der Zylinder miteinander verbunden werden. Der Zylinderblock weist zur Aufnahme der Kolben bzw. der Zylinderrohre Zylinderbohrungen auf. Die Kolben werden axial beweglich in den Zylinderrohren geführt und bilden zusammen mit den Zylinderrohren und dem mindestens einen Zylinderkopf die Brennräume der Brennkraftmaschine aus.

**[0004]** Moderne Brennkraftmaschinen werden nahezu ausschließlich nach einem vier Takte umfassenden Arbeitsverfahren betrieben. Im Rahmen des Ladungswechsels erfolgt das Ausschieben der Verbrennungsgase über die Auslaßöffnungen der mindestens vier Zylinder und das Füllen der Brennräume mit Frischgemisch bzw. Ladeluft über die Einlassöffnungen. Um den Ladungswechsel zu steuern, benötigt eine Brennkraftmaschine Steuerorgane und Betätigungseinrichtungen zur Betätigung dieser Steuerorgane. Zur Steuerung des Ladungswechsels werden bei Viertaktmotoren nahezu ausschließlich Hubventile als Steuerorgane verwendet, die während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine oszillierende Hubbewegung ausführen und auf diese Weise die Ein- und Auslaßöffnungen freigeben und verschließen. Der für die Bewegung der Ventile erforderliche Ventilbetätigungsmechanismus einschließlich der Ventile selbst wird als Ventiltrieb bezeichnet. Der mindestens eine Zylinderkopf dient in der Regel zur Aufnahme dieses Ventiltriebs.

**[0005]** Es ist die Aufgabe des Ventiltriebs die Einlaß- und Auslaßöffnungen der Zylinder rechtzeitig freizugeben bzw. zu schließen, wobei eine schnelle Freigabe möglichst großer Strömungsquerschnitte angestrebt wird, um die Drosselverluste in den ein- bzw. ausströmenden Gasströmungen gering zu halten und eine möglichst gute Füllung der Brennräume mit Frischgemisch

bzw. ein effektives, d. h. vollständiges Abführen der Abgase zu gewährleisten.

**[0006]** Die Einlaßkanäle, die zu den Einlassöffnungen führen, und die Auslaßkanäle, d. h. die Abgasleitungen, die sich an die Auslaßöffnungen anschließen, sind nach dem Stand der Technik zumindest teilweise im Zylinderkopf integriert. Die Abgasleitungen der Zylinder werden in der Regel zu einer gemeinsamen Gesamtabgasleitung oder gruppenweise zu mehreren Gesamtabgasleitungen zusammengeführt. Die Zusammenführung von Abgasleitungen zu einer Gesamtabgasleitung wird im Allgemeinen und im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Abgaskrümmen bezeichnet.

**[0007]** Bei der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine werden die Abgasleitungen der vier Zylinder unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer einzelnen Gesamtabgasleitung zusammengeführt. Das Abgasabfuhrsystem tritt an einer Außenseite des Zylinderkopfes aus.

**[0008]** Die dynamischen Wellenvorgänge bzw. Druckschwankungen im Abgasabfuhrsystem sind der Grund dafür, dass sich die thermodynamisch versetzt arbeitenden Zylinder einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine beim Ladungswechsel gegenseitig beeinflussen, insbesondere auch behindern können. Eine verschlechterte Drehmomentcharakteristik bzw. ein gemindertes Leistungsangebot können die Folge sein. Werden die Abgasleitungen der einzelnen Zylinder für eine längere Wegstrecke voneinander getrennt geführt, kann der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel entgegengewirkt werden.

**[0009]** Die Evakuierung der Verbrennungsgase aus einem Zylinder der Brennkraftmaschine im Rahmen des Ladungswechsels beruht im Wesentlichen auf zwei unterschiedlichen Mechanismen. Wenn sich zu Beginn des Ladungswechsels das Auslaßventil nahe dem unteren Totpunkt öffnet, strömen die Verbrennungsgase aufgrund des gegen Ende der Verbrennung im Zylinder vorherrschenden hohen Druckniveaus und der damit verbundenen hohen Druckdifferenz zwischen Brennraum und Abgastrakt mit hoher Geschwindigkeit durch die Auslaßöffnung in das Abgasabfuhrsystem. Dieser druckgetriebene Strömungsvorgang wird durch eine hohe Druckspitze begleitet, die auch als Vorauslaßstoß bezeichnet wird und sich entlang der Abgasleitung mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzt, wobei sich der Druck mit zunehmender Wegstrecke und in Abhängigkeit von der Leitungsführung infolge Reibung mehr oder weniger stark abbaut, d. h. verringert.

**[0010]** Im weiteren Verlauf des Ladungswechsels gleichen sich die Drücke im Zylinder und im Abgasabfuhrsystem weitgehend aus, so dass die Verbrennungsgase maßgeblich infolge der Hubbewegung des Kolbens ausgeschoben werden.

**[0011]** In Abhängigkeit von der konkreten Ausgestaltung des Abgasabfuhrsystems laufen die Druckwellen, die von einem Zylinder ausgehen, nicht nur durch die

mindestens eine Abgasleitung dieses Zylinders, sondern vielmehr auch entlang der Abgasleitungen der anderen Zylinder und zwar gegebenenfalls bis zu der am Ende der jeweiligen Leitung vorgesehenen und geöffneten Auslaßöffnung.

**[0012]** Während des Ladungswechsels bereits in eine Abgasleitung ausgeschobenes, d. h. abgeführtes Abgas kann somit erneut in den Zylinder gelangen und zwar unter anderem infolge der Druckwelle, die von einem anderen Zylinder ausgeht.

**[0013]** Kurze Abgasleitungen können beispielsweise bei einem Vier-Zylinder-Reihenmotor, dessen Zylinder mit der Zündfolge 1 — 3 — 4 — 2 betrieben werden, auch dazu führen, dass der vierte Zylinder den in der Zündfolge vorangehenden dritten Zylinder, d. h. den vorher gezündeten Zylinder, während des Ladungswechsels nachteilig beeinflusst und aus dem vierten Zylinder stammendes Abgas in den dritten Zylinder gelangt, bevor dessen Auslaßventile schließen.

**[0014]** Probleme beim Ladungswechsel einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine ergeben sich insbesondere bei niedrigen Drehzahlen, wenn während einer Ventilüberschneidung, bei der das Auslaßventil bei geöffnetem Einlaßventil noch nicht geschlossen ist, das Abgas unter Inkaufnahme von Spülverlusten weitestgehend aus dem Zylinder ausgespült werden soll. Das Spülen mit Frischluft führt einerseits zu einem schlechteren Wirkungsgrad, aber andererseits zu einer größeren Zylinderfüllung und damit zu einer höheren Leistung. Eine variable Ventilsteuerung ermöglicht eine Variation der Ventilüberschneidung in Abhängigkeit von der Drehzahl.

**[0015]** Die Problematik betreffend die gegenseitige Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel ist bei Brennkraftmaschinen mit integriertem Abgaskrümmern von besonderer Relevanz, da die Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf zu sehr kurzen Abgasleitungen führt.

**[0016]** Die Abgasleitungen der Zylinder unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers innerhalb des Zylinderkopfes zu einer gemeinsamen Gesamtabgasleitung zusammenzuführen, ist aus mehreren Gründen vorteilhaft.

**[0017]** Zum einen führt dies zu einer kompakteren Bauweise der Brennkraftmaschine und einem dichteren Packaging der gesamten Antriebseinheit im Motorraum. Zum anderen ergeben sich Kostenvorteile bei der Herstellung und der Montage sowie eine Gewichtsreduzierung, insbesondere bei einer vollständigen Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf.

**[0018]** Des Weiteren können sich kurze Abgasleitungen vorteilhaft auf die Anordnung und den Betrieb eines Abgasnachbehandlungssystems, welches stromabwärts der Zylinder im Abgasabfuhrsystem vorgesehen ist, auswirken. Der Weg der heißen Abgase zu den Abgasnachbehandlungssystemen sollte möglichst kurz sein, damit den Abgasen wenig Zeit zur Abkühlung eingeräumt wird und die Abgasnachbehandlungssysteme möglichst schnell ihre Betriebstemperatur bzw. An-

springtemperatur erreichen, insbesondere nach einem Kaltstart der Brennkraftmaschine.

**[0019]** In diesem Zusammenhang ist man bemüht, die thermische Trägheit des Teilstücks der Abgasleitungen zwischen Auslaßöffnung am Zylinder und Abgasnachbehandlungssystem zu minimieren, was durch Reduzierung der Masse und der Länge dieses Teilstückes erreicht werden kann, d. h. durch Verkürzung der entsprechenden Abgasleitungen bzw. Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf

**[0020]** Bei mittels Abgasturbolader aufgeladenen Brennkraftmaschinen wird angestrebt, die Turbine möglichst nahe am Auslaß, d. h. den Auslaßöffnungen der Zylinder, anzuordnen, um auf diese Weise die Abgasenthalpie der heißen Abgase, die maßgeblich vom Abgasdruck und der Abgastemperatur bestimmt wird, optimal nutzen zu können und ein schnelles Ansprechverhalten des Turboladers zu gewährleisten. Auch dabei sollte die thermische Trägheit und das Volumen des Leitungssystems zwischen den Auslaßöffnungen der Zylinder und der Turbine minimiert werden, weshalb wiederum die Verkürzung der Leitungen dieses Leitungssystems zielführend ist, beispielsweise durch Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf.

**[0021]** Zunehmend häufig wird der Abgaskrümmern in den Zylinderkopf integriert, um von einer im Zylinderkopf vorgesehenen Kühlung zu partizipieren und den Krümmern nicht aus thermisch hoch belastbaren Werkstoffen fertigen zu müssen, die kostenintensiv sind.

**[0022]** Die Verkürzung der Abgasleitungen durch Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf hat - wie vorstehend dargelegt - eine Vielzahl von Vorteilen, führt aber neben der Verkürzung der Gesamtwegstrecke aller Abgasleitungen auch zu einer Verkürzung der einzelnen Abgasleitungen, da diese bereits unmittelbar stromabwärts der Auslaßöffnungen zusammengeführt werden, wodurch sich die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel verschärft.

**[0023]** Die durch die Integration des Krümmers bedingte Verkürzung der Abgasleitungen durch eine - senkrecht zur Längsachse des Zylinderkopfes - breitere Ausführung des Zylinderkopfes zu kompensieren, ist nur bedingt möglich, da dieser Maßnahme aus Gründen des Crashverhaltens enge Grenzen gesetzt sind, insbesondere genügend Platz im Motorraum für eine ungehinderte Deformation zur Verfügung stehen muß.

**[0024]** Vor dem Hintergrund des oben Gesagten ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben einer kompakten Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 aufzuzeigen, mit dem sich die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel beheben läßt.

**[0025]** Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinderkopf, der vier entlang der Längsachse des Zylinderkopfes in Reihe angeordnete Zylinder aufweist, wobei jeder Zylinder mindestens eine Auslaßöffnung

zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder via Abgasabfuhrsystem aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung eine Abgasleitung anschließt, und bei dem die Abgasleitungen der Zylinder unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen, die an einer Außenseite des mindestens einen Zylinderkopfes austritt, das dadurch gekennzeichnet ist, dass bei den Zylindern die Verbrennung in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 initiiert wird, wobei die Zylinder beginnend mit einem außenliegenden Zylinder der Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchgezählt und numeriert werden.

**[0026]** Die Abgasleitungen der vier Zylinder des mindestens einen Zylinderkopfes der Brennkraftmaschine werden innerhalb des Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammengeführt. Wie bereits beschrieben, ist es vorteilhaft, den Abgaskrümmen vollständig in den Zylinderkopf zu integrieren, auch wenn dadurch grundsätzlich der Gefahr, dass sich die Zylinder beim Ladungswechsel gegenseitig beeinflussen, Vorschub geleistet wird. Diesem Umstand wird aber erfindungsgemäß durch eine geeignete Maßnahme entgegen getreten, nämlich durch die Wahl einer von der üblichen Zündfolge abweichenden Zündfolge.

**[0027]** Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird bei den Zylindern die Verbrennung in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 initiiert, anstatt die Zylinder entsprechend dem herkömmlichen Zündmuster 1 - 3 - 4 - 2 zu betreiben. Ausgehend vom ersten Zylinder sind die Zündzeitpunkte in °KW gemessen die Folgenden: 0 — 180 — 360 — 540. Numerierung der Zylinder einer Brennkraftmaschine ist in der DIN 73021 geregelt. Bei Reihenmotoren werden die Zylinder der Reihe nach durchgezählt, wobei mit einem außenliegenden Zylinder begonnen wird.

**[0028]** Obwohl - wie beim herkömmlichen Zündmuster auch - ein außenliegender Zylinder und der benachbarte innenliegende Zylinder unmittelbar hintereinander zünden, so dass diese Zylinder einen thermodynamischen Versatz von 180°KW aufweisen, erweist sich die erfindungsgemäße Zündfolge als die vorteilhaftere Zündfolge. Die Gründe werden im Folgenden am Beispiel des Zylinderpaares umfassend den ersten und zweiten Zylinder näher beschrieben.

**[0029]** Nach dem herkömmlichen Zündmuster wird der zweite Zylinder vor dem ersten Zylinder gezündet, so dass sich die mindestens eine Auslaßöffnung des zweiten Zylinders am Ende des Schließvorgang befindet, wenn der erste Zylinder zur Einleitung des Ladungswechsels seine mindestens eine Auslaßöffnung öffnet, d. h. freigibt. Infolge der Druckwelle, die vom ersten Zylinder ausgeht, kann bereits aus dem zweiten Zylinder abgeführtes Abgas erneut in den zweiten Zylinder eingeleitet werden. Gegebenenfalls gelangt auch aus dem ersten Zylinder stammendes Abgas in den vorher gezündeten zweiten Zylinder, bevor dessen Auslaßventile schließen.

**[0030]** Wird nun gemäß dem erfindungsgemäßen

Zündmuster die Verbrennung im ersten Zylinder vor dem zweiten Zylinder initiiert, kann die vorstehende Problematik eliminiert werden und zwar bei ansonsten unveränderten Randbedingungen, d. h. gleichen Ventilöffnungszeiten, insbesondere Öffnungsdauern, und bei Verwendung desselben Krümmers prinzipbedingt auch gleichen Abgasstrecken im Abgasabfuhrsystem.

**[0031]** Dass alleine die Änderung der Reihenfolge der Zündung der beiden benachbarten Zylinder zu diesem Ergebnis führt, ist begründet durch die unterschiedliche Länge der Abgasleitungen von der Auslaßöffnung des jeweiligen Zylinder bis zu der Teilsammelstelle dieses Zylinderpaares, an der die Abgasleitungen des Zylinderpaares zu einer Teilabgasleitung zusammenlaufen. Die unterschiedlich langen Abgasleitungen haben zur Folge, dass in das Abgasabfuhrsystem während eines Spülvorganges eingeleitete Frischluft in der Abgasleitung des ersten Zylinders eine längere Frischluftsäule ausbildet als in der Abgasleitung des zweiten Zylinders.

**[0032]** Zündet der zweite Zylinder nun vor dem ersten Zylinder, muß die Druckwelle, die vom ersten Zylinder ausgeht, nur eine vergleichsweise kurze Frischluftsäule überwinden bzw. in den zweiten Zylinder zurückschieben, bevor dieselbe Druckwelle bereits aus dem zweiten Zylinder abgeführtes Abgas bzw. aus dem ersten Zylinder stammendes Abgas in den zweiten Zylinder einleitet.

**[0033]** Zündet hingegen der erste Zylinder vor dem zweiten Zylinder, muß die Druckwelle, die vom zweiten Zylinder ausgeht, eine längere Frischluftsäule überwinden bzw. in den ersten Zylinder zurückschieben, bevor dieselbe Druckwelle bereits aus dem ersten Zylinder abgeführtes Abgas bzw. aus dem zweiten Zylinder stammendes Abgas in den ersten Zylinder einleitet.

**[0034]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist ein Verfahren zum Betreiben einer kompakten Brennkraftmaschine mit integriertem Abgaskrümmen, mit dem sich die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel beheben läßt, weshalb das erfindungsgemäße Verfahren die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe löst.

**[0035]** Eine für das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzte Brennkraftmaschine kann auch zwei Zylinderköpfe aufweisen, wenn beispielsweise die Zylinder auf zwei Zylinderbänke verteilt sind.

**[0036]** Weitere vorteilhafte Ausführungsformen des Verfahrens werden im Zusammenhang mit den Unteransprüchen erörtert.

**[0037]** Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen

- jeder Zylinder zur Einleitung einer Fremdzündung mit einer Zündvorrichtung ausgestattet wird, und
- die Zylinder in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 gezündet werden, wobei die Zylinder beginnend mit einem außenliegenden Zylinder der Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchgezählt und numeriert werden.

**[0038]** Die vorstehende Verfahrensvariante betrifft die Anwendung des Verfahrens bei einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine, beispielsweise einem direkteinspritzenden Ottomotor, dessen Zylinder zur Einleitung einer Fremdzündung jeweils mit einer Zündvorrichtung ausgestattet sind.

**[0039]** Vorteilhaft sind aber auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen

- die Zylinder mittels Selbstzündung betrieben werden, und
- die Selbstzündung der Zylinder in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 eingeleitet wird, wobei die Zylinder beginnend mit einem außenliegenden Zylinder der Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchgezählt und numeriert werden.

**[0040]** Die vorstehende Verfahrensvariante bezieht sich auf Verfahren, bei denen die Verbrennung mittels Selbstzündung eingeleitet wird, und damit auch auf Arbeitsverfahren, wie sie üblicherweise bei Dieselmotoren eingesetzt werden.

**[0041]** Es besteht auch die Möglichkeit, ein Hybrid-Brennverfahren mit Selbstzündung zum Betreiben eines Ottomotors einzusetzen, beispielsweise das sogenannte HCCI-Verfahren (Homogenous-Charge Compression-Ignition), welches auch als Raumzündverfahren oder als CAI-Verfahren (Controlled Auto-Ignition) bezeichnet wird. Dieses Verfahren basiert auf einer kontrollierten Selbstzündung des dem Zylinder zugeführten Kraftstoffes. Dabei wird der Kraftstoff - wie bei einem Dieselmotor - unter Luftüberschuß, also überstöchiometrisch, verbrannt. Der mager betriebene Ottomotor weist aufgrund der niedrigen Verbrennungstemperaturen vergleichsweise geringe Stickoxidemissionen  $NO_x$  auf und ebenfalls infolge des mageren Gemisches keine Rußemissionen. Darüber hinaus führt das HCCI-Verfahren zu einem hohen thermischen Wirkungsgrad. Der Kraftstoff kann dabei sowohl direkt in die Zylinder als auch in das Ansaugrohr eingebracht werden, wobei eine Direkteinspritzung zusätzlich die Entdrosselung der Brennkraftmaschine durch Eliminierung der Drosselklappe gestattet.

**[0042]** Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Abgasleitungen der Zylinder stufenweise zu der Gesamtabgasleitung zusammenführen, wobei jeweils die mindestens eine Abgasleitung eines außenliegenden Zylinders und die mindestens eine Abgasleitung des benachbarten innenliegenden Zylinders zu einer Teilabgasleitung zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen der vier Zylinder zu der Gesamtabgasleitung zusammenführen.

**[0043]** Die Abgasleitungen der vier Zylinder werden gemäß der vorstehenden Variante gruppenweise, d. h. paarweise, zusammengeführt, wobei jeweils ein außenliegender Zylinder und der benachbarte innenliegende Zylinder ein Zylinderpaar bilden, deren Abgasleitungen in einer ersten Stufe zu einer Teilabgasleitung zusam-

menführen. In einer zweiten Stufe werden dann diese Teilabgasleitungen stromabwärts im Abgasabfuhrsystem zu der Gesamtabgasleitung zusammengeführt. Die Gesamtwegstrecke aller Abgasleitungen wird hierdurch verkürzt. Das stufenweise Zusammenführen der Abgasleitungen zu der Gesamtabgasleitung trägt zudem zu einer kompakteren, d. h. weniger voluminösen Bauweise bei.

**[0044]** Das stufenweise Zusammenführen wird durch ein konstruktives, d. h. gegenständliches, Merkmal der Brennkraftmaschine realisiert, nämlich dadurch, dass die außenliegenden Wandabschnitte, die jeweils abschnittsweise die Abgasleitungen eines Zylinderpaares voneinander trennen, sich weniger weit in Richtung der Außenseite des Zylinderkopfes erstrecken als der innenliegende Wandabschnitt, der abschnittsweise die beiden Teilabgasleitungen der beiden Zylinderpaare voneinander trennt.

**[0045]** Vorteilhaft sind daher auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die außenliegenden Wandabschnitte, die jeweils abschnittsweise die mindestens eine Abgasleitung eines außenliegenden Zylinders und die mindestens eine Abgasleitung des benachbarten innenliegenden Zylinders voneinander trennen und in das Abgasabfuhrsystem hineinragen, sich in Richtung der Außenseite des Zylinderkopfes senkrecht zur Längsachse des Zylinderkopfes weniger weit erstrecken als der innenliegende Wandabschnitt, der abschnittsweise die beiden Teilabgasleitungen und die Abgasleitungen der beiden innenliegenden Zylinder voneinander trennt und in das Abgasabfuhrsystem hineinragt.

**[0046]** Die Abgasströme der beiden Zylindergruppen werden dabei länger voneinander getrennt gehalten als die Abgasströme der Zylinder einer Gruppe.

**[0047]** Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Brennkraftmaschine mit mindestens einem Abgasturbolader ausgestattet wird, wobei die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers in der Gesamtabgasleitung angeordnet wird.

**[0048]** Brennkraftmaschinen mit mindestens einem vollständig integrierten Abgaskrümmern eignen sich besonders für eine Aufladung mittels Abgasturboaufladung, da die mindestens eine Turbine überaus motornah angeordnet werden kann. Die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers wird in der Gesamtabgasleitung angeordnet und weist einen Eintrittsbereich zum Zuführen der Abgase auf. Damit wird das gesamte Abgas der vier Zylinder der Turbine zugeführt.

**[0049]** Während ein mechanischer Lader die für seinen Antrieb benötigte Energie vollständig von der Brennkraftmaschine bezieht, nutzt der Abgasturbolader die Abgasenergie der heißen Abgase. Die vom Abgasstrom an die Turbine abgegebene Energie wird für den Antrieb eines Verdichters genutzt, der die ihm zugeführte Ladeluft fördert und komprimiert, wodurch eine Aufladung der Zylinder erreicht wird. Gegebenenfalls ist eine Ladeluftkühlung vorgesehen, mit der die komprimierte Verbrennungsluft vor Eintritt in die Zylinder gekühlt wird.

**[0050]** Die Aufladung dient in erster Linie der Leistungssteigerung der Brennkraftmaschine. Die Aufladung ist aber auch ein geeignetes Mittel, bei gleichen Fahrzeugrandbedingungen das Lastkollektiv zu höheren Lasten hin zu verschieben, wodurch der spezifische Kraftstoffverbrauch gesenkt werden kann.

**[0051]** Häufig wird bei Unterschreiten einer bestimmten Motordrehzahl ein Drehmomentabfall beobachtet. Die Drehmomentcharakteristik einer aufgeladenen Brennkraftmaschine kann durch unterschiedliche Maßnahmen verbessert werden. Beispielsweise durch eine kleine Auslegung des Turbinenquerschnittes und gleichzeitiger Abgasabblase bzw. durch mehrere parallel oder in Reihe angeordnete Turbolader, d. h. durch mehrere parallel oder in Reihe angeordnete Turbinen.

**[0052]** Die Turbine kann darüber hinaus mit einer variablen Turbinengeometrie ausgestattet werden, die eine weitergehende Anpassung an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine durch Verstellen der Turbinengeometrie bzw. des wirksamen Turbinenquerschnittes gestattet. Dabei sind im Eintrittsbereich der Turbine verstellbare Leitschaufeln zur Beeinflussung der Strömungsrichtung angeordnet. Im Gegensatz zu den Laufschaufeln des umlaufenden Laufrades rotieren die Leitschaufeln nicht mit der Welle der Turbine. Verfügt die Turbine über eine feste unveränderliche Geometrie, sind die Leitschaufeln nicht nur stationär, sondern zudem völlig unbeweglich im Eintrittsbereich angeordnet, d. h. starr fixiert. Bei einer variablen Geometrie hingegen sind die Leitschaufeln zwar stationär angeordnet, aber nicht völlig unbeweglich, sondern um ihre Achse drehbar, so dass auf die Anströmung der Laufschaufeln Einfluß genommen werden kann.

**[0053]** Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Brennkraftmaschine mit einer Flüssigkeitskühlung ausgestattet wird.

**[0054]** Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der mindestens eine Zylinderkopf zur Ausbildung der Flüssigkeitskühlung mit mindestens einem integrierten Kühlmittelmantel ausgestattet wird.

**[0055]** Insbesondere aufgeladene Brennkraftmaschinen sind thermisch höher belastet als Saugmotoren, weshalb höhere Anforderungen an die Kühlung zu stellen sind. Mit einer Flüssigkeitskühlung können wesentlich größere Wärmemengen abgeführt werden als mit einer Luftkühlung, weshalb es vorteilhaft ist, die Brennkraftmaschine mit einer Flüssigkeitskühlung auszustatten.

**[0056]** Die Flüssigkeitskühlung erfordert die Ausstattung der Brennkraftmaschine, d. h. des Zylinderkopfes bzw. des Zylinderblocks, mit einem integrierten Kühlmittelmantel, d. h. die Anordnung von das Kühlmittel durch den Zylinderkopf bzw. Zylinderblock führenden Kühlmittelkanälen. Die Wärme wird bereits im Inneren des Bauteils an das Kühlmittel abgegeben. Das Kühlmittel wird dabei mittels einer im Kühlkreislauf angeordneten Pumpe gefördert, so dass es im Kühlmittelmantel zirkuliert. Die an das Kühlmittel abgegebene Wärme wird auf diese Weise aus dem Inneren des Kopfes bzw. Blocks abge-

führt und dem Kühlmittel in einem Wärmetauscher wieder entzogen.

**[0057]** Vorteilhaft sind Verfahrensvarianten, bei denen jeder Zylinder mit mindestens zwei Auslaßöffnungen ausgestattet wird.

**[0058]** Wie bereits ausgeführt wurde, wird während des Ladungswechsels eine schnelle Freigabe möglichst großer Strömungsquerschnitte angestrebt, um die Drosselverluste in den ausströmenden Abgasströmungen gering zu halten und ein effektives Abführen der Abgase zu gewährleisten. Deshalb ist es vorteilhaft, die Zylinder mit zwei oder mehr Auslaßöffnungen auszustatten.

**[0059]** Vorteilhaft sind Verfahrensvarianten, bei denen sich der innenliegende Wandabschnitt, der abschnittsweise die beiden Teilabgasleitungen und die Abgasleitungen der beiden innenliegenden Zylinder voneinander trennt und in das Abgasabfuhrsystem hineinragt, bis zu der Außenseite des mindestens einen Zylinderkopfes erstreckt.

**[0060]** Das Abgasabfuhrsystem der vorstehenden Ausführungsform kann als ein Abgasabfuhrsystem angesehen werden, das in Gestalt von zwei Austrittsöffnungen an der Außenseite des Zylinderkopfes austritt. Nichtsdestotrotz wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der beim Zusammenführen der Abgasleitungen ausgebildete Abgaskrümmers als ein im Zylinderkopf integrierter Abgaskrümmers angesehen und bezeichnet.

**[0061]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels gemäß Figur 1 näher beschrieben. Hierbei zeigt:

Fig. 1 schematisch eine erste Ausführungsform des Zylinderkopfes im Querschnitt.

**[0062]** Figur 1 zeigt schematisch und im Schnitt eine erste Ausführungsform des Zylinderkopfes 1.

**[0063]** Der Zylinderkopf 1 verfügt über vier Zylinder 3, die entlang der Längsachse 2 des Zylinderkopfes 1, d. h. in Reihe angeordnet sind. Der Zylinderkopf 1 verfügt somit über zwei außenliegende Zylinder 3a und zwei innenliegende Zylinder 3b.

**[0064]** Jeder Zylinder 3 weist eine Auslaßöffnungen 4 auf, an die sich Abgasleitungen 5 des Abgasabfuhrsystems zum Abführen der Abgase anschließen. Die Abgasleitungen 5 der Zylinder 3 führen stufenweise zu einer Gesamtabgasleitung 7 zusammen, wobei jeweils die Abgasleitung 5 eines außenliegenden Zylinders 3a und die Abgasleitung 5 des benachbarten innenliegenden Zylinders 3b zu einer diesem Zylinderpaar zugehörigen Teilabgasleitung 6 zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen 6 der vier Zylinder 3, 3a, 3b zu einer Gesamtabgasleitung 7 zusammenführen. Die Abgasleitungen 5 der Zylinder 3 führen unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers 9 innerhalb des Zylinderkopfes 1 zu einer Gesamtabgasleitung 7 zusammen. Das Abgasabfuhrsystem tritt in Gestalt einer einzelnen Öffnung aus dem Zylinderkopf 1 aus.

**[0065]** Das Abgas eines außenliegenden Zylinders 3a

und des benachbarten innenliegenden Zylinders 3b, d. h. das Abgas eines Zylinderpaares, wird an einer Teilsammelstelle 6a zusammengeführt, d. h. gesammelt. Die Teilsammelstelle 6a ist die Stelle im Abgasabführsystem, an der die Abgasleitungen 5 eines Zylinderpaares zu einer Teilabgasleitung 6 zusammenlaufen. Das Abgas der beiden Zylinderpaare wird dann stromabwärts der zwei Teilsammelstellen 6a noch im Zylinderkopf 1 an einer Gesamtsammelstelle 7a gesammelt. Die Gesamtsammelstelle 7a ist die Stelle im Abgasabführsystem, an der die Teilabgasleitungen 6 der Zylinderpaare zu der Gesamtabgasleitung 7 zusammenführen.

**[0066]** Der Abgaskrümmter 9 ist vollständig im Zylinderkopf 1 integriert, wodurch eine sehr kompakte Bauweise der Brennkraftmaschine ermöglicht wird. Um eine gegenseitige Einflußnahme der Zylinder 3 beim Ladungswechsel zu verhindern, wird die Verbrennung bei den Zylindern 3 in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 initiiert, beispielsweise mittels Zündvorrichtungen. Die Zylinder 3 werden dabei beginnend mit einem außenliegenden Zylinder 3a der Reihe nach entlang der Längsachse 2 des mindestens einen Zylinderkopfes 1 durchgezählt und numeriert.

#### Bezugszeichen

##### [0067]

- |    |   |  |
|----|---|--|
| 1  | Zylinderkopf                                |  |
| 2  | Längsachse des Zylinderkopfes               |  |
| 3  | Zylinder                                    |  |
| 3a | außenliegender Zylinder                     |  |
| 3b | innenliegender Zylinder                     |  |
| 4  | Auslaßöffnung                               |  |
| 5  | Abgasleitung                                |  |
| 6  | Teilabgasleitung                            |  |
| 6a | Teilsammelstelle                            |  |
| 7  | Gesamtabgasleitung                          |  |
| 7a | Gesamtsammelstelle                          |  |
| 8  | auslaßseitige Außenseite des Zylinderkopfes |  |
| 9  | integrierter Abgaskrümmter                  |  |

°KW Grad Kurbelwinkel

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinderkopf (1), der vier entlang der Längsachse (2) des Zylinderkopfes (1) in Reihe angeordnete Zylinder (3) aufweist, wobei jeder Zylinder (3) mindestens eine Auslaßöffnung (4) zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder (3) via Abgasabführsystem aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung (4) eine Abgasleitung (5) anschließt, und bei dem die Abgasleitungen (5) der Zylinder (3) unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers (9) innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes

(1) zu einer Gesamtabgasleitung (7) zusammenführen, die an einer Außenseite (8) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) austritt, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei den Zylindern (3) die Verbrennung in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 initiiert wird, wobei die Zylinder (3) beginnend mit einem außenliegenden Zylinder (3a) der Reihe nach entlang der Längsachse (2) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) durchgezählt und numeriert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- jeder Zylinder (3) zur Einleitung einer Fremdzündung mit einer Zündvorrichtung ausgestattet wird, und
- die Zylinder (3) in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 gezündet werden, wobei die Zylinder (3) beginnend mit einem außenliegenden Zylinder (3a) der Reihe nach entlang der Längsachse (2) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) durchgezählt und numeriert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Zylinder (3) mittels Selbstzündung betrieben werden, und
- die Selbstzündung der Zylinder (3) in der Reihenfolge 1 - 2 - 4 - 3 eingeleitet wird, wobei die Zylinder (3) beginnend mit einem außenliegenden Zylinder (3a) der Reihe nach entlang der Längsachse (2) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) durchgezählt und numeriert werden.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgasleitungen (5) der Zylinder (3) stufenweise zu der Gesamtabgasleitung (7) zusammenführen, wobei jeweils die mindestens eine Abgasleitung (5) eines außenliegenden Zylinders (3a) und die mindestens eine Abgasleitung (5) des benachbarten innenliegenden Zylinders (3b) zu einer Teilabgasleitung (6) zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen (6) der vier Zylinder (3, 3a, 3b) zu der Gesamtabgasleitung (7) zusammenführen.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die außenliegenden Wandabschnitte, die jeweils abschnittsweise die mindestens eine Abgasleitung (5) eines außenliegenden Zylinders (3a) und die mindestens eine Abgasleitung (5) des benachbarten innenliegenden Zylinders (3b) voneinander trennen und in das Abgasabführsystem hineinragen, sich in Richtung der Außenseite (8) des Zylinderkopfes (1) senkrecht zur Längsachse (2) des Zylinderkopfes (1) weniger weit erstrecken als der innenliegende Wandabschnitt,

der abschnittsweise die beiden Teilabgasleitungen (6) und die Abgasleitungen (5) der beiden innenliegenden Zylinder (3b) voneinander trennt und in das Abgasabführsystem hineinragt.

5

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine mit mindestens einem Abgasturbolader ausgestattet wird, wobei die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers in der Gesamtabgasleitung (7) angeordnet wird. 10
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine mit einer Flüssigkeitskühlung ausgestattet wird. 15
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Zylinderkopf (1) zur Ausbildung der Flüssigkeitskühlung mit mindestens einem integrierten Kühlmittelmantel ausgestattet wird. 20
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Zylinder (3) mit mindestens zwei Auslaßöffnungen (4) ausgestattet wird. 25
10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der innenliegende Wandabschnitt, der abschnittsweise die beiden Teilabgasleitungen (6) und die Abgasleitungen (5) der beiden innenliegenden Zylinder (3b) voneinander trennt und in das Abgasabführsystem hineinragt, bis zu der Außenseite (8) des mindestens einen Zylinderkopfes (1) erstreckt. 30  
35

40

45

50

55



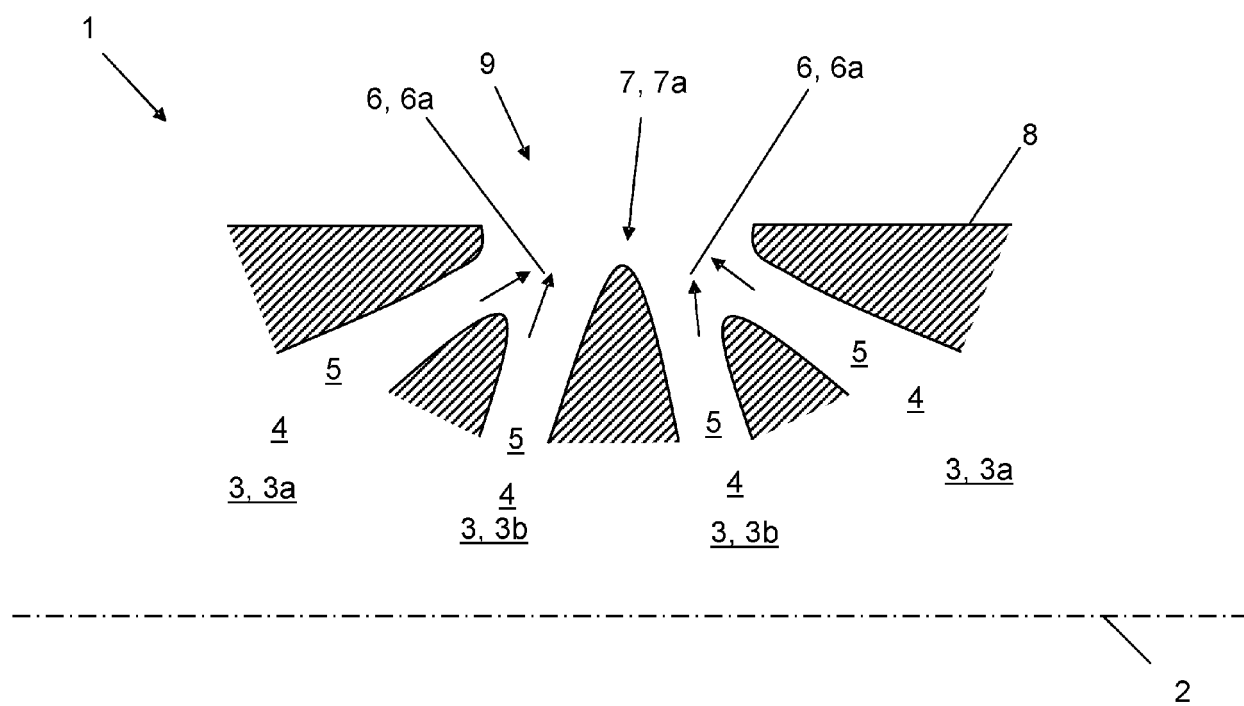


Fig. 1



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 12 15 7315

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	DE 10 2008 035957 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 18. Februar 2010 (2010-02-18) * Abbildung 2 *	1-10	INV. F02F1/24 F02B37/02 F01N13/10 F02B75/20
Y	----- DANTE GIACOSA: "MOTORI ENDOTERMICI", 31. Dezember 1986 (1986-12-31), HOEPLI, XP002684172, ISBN: 88-203-1457-6 Seiten 248-250, * XII.6. Ordine di accensione *	1-10	ADD. F02B27/04 F02B75/18
A	----- DE 33 14 839 A1 (PEDACK WERNER) 25. Oktober 1984 (1984-10-25) * Seite 4 - Seite 5 *	1	
A	----- US 2009/151343 A1 (SON JIN WOOK [KR] ET AL) 18. Juni 2009 (2009-06-18) * Absatz [0003]; Abbildungen 1,6 *	10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F02F F02B F01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 26. September 2012	Prüfer Coniglio, Carlo
KATEGORIE DER GENANTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 12 15 7315

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-09-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008035957 A1	18-02-2010	CN 201486674 U	26-05-2010
		DE 102008035957 A1	18-02-2010
-----			
DE 3314839 A1	25-10-1984	KEINE	
-----			
US 2009151343 A1	18-06-2009	DE 102008058852 A1	25-06-2009
		US 2009151343 A1	18-06-2009
-----			

EPO FORM P0461

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