

(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  
15. Juli 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/059153 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F02F 3/26**,  
F02B 23/10, 17/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/012732

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. November 2003 (14.11.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 61 185.8 20. Dezember 2002 (20.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse  
225, 70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GANZ, Benedikt  
[DE/DE]; Laurentiusstrasse 34, 76477 Elchesheim-Iltingen

(DE). GAUDRY, Jean-François [FR/DE]; Forststrasse  
171, 70193 Stuttgart (DE). HARTMANN, Hans [DE/DE];  
Rommelshäuser Strasse 39, 70374 Stuttgart (DE).  
KLENK, Rolf [DE/DE]; Augsburgstrasse 335, 70327  
Stuttgart (DE). MLEJNEK, Andreas [AT/DE]; Gehren-  
waldstrasse 26, 70327 Stuttgart (DE). RÖSSLER, Klaus  
[DE/DE]; Hartweg 7, 73776 Altbach (DE). SCHEFFEL,  
Helmut [DE/DE]; Badstrasse 5, 71088 Holzgerlingen  
(DE). STRUBEL, Dirk [DE/DE]; Wendelinstrasse 11,  
70327 Stuttgart (DE). ZAHN, Matthias [DE/DE]; Kon-  
stanzerstrasse 19, 68239 Mannheim (DE).

(74) Anwälte: KREISER, André usw.; DaimlerChrysler AG,  
Intellectual Property Management, IPM - C106, 70546  
Stuttgart (DE).

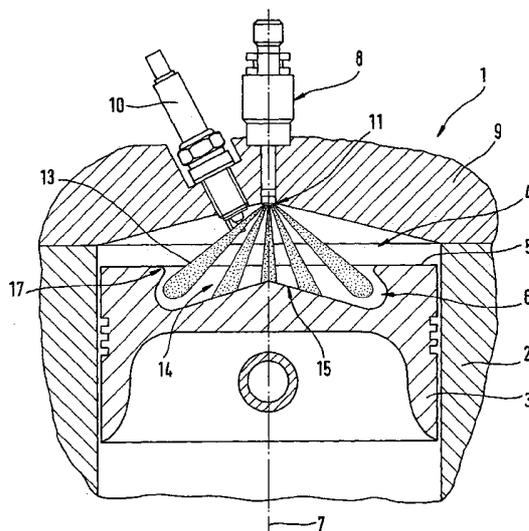
(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DIRECT-INJECTION SPARK-IGNITION INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: DIREKTEINSPRITZENDE OTTO-BRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a direct-injection spark-ignition internal combustion engine comprising one injector (8) per cylinder (2) for injecting fuel into a combustion chamber (4). The injector (8) has an injection nozzle (11) comprising several injection orifices (12) that are distributed around its periphery, the fuel jets (13) of said orifices forming a conical cloud of fuel (14) during an injection operation when mixed with combustion air that is supplied separately. To improve the geometry of the combustion chamber, a plunger basin (6), which enlarges the combustion chamber (4) and lies opposite the injection nozzle (11), can be provided in the plunger head (5) of the plunger (3). In order to counteract a wetting of the plunger by the fuel, in particular for a late fuel injection in a stratified charge mode, the invention is equipped with a plunger basin (6), which is radially enlarged by several radial cavities (16) that are hollowed out of the plunger head (5) and that receive injected fuel.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/059153 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Bei einer direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschine mit pro Zylinder (2) einem Injektor (8) zur Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum (4) weist der Injektor (8) eine Einspritzdüse (11) mit mehreren über ihren Umfang verteilten Einspritzlöchern (12) auf, deren Kraftstoffstrahlen (13) bei einem Einspritzvorgang eine kegelförmige Kraftstoffwolke (14) mit separat zuführbarer Verbrennungsluft bilden. In einem Kolbenboden (5) des Kolbens (3) kann zur Verbesserung der Brennraumgeometrie eine gegenüber der Einspritzdüse (11) liegende Kolbenmulde (6) zur Erweiterung des Brennraumes (4) vorgesehen sein. Um insbesondere bei später Einspritzung in einem Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine einer Kraftstoffbenetzung des Kolbens entgegenzuwirken, ist erfindungsgemäss eine Kolbenmulde (6) vorgesehen, welche mit mehreren im Kolbenboden (5) ausgehöhlten Radialkavitäten (16) zur Aufnahme eingespritzten Kraftstoffs radial erweitert ist.

Direkteinspritzende Otto-Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft eine direkteinspritzende Otto-Brennkraftmaschine mit pro Zylinder einem Injektor zur Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Gattung sowie ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10.

Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen wird im Brennraum jedes Zylinders das zum Antrieb des Kolbens zu verbrennende Kraftstoff/Luft-Gemisch aus direkt in den Brennraum eingespritztem Kraftstoff mit separat durch Einlaßkanäle zugeführter Verbrennungsluft gebildet. Bei fremdgezündeten Otto-Brennkraftmaschinen ist das Kraftstoff/Luft-Gemisch durch den Zündfunken einer in den Brennraum einragenden Zündkerze zu zünden und daher an den Elektroden der Zündkerze zündfähiges Gemisch bereitzustellen. In einem Schichtladungsbetrieb kann dabei durch späte Kraftstoffeinspritzung während des Arbeitsspiels des jeweiligen Zylinders eine geschichtete Gemischwolke mit zündfähiger Kraftstoffkonzentration gebildet werden bei insgesamt magerem Gemisch im gesamten Brennraumvolumen. Der Betrieb mit geschichtetem Gemisch führt dabei zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemission der Brennkraftmaschine. Um die Zündfähigkeit des Gemisches im Bereich der Zündkerze insbesondere im Schichtladungsbetrieb sicherzustellen, wird der Kraftstoff meistens in einem Kegelstrahl in den Brennraum eingespritzt, wobei eine kegelförmige Kraftstoffwolke mit der Verbrennungs-

luft gebildet wird. Bei einem sogenannten strahlgeführten Brennverfahren hängt die Gemischbildung stark von der zündfähigen Qualität des Gemisches der Kraftstoffwolke im Bereich der Zündkerze ab. Um eine stabile Gemischbildung und Zündung des Gemisches bei einem strahlgeführten Brennverfahren durch eine wohl konfigurierte, kegelförmige Kraftstoffwolke zu gewährleisten, sind sogenannte Mehrlochinjektoren bekannt, deren Einspritzdüse mit mehreren, über ihren Umfang verteilten Einspritzlöchern versehen ist.

Die DE 198 04 463 A1 offenbart einen solchen Mehrlochinjektor, bei dem wenigstens eine Reihe von über den Umfang der Einspritzdüse verteilten Einspritzlöchern vorgesehen ist, um durch eine gezielte Einspritzung von Kraftstoff über die Einspritzlöcher ein strahlgeführtes Brennverfahren durch Bildung der Gemischwolke zu realisieren.

Die geometrische Form des Brennraumes wird beeinflusst durch eine im Kolbenboden des Kolbens ausgesparte Kolbenmulde. Die Kolbenmulde liegt dabei etwa gegenüber der Einspritzdüse und stellt im Bereich des oberen Totpunktes der Kolbenbewegung das Restvolumen des Brennraumes dar, in dem sich der eingespritzte Kraftstoff befindet. Die DE 199 22 964 A1 offenbart eine geometrische Gestaltung der Kolbenmulde zur Verbesserung der Gemischbildung mit kegelförmig eingespritztem Kraftstoff. Insbesondere bei selbstzündenden Dieselmotoren hat die geometrische Brennraumform maßgeblichen Anteil an der Qualität der Gemischbildung. Die bekannte Brennraumgestaltung weist dabei eine sogenannte Omega-Kolbenmulde auf, bei der der Kraftstoff durch eine zentrale Anhebung am Grund der Kolbenmulde in die außenliegenden Randbereiche der kreisförmigen Kolbenmulde gerichtet wird, um dort zur Bildung des Kraftstoff/Luft-Gemisches beizutragen.

Bei direkteinspritzenden Otto-Motoren mit Fremdzündung wird bei der Verwendung von Mehrlochinjektoren bei der inneren Gemischbildung der Kraftstoff möglichst spät während des Kom-

pressionshubes des Kolbens eingespritzt, um einen größtmöglichen Schichtungsgrad der Gemischwolke zu erreichen. Im Betrieb solcher Brennkraftmaschinen wird immer wieder festgestellt, daß die Schadstoffemission unerwünscht hoch liegt und auch die Kolbenoberfläche zu Verkokungen neigt. Solche Erscheinungen beruhen auf einer Benetzung der Kolbenoberfläche mit dem eingespritzten Kraftstoff, welche trotz des zum Einspritzzeitpunkts hohen Innendrucks des Zylinders in Folge des geringen Abstandes zwischen Injektor und Kolbenboden nicht zu vermeiden ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Brennkraftmaschine derart auszubilden, daß auch bei einem Betrieb mit später Kraftstoffeinspritzung eine Kraftstoffbenetzung des Kolbens bei der Einspritzung ausgeschlossen ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Außerdem wird ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Otto-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 vorgeschlagen.

Erfindungsgemäß ist die Kolbenmulde mit mehreren im Kolbenboden ausgehöhlten Radialkavitäten in radialer Richtung des Kolbens erweitert. Die Radialkavitäten sind dabei derart über den Umfang der Kolbenmulde verteilt, daß jedem Einspritzloch des Injektors eine Kavität zur Aufnahme des jeweiligen Kraftstoffstrahls dieses Einspritzloches zugeordnet ist. Bei der Kraftstoffeinspritzung werden die innerhalb des Kegelstrahls auch mit radialen Komponenten vom Injektor ausgehenden Einzelstrahlen des eingespritzten Kraftstoffes in den Radialkavitäten aufgenommen und werden von der Oberfläche des Kolbenbodens ferngehalten. Die erfindungsgemäße Gestaltung der Kolbenmulde mit zusätzlichen Radialkavitäten schließt eine Benetzung der Kolbenoberfläche mit Brennstoff aus und verringert so die Schadstoffemission der Brennkraftmaschine. Die Aushöhlung des Kolbenbodens mit Radialkavitäten zur Aufnahme der Kraftstoffstrahlen des Mehrlochinjektors erlauben dabei

eine freie Gestaltung der Kraftstoffeinspritzung beim strahlgeführten Gemischbildungsverfahren und gestatten auch größere Öffnungswinkel des Kegelstrahls. Dabei kann der Kraftstoff bedarfsweise an einem Öffnungswinkel des aus den Kraftstoffstrahlen aller Einspritzlöcher des Mehrlochinjektors gebildeten Kegels von etwa  $130^\circ$  eingespritzt werden. Der Öffnungswinkel beträgt vorzugsweise  $75^\circ$  bis  $85^\circ$ .

Die Erweiterung der Kolbenmulde mit Radialkavitäten und der damit erreichte Ausschluß jeglicher Benetzung der Kolbenoberfläche mit Kraftstoff ermöglicht sehr späte Einspritzzeitpunkte während des Kompressionstaktes. Erfindungsgemäß wird wenigstens in unteren Lastbereichen der Brennkraftmaschine durch die späte Kraftstoffzumessung ein geschichtetes Gemisch mit örtlich unterschiedlichen Kraftstoffkonzentrationen gebildet (Schichtladungsbetrieb), wobei ein Beginn der Kraftstoffzumessung zu einem späteren Zeitpunkt als etwa  $50^\circ$  Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt während des Kompressionstaktes vorgesehen ist. Vorteilhaft erfolgt die Zündung des Kraftstoff/Luft-Gemisches spätestens  $10^\circ$  Kurbelwinkel nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung des Mehrlochinjektors. Die Radialkavitäten nehmen den jeweiligen Kraftstoffstrahl der einzelnen Spritzlöcher des Injektors in sich auf und verlängern die Entfernung der Kolbenmulde von dem jeweiligen Einspritzloch und erlauben daher eine Kraftstoffeinspritzung mit einem hohen Druck von mehr als 80 bar. Vorzugsweise wird der Kraftstoff mit mehr als 160 bar eingespritzt.

Vorteilhaft ist pro Einspritzloch des Injektors eine Radialkavität vorgesehen, in welche der Kraftstoffstrahl des jeweiligen Einspritzloches gerichtet ist und der eingespritzte Kraftstoff mit der Verbrennungsluft gemischt wird. In bevorzugter Gestaltung der Erfindung werden die Radialkavitäten drehsymmetrisch am Umfang der Kolbenmulde verteilt. Ein Kolben mit einer derartig ausgestalteten Kolbenmulde kann mit Mehrlochinjektoren verschiedener Lochanzahl zusammenwirken, welche gleichmäßig am Umfang der Mehrlochdüse verteilt sind

und ein ganzteiliges Vielfaches der Anzahl der drehsymmetrischen Radialkavitäten beträgt. In bevorzugter Ausgestaltung wird die Anzahl der Einspritzlöcher am Umfang der Einspritzdüse mit der Anzahl der Radialkavitäten zur Erweiterung der Kolbenmulde abgestimmt, wobei jedem Einspritzloch eine Radialkavität zugeordnet wird. Dabei kann auch eine Drehwinkelorientierte Einbaulage des Injektors vorgesehen sein, beispielsweise mit einer örtlich unterschiedlichen Kraftstoffkonzentration im Kegelmantel des Kegelstrahls zum Zwecke der Anreicherung des Kraftstoffes im Bereich der Zündkerze, wobei eine auf der Drehwinkel-Orientierung des Injektors Rechnung tragende Gestaltung der Radialkavitäten möglich ist.

In bevorzugter Ausgestaltung wird die Kolbenmulde mit den Radialkavitäten im Kolben radial über einen auf Höhe des Kolbenbodens liegenden Rand der Kolbenmulde hinaus ausgebaucht, wodurch sich die Radialkavitäten nach Art einer Kaverne teilweise unterhalb der Überdeckung des Kolbenbodens erstreckt. Die Kolbenmulde wird dabei vorteilhaft mit einer zentralen Erhebung von ihrem Grund ausgebildet, welche kegelförmig ausgestaltet sein kann, um die Gemischbildung in den Radialkavitäten aktiv zu unterstützen. Die diametral am Rand der Kolbenmulde gegenüberliegenden Radialkavitäten weisen dabei einen etwa Omega-förmigen Querschnitt auf.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert.

Dabei zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt eines Zylinders einer Otto-Brennkraftmaschine,

Fig. 2 eine geschnittene Ansicht einer Einspritzdüse,

Fig. 3 eine Draufsicht auf einen Kolbenboden mit daran ausgebildeter Kolbenmulde.

Die in Fig. 1 im Schnitt dargestellte Brennkraftmaschine 1 umfaßt mehrere Zylinder 2, in denen in an sich bekannter Weise ein Hubkolben 3 längsbeweglich angeordnet ist und mit seinem Kolbenboden 5 einen Brennraum 4 begrenzt. Der Zylinder 2 ist von einem Zylinderkopf 9 verschlossen, in dem ein Injektor 8 zur direkten Einspritzung von Kraftstoff in den Brennraum 4 aufgenommen ist. In dem Zylinderkopf 9 ist außerdem mindestens ein Einlaßventil vorgesehen, durch das beim Ladungswechsel Frischgas in den Brennraum 4 geführt wird zur Bildung von zündfähigem Kraftstoff/Luft-Gemisch mit dem vom Injektor 8 eingespritzten Kraftstoff. Das Kraftstoff/Luft-Gemisch wird von einer Zündkerze 10 gezündet. Der Injektor 8 ist in zentraler Lage des Brennraumes 4 auf einer Zylinderachse 7 des Zylinders 2 angeordnet und spritzt mit seiner in den Brennraum 4 ragenden Einspritzdüse den Kraftstoff kegelförmig in den Brennraum ein. Mit der Verbrennungsluft wird dabei eine kegelförmige Gemischwolke 14 gebildet, wobei sich die Elektroden der Zündkerze 10 im Mantelbereich der kegelförmigen Kraftstoffwolke 14 befinden. In unteren Lastbereichen der Brennkraftmaschine ist ein Schichtladungsbetrieb vorgesehen, wobei der Kraftstoff zu einem späten Zeitpunkt kurz vor der Zündung des Gemisches eingespritzt wird. Dabei liegen im Brennraum örtliche Unterschiede der Kraftstoffkonzentration vor und bei insgesamt magerem Gemisch kann an den Elektroden der Zündkerze 10 kraftstoffreiches und zündfähiges Gemisch bereitgestellt werden.

Zur Erzeugung des Kegelstrahls ist die Einspritzdüse 11 des Injektors 8 mit mehreren Einspritzlöchern an ihrem Umfang ausgestattet, durch die bei einem Einspritzvorgang einzelne Kraftstoffstrahlen in den Brennraum 4 gelangen. Die Einspritzdüse 11 ist dabei vorzugsweise als sogenannte Sitzlochdüse ausgestaltet, wie in Fig. 2 gezeigt ist. Der Injektor 8 weist dabei eine nach innen öffnende Ventalnadel 18 auf. Das

Ventilglied 18 verschließt dabei die Kraftstoffkammer, welche durch Einspritzlöcher 12 am Umfang der Düse 11 Zugang zum Äußeren hat. In der Kraftstoffkammer 20 wird Kraftstoff unter einem hohen Druck von vorzugsweise mehr als 160 bar zur Einspritzung bereitgestellt. Bei Abheben der Injektornadel 18 in Richtung der Längsachse 7 werden die am Umfang der Sitzlochdüse 11 gleichmäßig verteilten Einspritzlöcher 12 freigegeben. Die Einspritzlöcher 12 sind als Kanäle in der Wandung der Einspritzdüse 11 derart ausgebildet, daß jeder Kraftstoffstrahl eines Einspritzloches in einem Winkel zur Längsachse 7 abgegeben wird. Die einzelnen Kraftstoffstrahlen bilden den Mantel eines Kegelstrahls aus.

Fig. 2 zeigt einen Injektor 8, an dessen Injektorspitze 19 eine kegelig zugespitzte Einspritzdüse 11 ausgebildet ist, an deren Umfang gleichmäßig verteilte Einspritzlöcher 12 vorgesehen sind. Zur Ausbildung des Kegelstrahls sind mindestens sechs Einspritzlöcher, vorzugsweise 10 bis 12 Einspritzlöcher 12 am Umfang der Einspritzdüse 11 gleichmäßig verteilt. Um die Qualität der inneren Gemischbildung durch genaue Führung der einzelnen Kraftstoffstrahlen zu verbessern, können die Einspritzlöcher hydroerosiv verrundet sein. Die Einspritzlöcher 12 weisen vorzugsweise einen Durchmesser von weniger als 140  $\mu\text{m}$  auf. Dabei wird ein Verhältnis der Länge der Einspritzlöcher L zu den Durchmessern D von  $L/D < 3$  als vorteilhaft angesehen; das Verhältnis betrifft vorzugsweise etwa 2. Die Injektorspritze 19 des Injektors 8 nach Fig. 2 wird vorzugsweise mit Verhältnissen  $D1/D2$  von 0,4 bis 0,7 und  $L1/L2 = 0,08$  bis etwa 0,22 gestaltet.

Um bei einem strahlgeführten Brennverfahren und insbesondere im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine eine sichere Zündung und saubere Verbrennung sicherzustellen, kann die innere Gemischbildung und Kraftstoffverteilung durch geeignete Luftbewegung im Brennraum unterstützt werden. Die Einlaßluft kann dabei durch entsprechende Gestaltung der Einlaßkanäle in bedarfsweise steuerbaren Drallbewegungen um die Zylinderachse

7 oder Tumblebewegungen in der Ebene der Injektorachse 7 gesteuert werden.

Erfindungsgemäß ist in dem Kolbenboden 5 des in Fig. 1 im Schnitt dargestellten Kolbens 3 eine Kolbenmulde 6 vorgesehen, welche in zentraler Lage gegenüberliegend der Einspritzdüse 11 ausgespart ist. Um einer Benetzung des Kolbenbodens 5 mit Kraftstoff bei sehr später Einspritzung im Schichtladungsbetrieb entgegenzuwirken, wenn der Kolbenboden sich nämlich bereits nahe dem Injektor befindet, ist die Kolbenmulde 6, wie in Fig. 3 dargestellt, mit radialen Kavitäten 16 erweitert. Die im Kolbenboden 5 ausgehöhlten Radialkavitäten 16 sind dabei derart am Umfang der Kolbenmulde 6 verteilt, daß jedem Einspritzloch 12 des Injektors 8 eine Kavität 16 zur Aufnahme des jeweiligen Kraftstoffstrahls 13 zugeordnet ist. Im Ausführungsbeispiel des in Fig. 3 in Draufsicht dargestellten Kolbens 3 sind für einen Injektor mit acht Einspritzlöchern acht Kavitäten 16 vorgesehen, welche gemäß der gleichmäßigen Anordnung der Einspritzlöcher am Umfang der Düse drehsymmetrisch am Umfang der Kolbenmulde 6 angeordnet sind. Die Radialkavitäten 16 erstrecken sich in radialer Richtung bis zu einem gemeinsamen Umkreis 22, dessen Radius  $R_K$  etwa das 0,6 bis 0,9fache, vorzugsweise das 0,8fache des Radius  $R_Z$  des Kolbens 3 bzw. des Zylinders 2 beträgt. Die Radialkavitäten 16 weiten die sich auf dem Umkreis 21 erstreckende Kolbenmulde 6 abschnittsweise im Bereich der Kraftstoffstrahlen des Injektors auf, wodurch für jeden Kraftstoffstrahl 13 eine längere Wegstrecke auch bei injektornaher Position des Kolbens bereitsteht und einer Benetzung der Kolbenoberfläche entgegengewirkt ist.

Die Radialkavitäten 16 sind vorzugsweise derartig in dem Kolben 3 ausgebaucht, daß sich die Kolbenmulde 6 im Bereich der Kavitäten innerhalb des Kolbens 3 radial über einen auf Höhe des Kolbenbodens 5 liegenden Rand 17 hinaus erstreckt. Die radialen Aushöhlungen zur Aufnahme der jeweiligen Kraftstoffstrahlen liegen nach Art einer Kaverne innerhalb des Kolbens

3 unterhalb der Kolbenoberfläche. Vorteilhaft ist die Kolbenmulde 6 mit einer Tiefe von mindestens 5 mm ausgestaltet und weist eine zentrale Erhebung 15 auf, welche den Grund der Kolbenmulde 6 kegelförmig gestaltet und zur Führung der Gemischwolke bei der Gemischbildung in die Radialkavitäten 16 beiträgt.

Die erfindungsgemäßen Radialkavitäten 16 der Kolbenmulde 6 verhindern zum einen die Benetzung der Kolbenoberfläche mit Kraftstoff, so daß auch sehr späte Kraftstoffeinspritzungen im Schichtladungsbetrieb möglich sind und so die Qualität der Gemischbildung erhöht werden kann. Darüber hinaus tragen die erfindungsgemäßen Radialkavitäten 16 in radialer Richtung der Strahlausbreitung des Injektor-Kegelstrahls zur Wahrung des konstruktiv geforderten Verdichtungsverhältnisses der jeweiligen Brennkraftmaschine bei. Das Verdichtungsverhältnis bewegt sich vorteilhaft bei Saugmotoren zwischen 10 und 13 und bei aufgeladenen Brennkraftmaschinen zwischen 8,5 und 11.

Die Ausbildung der Kolbenoberfläche mit Radialkavitäten in der Kolbenmulde erlaubt eine freie Wahl der Öffnungswinkel des Kegelstrahls des Injektors 8 im Hinblick auf die zu erreichende Verbrennungsqualität. Ein Strahlwinkel zwischen den einzelnen Stahllachsen der Kraftstoffstrahlen gemessen in der Injektorachse von  $60^\circ$  bis  $130^\circ$  ist frei wählbar, wobei ein Öffnungswinkel des Kegelstrahls von  $75^\circ$  bis  $85^\circ$  als vorteilhaft gesehen wird.

Der Injektor kann mit Heizelementen zur Kraftstoffvorwärmung ausgestattet sein oder auch Einrichtungen zur Zuführung verschiedener Kraftstoffarten aufweisen (Bi-Fuel-Ventil), beispielsweise zur Zuführung leichtflüchtigen Startkraftstoffes für den Kaltstart.

In einer Gesamtabstimmung der Brennkraftmaschine erscheint zur Verbesserung der Gemischbildung mit einem Kolben mit Radialkavitäten in der Kolbenmulde ein Verhältnis der Durchmes-

ser des Einspritzventils zur Zylinderbohrung von 0,3 bis 0,38 und ein Verhältnis des Durchmessers des Auslaßventils zur Zylinderbohrung von 0,28 bis 0,32 für zweckmäßig. Die Einlaßventile und die Auslaßventile liegen dabei vorteilhaft in einem Verhältnis von 1,02 bis 1,1 zueinander. Mit einem hohen Einspritzdruck von vorteilhaft mehr als 160 bar kann eine genaue und sehr späte Kraftstoffzumessung erfolgen, da die erfindungsgemäßen Radialkavitäten auch bei einem hohen Druck eine Benetzung der Kolbenoberfläche verhindern. Die diametral in der Kolbenmulde 6 gegenüberliegenden Kavitäten 16 bilden dabei eine Omega-Form, welche zur Aufbereitung des in die jeweilige Radialkavität 6 eingespritzten Kraftstoffstrahls beiträgt. Ein Verhältnis der Kanallänge der in Fig. 2 dargestellten Einspritzlöcher 12 zu dem Einspritzdruck sollte weniger als  $0,25 \times 10^{-9}$  m/Pa betragen.

Zur Verbesserung der Entflammbarkeit der Gemischwolke 14 im Schichtladungsbetrieb wird die Zündkerze zweckmäßig zwischen zwei Kraftstoffstrahlen 13 des Injektors positioniert. Bei Verwendung eines Zylinderkopfes mit vier Ventilen sollte sich die Zündkerze zwischen den Auslaßventilen befinden. Die Zündkerze kann dabei mit Drehwinkel-orientierter Massenelektrode eingebaut werden, wobei zur Stabilisierung der Zündung auch mehrere Zündkerzen und insbesondere eine Wechselspannungszündanlage mit variabler Funkendauer Verwendung finden kann.

Die erfindungsgemäße Brennraumgeometrie mit Radialkavitäten zur Erweiterung der Kolbenmulde und Aufnahme der einzelnen Kraftstoffstrahlen 13 eines Mehrlochinjektors 8 erlaubt ohne Benetzung des Kolbens eine sehr späte Kraftstoffeinspritzung und eine rasche Zündung des Kraftstoff/Luft-Gemisches spätestens  $10^\circ$  Kurbelwinkel nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung.

Patentansprüche

1. Direkteinspritzende Otto-Brennkraftmaschine mit pro Zylinder (2) einem Injektor (8) zur Kraftstoffeinspritzung in einem Brennraum (4), welcher von einem im Zylinder längsbewegbar angeordneten Kolben begrenzt ist, wobei der Injektor (8) eine Einspritzdüse (11) mit mehreren, über ihren Umfang verteilten Einspritzlöchern (12) aufweist, deren Kraftstoffstrahlen (13) bei einem Einspritzvorgang eine kegelförmige Kraftstoffwolke (14) mit separat zuführbarer Verbrennungsluft bilden, und wobei in einem Kolbenboden (5) des Kolbens (3) etwa gegenüber der Einspritzdüse (11) liegend eine dem Brennraum (4) erweiternde Kolbenmulde ausgespart ist,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Kolbenmulde (6) mit mehreren im Kolbenboden (5) ausgehöhlten Radialkavitäten (16) zur Aufnahme eingespritzten Kraftstoffs radial erweitert ist, wobei die Radialkavitäten (16) derart über den Umfang der Kolbenmulde (6) verteilt sind, daß jedem Einspritzloch (12) des Injektors (8) eine Kavität (16) zur Aufnahme des jeweiligen Kraftstoffstrahls (13) zugeordnet ist.
2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Kavitäten (16) drehsymmetrisch am Umfang der Kolbenmulde (6) verteilt sind.

3. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbenmulde (6) in zentraler Lage des Kolbenbodens (5) und der Injektor (8) auf einer Zylinderachse (7) des Zylinders (2) angeordnet sind.
4. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbenmulde (6) im Kolben (3) radial über einem auf Höhe des Kolbenbodens (5) liegenden Rand (17) der Kolbenmulde (6) hinausgehend ausgehöhlt ist.
5. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbenmulde (6) in einer zentralen Erhebung (15) von ihrem Grund ausgebildet ist.
6. Brennkraftmaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebung (15) kegelförmig ausgestaltet ist.
7. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Injektor (8) als Sitzlochdüse mit einem nach innen öffnenden Ventilglied (18) ausgebildet ist.
8. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Radialkavitäten (16) der Kolbenmulde (6) innerhalb eines Umkreises mit einem Radius ( $R_K$ ) liegen, welcher etwa das 0,6 bis 0,9fache, vorzugsweise das 0,8fache des Radius ( $R_Z$ ) des Kolbens (3) beträgt.
9. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Öffnungswinkel ( $\alpha$ ) eines aus den Kraftstoffstrahlen (13) aller Einspritzlöcher (12) gebildeten Kegels  $60^\circ$

bis 130°, vorzugsweise 75° bis 85° beträgt.

10. Verfahren zum Betrieb einer Otto-Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß wenigstens in unteren Lastbereichen der Brennkraftmaschine (1) ein geschichtetes Gemisch mit örtlich unterschiedlichen Kraftstoffkonzentrationen gebildet wird, wobei die Einspritzung des Kraftstoffes zu einem späteren Zeitpunkt während des Kompressionstaktes des Zylinders (2) als etwa 50° KW vor dem oberen Totpunkt beginnt.
11. Verfahren nach Anspruch 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Zündung des Kraftstoff/Luft-Gemisches spätestens 10° KW nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung erfolgt.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß der Kraftstoff mit einem Druck von mehr als 80 bar, vorzugsweise weniger als 160 bar eingespritzt wird.

Fig. 1

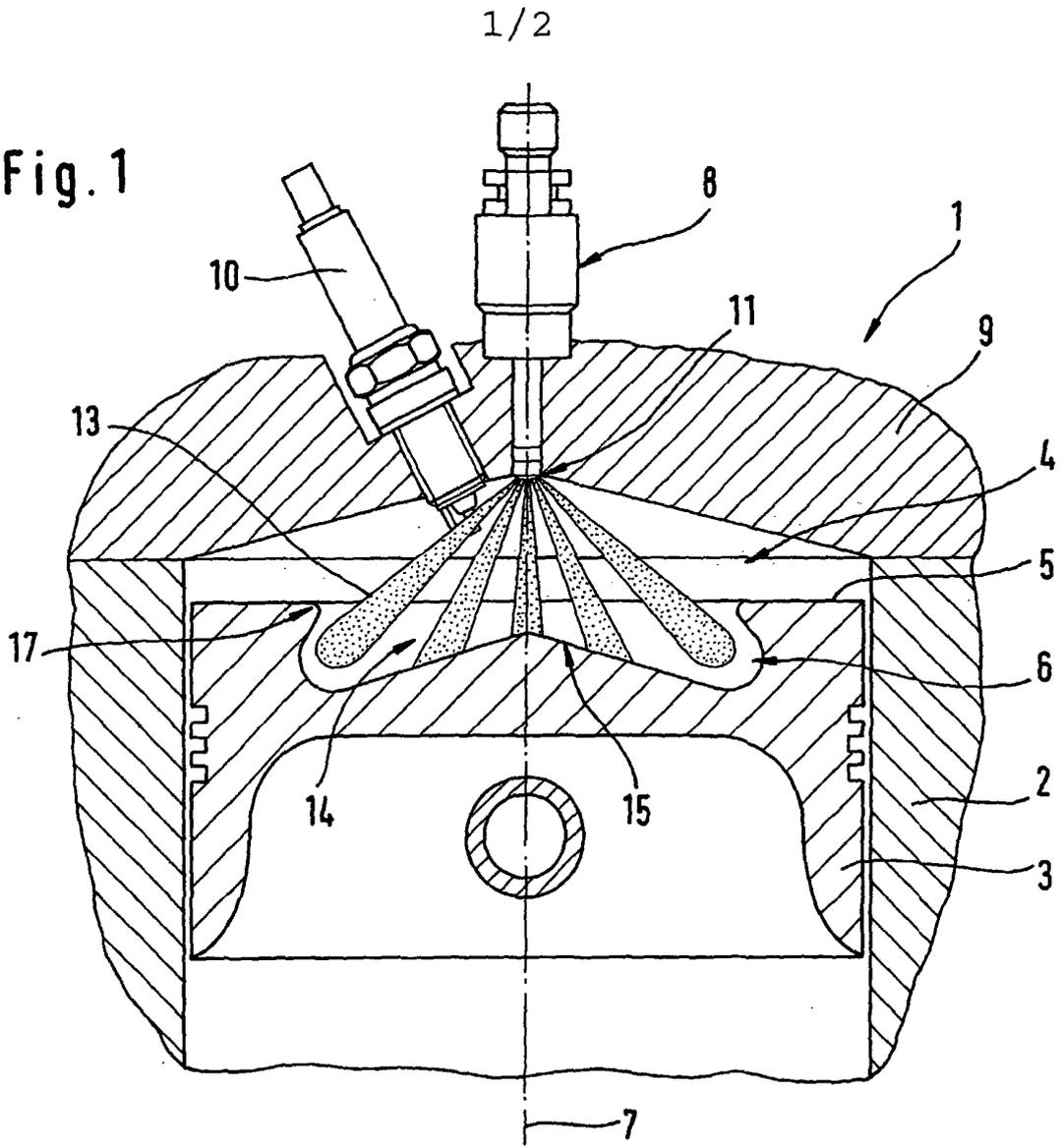
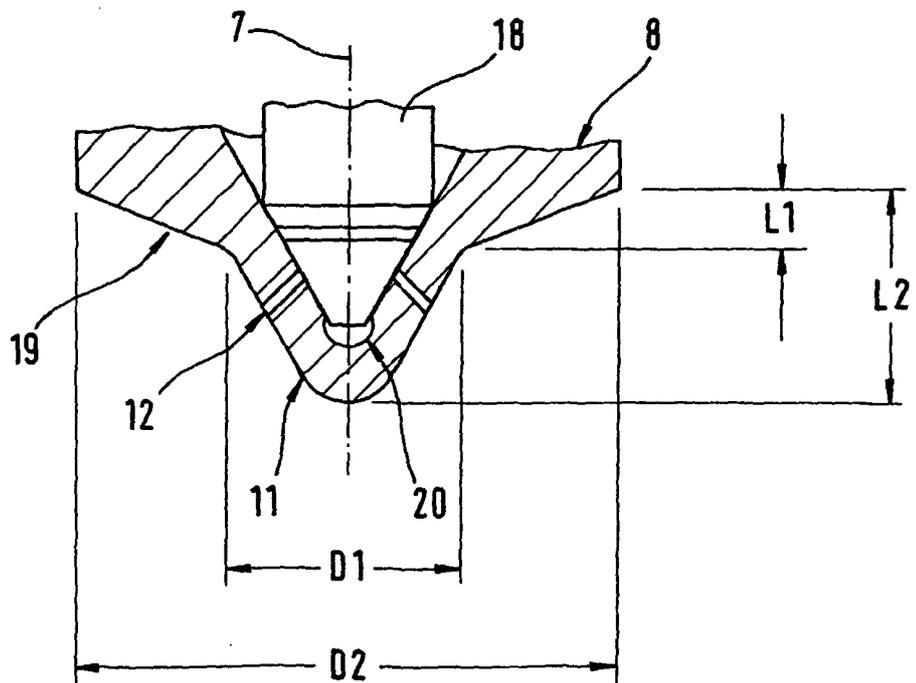


Fig. 2



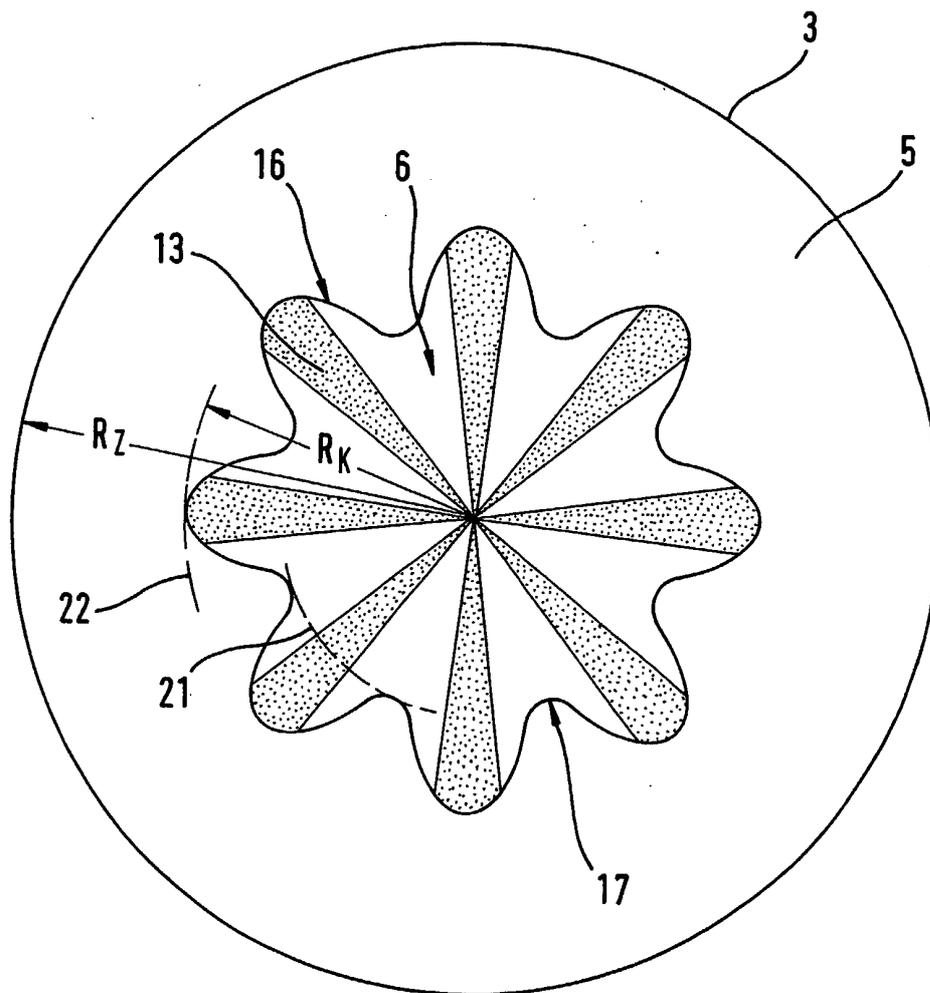


Fig. 3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/12732

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 F02F3/26 F02B23/10 F02B17/00

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)  
 IPC 7 F02F F02B F02M

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 practical, search terms used)  
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 0130, no. 45 (M-792), 2 February 1989 (1989-02-02) & JP 63 253112 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD; others: 01), 20 October 1988 (1988-10-20) abstract	1-4, 10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 10, 31 August 1998 (1998-08-31) & JP 10 141135 A (TOYOTA MOTOR CORP), 26 May 1998 (1998-05-26) abstract	1-4, 10
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.       Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

<p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*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)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>*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</p> <p>*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</p> <p>*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.</p> <p>* &amp; * document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search  <b>17 February 2004</b>	Date of mailing of the international search report  <b>23/02/2004</b>
--	---

Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  <b>Wassenaar, G</b>
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/12732

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 04 463 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 12 August 1999 (1999-08-12) cited in the application figures 1,6-8 abstract column 3, line 1 - line 20 -----	1,5-7,10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 08, 30 June 1999 (1999-06-30) & JP 11 082028 A (TOYOTA MOTOR CORP), 26 March 1999 (1999-03-26) abstract -----	1,5,8-10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP 03/12732

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 63253112	A	20-10-1988	JP 2582364 B2	19-02-1997
JP 10141135	A	26-05-1998	NONE	
DE 19804463	A	12-08-1999	DE 19804463 A1	12-08-1999
JP 11082028	A	26-03-1999	NONE	

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 03/12732

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 F02F3/26 F02B23/10 F02B17/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 F02F F02B F02M

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, PAJ

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 0130, Nr. 45 (M-792), 2. Februar 1989 (1989-02-02) & JP 63 253112 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD; others: 01), 20. Oktober 1988 (1988-10-20) Zusammenfassung	1-4, 10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1998, Nr. 10, 31. August 1998 (1998-08-31) & JP 10 141135 A (TOYOTA MOTOR CORP), 26. Mai 1998 (1998-05-26) Zusammenfassung	1-4, 10

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\* älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Februar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/02/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Wassenaar, G

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 04 463 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 12. August 1999 (1999-08-12) in der Anmeldung erwähnt Abbildungen 1,6-8 Zusammenfassung Spalte 3, Zeile 1 - Zeile 20 -----	1,5-7,10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1999, Nr. 08, 30. Juni 1999 (1999-06-30) & JP 11 082028 A (TOYOTA MOTOR CORP), 26. März 1999 (1999-03-26) Zusammenfassung -----	1,5,8-10

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Patentzeichen

PCT/EP 03/12732

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 63253112	A	20-10-1988	JP 2582364 B2	19-02-1997
JP 10141135	A	26-05-1998	KEINE	
DE 19804463	A	12-08-1999	DE 19804463 A1	12-08-1999
JP 11082028	A	26-03-1999	KEINE	