

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 698 775 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
06.09.2006 Patentblatt 2006/36

(51) Int Cl.:
F02D 35/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05101640.0**

(22) Anmeldetag: **03.03.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

- **Roettger, Daniel**
4731 Eynatten (BE)
- **Karvounis, Evangelos**
52070 Aachen (DE)
- **Tumelaire, Charles**
52076 Aachen (DE)

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

(74) Vertreter: **Drömer, Hans-Carsten et al**
Ford-Werke Aktiengesellschaft,
Patentabteilung NH/DRP,
Henry-Ford-Strasse 1
50725 Köln (DE)

(72) Erfinder:
• **Vigild, Christian Winge**
52457 Aldenhoven (DE)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Regelung des Verbrennungsverhaltens einer Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur rückgekoppelten Regelung des Betriebs einer Brennkraftmaschine (10). Bei dem Verfahren werden ein Klopfsensor-Signal **K** sowie der Kurbelwellenwinkel θ in einem ersten Modul (20) verstärkt und gefiltert. In einem nachgeschalteten Modul (21) wird aus diesen Größen ein die Verbrennung charakterisierender Index **X** berechnet, welcher von einem Regelungsmodul (22) zur rückgekoppelten Regelung der Verbrennung in der Brennkraftmaschine (10) verwendet werden kann. Der Index **X** kann insbesondere als derjenige Kurbelwellenwinkel aus einem Winkelfenster um den oberen Totpunkt eines Kolbens definiert werden, bei welchem das Integral des quadrierten Klopfsensor-Signals **K** die Hälfte seines Maximalwertes erreicht.

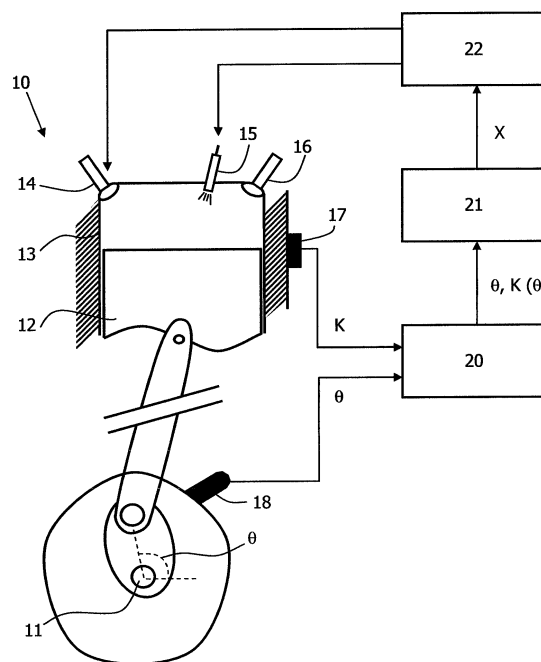


Fig. 1

EP 1 698 775 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Charakterisierung des Verbrennungsverhaltens einer Brennkraftmaschine sowie ein Regelungssystem und ein Verfahren zur rückgekoppelten Regelung der Verbrennung einer Brennkraftmaschine, welche auf dem erstgenannten Verfahren basieren.

[0002] Herkömmliche Regelungssysteme für die Kraftstoffinjektion in Brennkraftmaschinen wie z. B. Dieselmotoren arbeiten typischerweise in einem offenen Regelkreis. D. h., daß der Injektionszeitpunkt und die Pulsbreite der Injektion aus fest vorgegebenen Kennfelder bzw. Tabellenspeichern entnommen werden, die im Motorregler gespeichert sind. Derartige Systeme zeigen zwar ein sehr schnelles Regelverhalten, sind jedoch andererseits nicht sehr robust gegenüber Motortoleranzen, da die Regelungsstrategie im Falle von Störungen nicht angepaßt werden kann. Wenn sich beispielsweise die Durchflußcharakteristik eines Injektors in einem Dieselmotor in Folge von Verschleißerscheinungen ändert, wird die verwendete Pulsbreite des Injektors den Motor nicht mehr mit der erforderlichen Kraftstoffmenge versorgen. Die Folge hiervon können höhere Werte für die Motoremissionen, den Kraftstoffverbrauch und die Geräuschentwicklung oder sogar ein Motorschaden sein. Aus diesen Gründen ist es wünschenswert, im Rahmen der Verbrennungsregelung bei einer Brennkraftmaschine eine Rückkopplung vorzusehen.

[0003] Eine derartige rückgekoppelte Regelung einer Brennkraftmaschine erfordert jedoch die Verfügbarkeit eines Rückkopplungssignals, welches das Verbrennungsverhalten charakterisieren kann. Diesbezüglich sind Messungen des Zylinderinnendruckes vorgeschlagen und verschiedentlich untersucht worden. Ein Nachteil solcher Messungen besteht indes darin, daß diese einen Sensor pro Zylinder erfordern und daher verhältnismäßig kostenaufwendig sind. Darüber hinaus zeigen die derzeit verfügbaren Sensoren für den Zylinderinnendruck ein Driftverhalten und eine verhältnismäßig kurze Lebensdauer. Nicht zuletzt stellt der bei den derzeit verfügbaren Sensoren erforderliche direkte Zugang zu den Brennkammern ein Problem dar.

[0004] Die aus dem Rückkopplungssignal gewonnenen Verbrennungsinformationen, im wesentlichen die Verbrennungslage und -intensität, können genutzt werden, um Regelgrößen der Einspritzung sowie der Zylinderladungszusammensetzung, zu korrigieren. Auf diese Weise können z. B. Lebensdauerdrift von Sensoren und Aktuatoren wie Luftmassensensor und Kraftstoffinjektor kompensiert werden.

[0005] Vor diesem Hintergrund war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Mittel für eine einfache und zugleich robuste Regelung des Verbrennungsverhaltens einer Brennkraftmaschine bereitzustellen.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. 9 sowie durch ein Regelungssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst.

[0007] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0008] Gemäß ihrem ersten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Charakterisierung des Verbrennungsverhaltens einer Brennkraftmaschine, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß dieses die Berechnung eines Indexes X basierend auf dem Verlauf eines Klopfsensor-Signals umfaßt. Klopfsensor-Signale werden bei vielen Brennkraftmaschinen routinemäßig erfaßt, um eine vorzeitige Selbstzündung ("Klopfen") des Motors zu erkennen und gegebenenfalls geeignete Gegenmaßnahmen hiergegen zu veranlassen. Verschiedene Arten von Klopfsensor-Signalen sind im Stand der Technik bekannt und für das vorliegende Verfahren geeignet. Insbesondere kann das Klopfsensor-Signal mechanische Schwingungen der Brennkraftmaschine erfassen, die durch die Verbrennung in den Zylindern erzeugt werden. Der "Verlauf" des Klopfsensor-Signals kann sowohl in Abhängigkeit von der Zeit als auch insbesondere von dem zugehörigen Kurbelwellenwinkel der Brennkraftmaschine beschrieben werden.

[0009] Wie Untersuchungen gezeigt haben, läßt sich mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren ein Index X gewinnen, welcher das Verbrennungsverhalten überraschend genau charakterisiert. Wichtig hierbei ist, daß der Index X von einem mehr oder weniger langen Verlauf des Klopfsensor-Signals und nicht nur von Einzelwerten eines Sensorsignals abhängt. Vorteilhaft an dem Verfahren ist im Übrigen, daß das Klopfsensor-Signal verhältnismäßig einfach und robust zu ermitteln ist bzw. in vielen Kraftfahrzeugen ohnehin schon zur Verfügung steht.

[0010] Wie bereits erwähnt, kann das Klopfsensor-Signal insbesondere in Abhängigkeit vom (parallel ermittelten) Kurbelwellenwinkel erfaßt werden. Der Kurbelwellenwinkel hängt unmittelbar mit dem Zustand der Brennkraftmaschine bzw. der Stellung der Motorzylinder zusammen, so daß die wechselseitige Zuordnung von Kurbelwellenwinkel und Klopfsensor-Signal das Verbrennungsverhalten besonders aussagekräftig beschreiben kann.

[0011] Das beschriebene Verfahren kann prinzipiell mit zeitkontinuierlichen Signalen bzw. analogen Signalen durchgeführt werden. Typischerweise erfolgt jedoch die Signalerfassung und -verarbeitung zeitdiskret und digitalisiert. In diesem Falle wird der Kurbelwellenwinkel vorzugsweise mit einer Auflösung von weniger als 1° , besonders bevorzugt von weniger als 0.5° ermittelt. Die in den Rohdaten vorhandene Auflösung des Kurbelwellenwinkels wird in erster Linie durch die Abtastrate bestimmt und liegt typischerweise deutlich höher als die vorstehend genannten Werte. Die erforderliche feinere Auflösung des Kurbelwellenwinkels wird dann vorzugsweise durch Interpolation bzw. Extrapolation aus den vorhandenen Meßdaten gewonnen.

[0012] Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens wird das Klopfsensor-Signal nur in einem Intervall seines Definitionsbereiches berücksichtigt, das für einen ausgewählten Zylinder der Brennkraftmaschine charakteristisch ist. Insbe-

sondere kann das Klopfsensor-Signal nur in einem vorgegebenem Winkelintervall um den oberen Totpunkt zwischen Verdichtungs- und Verbrennungstakt des ausgewählten Zylinders herum berücksichtigt werden, um verbrennungsrelevante Informationen für diesen Zylinder zu erfassen und Störungen durch andere Ereignisse auszublenden.

[0013] Bei einer bevorzugten Realisierung des Verfahrens wird der Index X aus einer vom Kurbelwellenwinkel θ abhängigen "Signalenergie" $E(\theta)$ des (ebenfalls vom Kurbelwellenwinkel θ bzw. τ abhängigen) Klopfsensor-Signals K (θ) berechnet, wobei $E(\theta)$ gemäß der folgenden Formel definiert ist:

$$E(\theta) = \int_{\theta_0}^{\theta} K(\tau)^2 d\tau \quad (1)$$

[0014] Hierin bedeutet θ_0 eine vorgegebene (untere) Integrationsgrenze. Wenn das Klopfsensor-Signal K wie vorstehend beschrieben nur in einem Intervall betrachtet wird, entspricht θ_0 typischerweise der unteren Grenze dieses Intervalls. Des Weiteren versteht es sich, daß Gleichung (1) bei einer zeitdiskreten Verarbeitung der Signale die entsprechende diskretisierte Formulierung umfassen soll.

[0015] Die vorstehend definierte Signalenergie $E(\theta)$ wird vorzugsweise bandpaßgefiltert und/oder normiert, bevor sie zur Berechnung des Indexes X weiterverwendet wird.

[0016] Basierend auf der oben eingeführten Signalenergie kann ein geeigneter Index X des Verbrennungsverhaltens der Brennkraftmaschine für einen vorgegebenen Wert p ($0 \leq p \leq 100$) zum Beispiel definiert werden durch die Formel

$$X = X_p = \min \left\{ \theta \mid E(\theta) \geq \frac{p}{100} \max_{\tau} (E(\tau)) \right\} \quad (2)$$

[0017] In diesem Falle entspricht der Index $X = X_p$ somit dem Kurbelwellenwinkel, bei welchem die Signalenergie E zum ersten Mal p Prozent ihres Maximalwertes überschreitet. Der für $p = 50$ gebildete Index X_{50} stellt dabei als sog. "Energieschwerpunkt" eine besonders aussagekräftige Größe dar.

[0018] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur rückgekoppelten Regelung der Verbrennung in einer Brennkraftmaschine, bei welchem ein Rückkopplungssignal durch einen Index X gemäß einem der oben beschriebenen Verfahren gebildet wird. Wie erläutert wurde, ist der Index X einerseits einfach zu gewinnen und andererseits sehr aussagekräftig in Bezug auf die Verbrennung, so daß er eine einfache und robuste Regelung des Betriebs der Brennkraftmaschine ermöglicht. Von dem Verfahren beeinflusste Steuersignale können dabei insbesondere der Zeitpunkt bzw. die Zeitpunkte, die Anzahl, die Pulsbreite(n) der Kraftstoffinjektionen, der Zündzeitpunkt, die Ventilöffnungs- und Schließzeiten, die Abgasrückführung, die Stellung der Drosselklappe od. dgl. sein.

[0019] Die Erfindung betrifft ferner ein Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine, welches einen Eingang für das Signal eines Klopfensors enthält und dahingehend ausgebildet ist, ein Verfahren der vorstehend erläuterten Art durchzuführen. D.h., daß das Regelungssystem einen Index X basierend auf dem Verlaufe eines Klopfsensor-Signals berechnen und vorzugsweise als Rückkopplungssignal für eine rückgekoppelte Regelung der Verbrennung verwenden kann. Bei dem Klopfsensor handelt es sich um einen Körperschall-Beschleunigungssensor, wie z. B. ein Piezo-Drucksensor, welcher am Motorblock angebracht ist, um mechanische Schwingungen aufzuzeichnen. Das Regelungssystem kann im Übrigen in bekannter Weise realisiert werden, beispielsweise durch einen Mikroprozessor mit zugehörigen Komponenten wie Speicher und Schnittstellen sowie mit geeigneter Software.

[0020] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren beispielhaft näher erläutert.
Es zeigen:

Fig. 1 schematisch das Zusammenwirken einer Brennkraftmaschine mit einem erfindungsgemäßen Regelungssystem;

Fig. 2 die Abhängigkeit dreier verschiedener charakteristischer Größen für das Verbrennungsverhalten einer Brennkraftmaschine bei variierendem Beginn der Injektor-Aktivierung (BOA) für 35% Abgasrückführung;

Fig. 3 den Verlauf der Wärmeabgabe in einem Zylinder bei der Versuchsserie von Figur 2;

Fig. 4 die Abhängigkeit dreier verschiedener charakteristischer Größen entsprechend Figur 2 bei einer Abgasrück-

führung von 20%, und

Fig. 5 den Verlauf der Wärmeabgabe in einem Zylinder bei der Versuchsserie von Figur 4.

[0021] In Figur 1 ist schematisch eine Brennkraftmaschine 10 mit (mindestens) einem Zylinder 13 und einem darin auf und ab beweglichen Kolben 12 dargestellt. Bei der Brennkraftmaschine handelt es sich z. B. um einen Dieselmotor, ohne daß die Erfindung jedoch hierauf eingeschränkt wäre. Der Kolben 12 ist in bekannter Weise über eine Pleuelstange mit der Kurbelwelle 11 verbunden, wobei ein Kurbelwellenwinkel-Sensor 18 den Kurbelwellenwinkel θ mißt. Der Zylinder weist ferner ein Einlaßventil 14 und ein Auslaßventil 16 für Frischluft bzw. Abgase sowie einen Kraftstoffinjektor 15 zur Direktinjektion von Kraftstoff in die Brennkammer auf.

[0022] Am Motorblock ist ein Klopfsensor 17 angeordnet, welcher beispielsweise als Drucksensor mit Piezo-Aufnehmern ausgebildet sein kann. Durch den Klopfsensor 17 werden von der Verbrennung verursachte Schwingungen des Motorblocks erfaßt. Vorzugsweise wird das Signal des Klopfensors 17 unmittelbar tiefpaßgefiltert, um Alias-Effekte zu vermeiden (vgl. Ch. Vigild, A. Chevalier, E. Hendricks: "Avoiding signal aliasing in event-based engine control", SAE Paper No: 2000-01-0268).

[0023] Das - ggf. tiefpaßgefilterte - Signal K des Klopfensors 17 sowie der Kurbelwellenwinkel θ vom Sensor 18 werden von einem Verstärkungs- und Filtermodul 20 abgetastet, verstärkt und gefiltert. Die Abtastung der Signale kann dabei entweder im Zeitbereich oder im Kurbelwellenwinkelbereich erfolgen. Bei der Abtastung im Zeitbereich liegt ein festes Zeitintervall, bei der Abtastung im Kurbelwellenwinkelbereich ein fester Kurbelwellenwinkel zwischen den Abtastpunkten. Selbstverständlich kann die Abtastung auch nach anderen Schemata erfolgen und die Abtaststrategie beispielsweise (im Winkelbereich oder im Zeitbereich) variieren. Im letztgenannten Fall kann insbesondere in bestimmten interessierenden Signalbereichen eine hohe Signalauflösung erreicht werden.

[0024] Für die gewünschte Charakterisierung des Verbrennungsverhaltens durch das Klopfsensor-Signal K ist eine korrekte Synchronisation dieses Signals K mit dem Kurbelwellenwinkel θ von hoher Bedeutung. In der Regel wird jedoch der Kurbelwellenwinkel θ durch eine Zahnscheibe am Schwungrad erfaßt, bei der - bedingt durch den Zahnabstand - nur Winkelauflösungen von typischerweise 3°, 5°, 6° oder 10° erhalten werden. Demgegenüber werden vorliegend höhere Auflösungen bis hin zu 0.1 ° oder weniger benötigt. Der Kurbelwellenwinkel θ wird daher im Modul 20 durch Interpolation oder Extrapolation mit der erforderlichen Feinheit aus den Rohdaten ermittelt. Eine Interpolation kann dabei angewendet werden, wenn der Kurbelwellenwinkel nicht sofort benötigt wird und daher als Zwischenwert zweier aufeinander folgender Abtastpunkte berechnet werden kann. Soll dagegen eine sofortige Verwendung des Kurbelwellenwinkels θ erfolgen, so muß er aus den vorangehenden Abtastpunkten extrapoliert werden.

[0025] Die verstärkten und gefilterten Signale θ , $K(\theta)$ des Kurbelwellenwinkels und des Klopfensors werden an ein Verbrennungsprofil-Modul 21 zur Abschätzung des Verbrennungsprofils bzw. zur Ermittlung von hierfür charakteristischen Indizes X weitergeleitet. Die vom Modul 21 berechneten Signale bzw. Indizes werden vom anschließenden Regelungsmodul 22 als Rückkopplungssignale zur rückgekoppelten Regelung der Brennkraftmaschine 10 verwendet. Nachfolgend wird ein bevorzugtes, im Modul 21 realisiertes Verfahren zur Berechnung eines Indexes X detaillierter erläutert:

[0026] Bei diesem Verfahren wird zunächst aus dem vom Modul 20 bereitgestellten Klopfsensor-Signal $K(\theta)$ für einen ausgewählten Zylinder der Brennkraftmaschine 10 ein interessierender Bereich extrahiert, was z.B. durch Beschränkung des Signals auf ein (Winkel-) Fenster $J = [\theta_{start}; \theta_{end}]$ geschehen kann gemäß der Formel:

$$K_J(\theta) = \begin{cases} K(\theta) & , \quad \theta \in J = [\theta_{start}; \theta_{end}] \\ 0 & , \quad \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

[0027] Als nächstes wird die enthaltene Signalenergie $E(\theta)$ hieraus berechnet gemäß der Formel:

$$E(\theta) = \int_{\theta_0}^{\theta} K_J(\tau)^2 d\tau \approx E_{N(\theta)} = \sum_{n=N(\theta_0)}^{N(\theta)} K_{J,n}^2 \Delta\theta_n \quad (4)$$

[0028] Dabei ist θ_0 ein vorgegebener Startwinkel der Integration, der typischerweise gleich der unteren Intervallgrenze

ist: $\theta_0 = \theta_{\text{start}}$. In der diskretisierten Form dieser Formel definiert die Variable $\Delta\theta_n$ den Abtast-Abstand zwischen den Kurbelwellenwinkel-Abtastungen Nummer (n-1) und n, $N(\theta_0)$ bzw. $N(\theta)$ sind die Nummern der Abtastung für den Kurbelwellenwinkel θ_0 bzw. θ , und $K_{J,n}$ ist das Klopfsensor-Signal K der n-ten Abtastung. Im einfachsten Falle konstanter Abtast-Distanzen ist $\Delta\theta_n = 1$. Nachfolgend wird die diskretisierte Form von Gleichung (4) der weiteren Betrachtung zugrunde gelegt, wobei alle Überlegungen jedoch analog auch für die kontinuierliche Fassung gelten.

[0029] Das Energiesignal $E_{N(\theta)}$ aus Gleichung (4) wird sodann vorteilhafterweise digital bandpaßgefiltert und normiert gemäß der Formel

$$E_{N(\theta)}^F = \frac{F_{BP}(E_{N(\theta)})}{\max_{\tau \in J} [F_{BP}(E_{N(\tau)})]} \quad (5)$$

[0030] Hierin repräsentiert die Funktion F_{BP} die Bandpaßfilterung, die entweder vom Vorwärtstyp oder vom Vorwärts-/Rückwärtstyp sein kann. Filter vom Vorwärtstyp filtern ein Signal nur in Vorwärtsrichtung, das heißt der Winkel θ wächst bei einem derartigen Filter inkrementell. Vorwärtsfilter benötigen daher einen geringeren Rechenaufwand und können für Online-Berechnungen eingesetzt werden, beispielsweise für Berechnungen aktueller Ereignisse. Aufgrund der Natur dieser Filter führen diese allerdings zu einer Phasenverschiebung des Eingangssignals. Filter vom Vorwärts-/Rückwärtstyp filtern dagegen ein Signal sowohl in Vorwärts- als auch in Rückwärtsrichtung, so daß diese Phasenverschiebungen kompensieren können. Sie erfordern jedoch üblicherweise einen höheren Rechenaufwand als entsprechende Vorwärtsfilter und können nur offline eingesetzt werden, z. B. in Berechnungen zwischen Verbrennungsergebnissen.

[0031] Der im Nenner von Gleichung (5) stehende Maximalwert wird über das gesamte betrachtete Kurbelwellenwinkelintervall J gebildet. Nachfolgend wird zur Vereinfachung das auf die Bandpaßfilterung und Normierung hinweisende Superskript F fortgelassen und weiterhin nur das Energiesymbol E verwendet, wobei es sich jedoch versteht, daß dieses (auch) ein bandpaßgefiltertes und normiertes Signal bezeichnen soll.

[0032] Aus den Energiesignalwerten im abgetasteten Winkelintervall J läßt sich ein Signalenergievektor definieren gemäß

$$\vec{E} = (E_{N(\theta_{\text{start}})}, E_{N(\theta_{\text{start}})+1}, \dots, E_{N(\theta_{\text{end}})}), \quad (6)$$

wobei $N(\theta_{\text{end}}) - N(\theta_{\text{start}})$ die Gesamtzahl der Abtastpunkte ist.

[0033] Basierend auf den oben erläuterten Größen werden nunmehr Indizes definiert, welche das Verbrennungsverhalten des Motors charakterisieren. Entsprechend ihrer Definition werden diese Indizes auch als "Energieschwerpunkt"-Indizes bezeichnet. Ein wichtiges Merkmal der Indizes ist, daß diese sich auf die Verteilung der Signalenergie in dem gegebenen Signalfenster J konzentrieren statt auf einzelne Signalwerte bzw. einzelne Stellen wie beispielsweise auf abrupte Änderungen der Signalenergie (welche intuitiv für die Abschätzung des maximalen Druckgradienten im Zylinder nahe liegen). Ein weiterer Vorteil der Energieschwerpunkt-Indizes liegt darin, daß diese auf einer Signalintegration beruhen und daher wenig anfällig für Rauschprobleme sind.

[0034] Die allgemeine Formel für die Definition der Energieschwerpunkt-Indizes X_p läßt sich wie folgt schreiben (dies entspricht der diskretisierten Formulierung von Gleichung (2)):

$$X = X_p = \min \left\{ \theta \mid E_{N(\theta)} \geq \frac{p}{100} \max_{\tau \in J} (E_{N(\tau)}) \right\}. \quad (7)$$

[0035] Für einen gegebenen Prozentsatz p mit $0 \leq p \leq 100$ entspricht der Index X_p somit dem minimalen Kurbelwellenwinkel, bei welchem p Prozent der gesamten Signalenergie erreicht werden. Von besonderer Bedeutung sind diesbezüglich die vier Indizes

X_{10} , bei welchem 10% der gesamten Signalenergie erreicht werden;

X_{50} , bei welchem 50% der gesamten Signalenergie erreicht werden und welcher daher auch als "Schwerpunkt" der Signalenergie bezeichnet wird;

X_{90} , bei welchem 90% der gesamten Signalenergie erreicht werden; und

$E_{\max} = \max(E_{N(\theta)})$, d. h. der Wert der gesamten Signalenergie.

[0036] Falls $M \geq 1$ Klopfensoren verwendet werden, können die oben erläuterten Indizes durch die mit der jeweiligen gesamten Signalenergie $E_{\max}^{(i)}$ gewichteten einzelnen Indizes $X_p^{(i)}$ ersetzt werden gemäß folgender Formel

$$\bar{X}_p = \frac{\sum_{i=1}^M E_{\max}^{(i)} X_p^{(i)}}{\sum_{i=1}^M E_{\max}^{(i)}} \quad (8)$$

[0037] Zusammenfassend werden somit im Modul 21 von Figur 1 aus den verstärkten und gefilterten Klopfsensor-Signalen $K(\theta)$ die für die Verbrennung charakteristischen Indizes X_p berechnet, wobei Letztere das Profil des Dieselerbrennung bzw. das Profil der Wärmeabgabe in den Brennkammern implizit beschreiben. Die Indizes X_p können dann in Regelungsmodul 22 verwendet werden, um die Kraftstoffinjektion über den Injektionsdruck, die Injektionspulsbreite und/oder die Injektionszeit(en), die Abgasrückführung, den Ladedruck und/oder eine andere geeignete Größe zu beeinflussen.

[0038] In den Figuren 2 bis 5 sind experimentale Ergebnisse zur Anwendung des oben erläuterten Verfahrens dargestellt. Diese Ergebnisse wurden für den Zylinder Nr. 2 eines 2.7 l V6 Dieselmotors bei verschiedenen Lastzuständen zwischen ca. 0.5 und 6 bar indiziertem mittlerem Druck (IMEP) und bei Motordrehzahlen zwischen 1.500 und 3.400 U/min gewonnen. Das in Gleichung (3) verwendete Kurbelwellenwinkelintervall J wurde mit einer Breite von 80° symmetrisch um den oberen Totpunkt (TDC) herum gewählt, das heißt mit den Grenzen $\theta_{\text{start}} = -40^\circ$, $\theta_{\text{end}} = +40^\circ$.

[0039] In einer ersten Versuchsreihe wurde eine Abgasrückführungsrate (AGR) von ca. 35% eingestellt, während der Beginn der Aktivierung der Kraftstoffinjektoren (BOA: Begin Of Activation) zwischen 6° und 18° vor dem oberen Totpunkt (BTDC) verstellt wurde. Die Daten der Versuche sind im Einzelnen in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet:

	BOA= 6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°
Versuchsnr.	73	72	69	62	65	68	75
Motordrehzahl [U/min]	1995	1995	1995	1995	1994	1994	1994
Einlaßdruck [bar]	1.210	1.211	1.215	1.226	1.220	1.209	1.207
IMEP [bar]	5.96	6.01	6.03	5.98	6.17	6.18	6.23
Norm. Luft/Kraftstoff-Verhältnis	0.559	0.564	0.597	0.665	0.607	0.605	0.600
AGR Rate [%]	29.5	30.6	34.0	41.8	37.1	34.7	33.8
Rail Druck [bar]	1008	1008	1008	1002	1010	1015	1007
Injektor Pulsbreite [μ s]	470	470	470	470	470	470	470
Start der Verbrennung [$^\circ$ BTDC]	-5	-3	-1	1	3	4	6
Norm. Verbrennungsdauer (20% bis 80%) [%]	15	17	17	19	20	21	22
AVL Geräusch [dB]	94.9	95.4	95.3	93.8	96.0	96.8	97.5
Norm. Energieschwerpunkt [%]	82	80	78	77	72	69	68
Norm. Energiebreite [%]	23	25	25	27	30	32	33
Norm. Signal Intensität [%]	68	73	74	70	83	88	91

[0040] Figur 2 zeigt diesbezüglich die funktionelle Beziehung zwischen der auf dem Klopfsensor-Signal basierenden

Charakterisierung der Verbrennung und ausgewählten Verbrennungsparametern. Das linke Diagramm zeigt das Verhalten des Schwerpunktsenergie-Indexes X_{50} bei zunehmendem BOA. Die normalisierte E-nergiebreite oder "Klopfenergie-Dauer", $X_{90} - X_{10}$, ist im mittleren Diagramm gegen die normalisierte hauptsächliche Verbrennungsdauer (d. h. die Zeit, um von 20% zu 80% der gesamten Energiefreisetzung innerhalb des Datenfensters zu gelangen) aufgetragen. Das rechte Diagramm zeigt schließlich die Beziehung zwischen dem Wert eines Schalldruckpegelmeßgerätes (in dB) und der mittleren normalisierten Klopfenergie (in dB) akkumuliert über das Datenfenster.

[0041] Figur 3 zeigt die zu den vorstehend beschriebenen Versuchen gehörigen Verläufe der Wärmefreisetzung im Zylinder für die jeweils eingestellten Werte der BOA.

[0042] In einer zweiten Versuchsserie wurde abweichend von der ersten Serie ein Einlaßdruck von ca. 1.0 bar und eine AGR-Rate von ca. 20% eingestellt. Die detaillierten Daten der Versuchsreihe sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben:

	BOA=6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°
Versuchsnr.	74	71	70	63	66	67	76
Motordrehzahl [U/min]	1995	1995	1994	1995	1995	1995	1995
Einlaßdruck [bar]	1.035	1.033	1.031	1.033	1.031	1.030	1.029
IMEP [bar]	5.89	5.95	6.00	6.09	6.13	4.52	6.11
Norm. Luft/Kraftstoff- Verhältnis	0.573	0.568	0.575	0.581	0.582	0.580	0.591
AGR Rate [%]	20.6	20.6	20.7	20.6	20.8	20.8	20.9
Rail Druck [bar]	1007	1008	1008	1008	1010	1014	1018
Injektor Pulsbreite [μ s]	470	470	470	470	470	470	470
Start der Verbrennung [° BTDC]	-6	-3	-1	0	2	4	6
Norm. Verbrennungsdauer(20% bis 80%) [%]	13	15	17	19	20	18	20
AVL Geräusch [dB]	95.8	96.7	97	97.5	98.0	98.5	98.9
Norm. Energieschwer- punkt [%]	84	82	79	76	74	73	69
Norm. Energiebreite [%]	20	23	25	28	32	34	36
Norm. Signal Intensität [%]	72	81	86	91	95	98	97

[0043] Die Figuren 4 und 5 zeigen die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe in einer analogen Darstellung wie die Figuren 2 und 3.

Patentansprüche

- Verfahren zur Charakterisierung des Verbrennungsverhaltens einer Brennkraftmaschine (10),
gekennzeichnet durch
die Berechnung eines Indexes X basierend auf dem Verlauf eines Klopfsensor-Signals K.
- Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Klopfsensor-Signal K mechanische Schwingungen der Brennkraftmaschine (10) charakterisiert.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Klopfsensor-Signal K in Abhängigkeit vom Kurbelwellenwinkel θ erfaßt wird.
- Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Kurbelwellenwinkel θ mit einer Auflösung von weniger als 1°, vorzugsweise weniger als 0.5° ermittelt wird.
- Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß

das Klopfsensor-Signal K nur in einem Intervall berücksichtigt wird, das für einen ausgewählten Zylinder der Brennkraftmaschine (10) charakteristisch ist.

6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Index X aus der vom Kurbelwellenwinkel θ abhängigen Signalenergie $E(\theta)$ des Klopfsensor-Signals $K(\theta)$ berechnet wird gemäß

$$E(\theta) = \int_{\theta_0}^{\theta} K(\tau)^2 d\tau . \quad (1)$$

7. Verfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Signalenergie $E(\theta)$ bandpaßgefiltert und/oder normiert zur Berechnung des Indexes X verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Index X für einen gegebenen Wert $0 \leq p \leq 100$ definiert wird durch

$$X = X_p = \min \left\{ \theta \mid E(\theta) \geq \frac{p}{100} \max_{\tau} (E(\tau)) \right\} . \quad (2)$$

9. Verfahren zur rückgekoppelten Regelung der Verbrennung in einer Brennkraftmaschine (10),

dadurch gekennzeichnet, daß

ein Rückkopplungssignal durch einen Index X gemäß einem Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 gebildet wird.

10. Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine (10), enthaltend einen Eingang für das Signal eines Klopfensors (17),

dadurch gekennzeichnet, daß

dieses zur Durchführung eines Verfahrens nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgebildet ist.

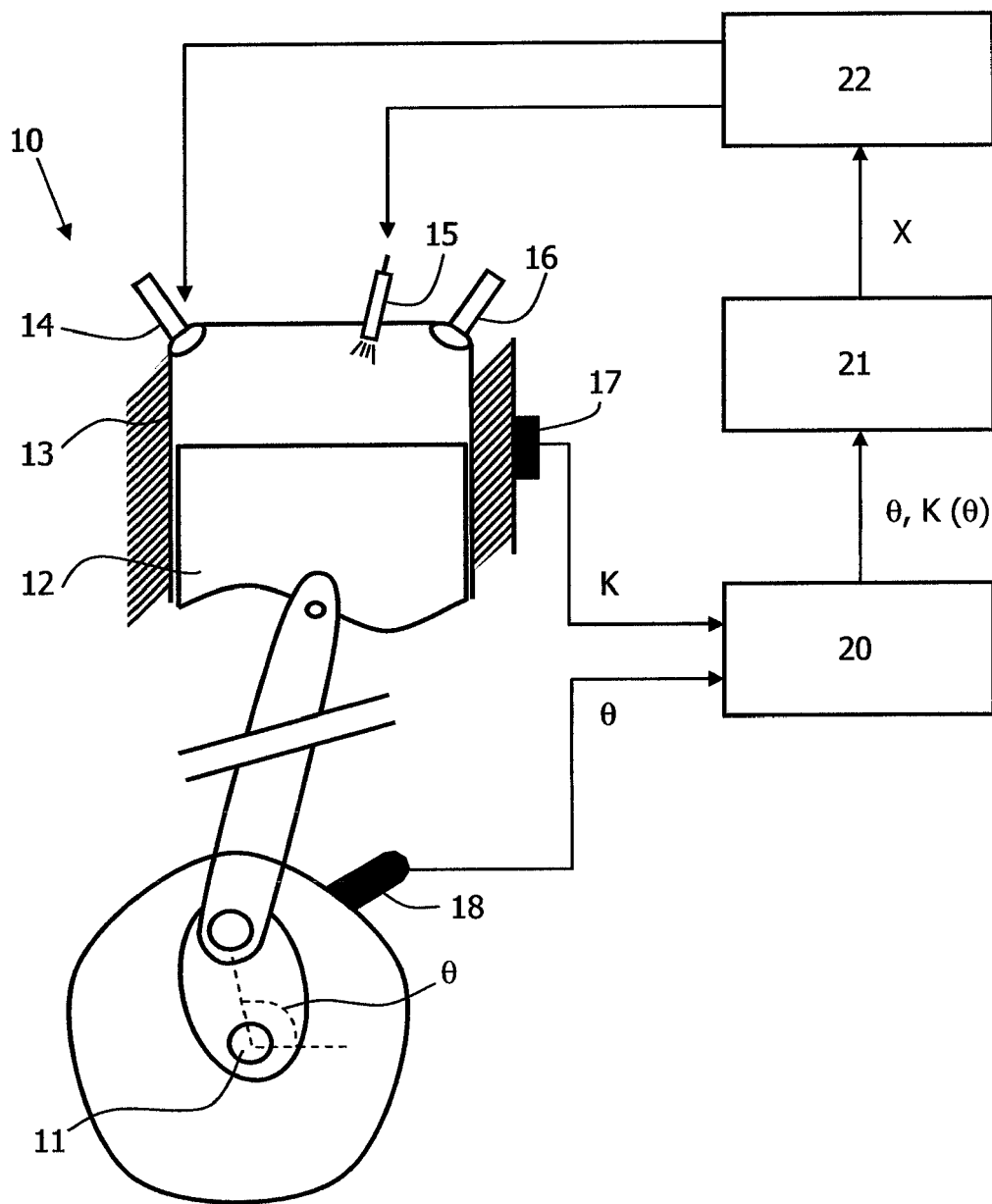


Fig. 1

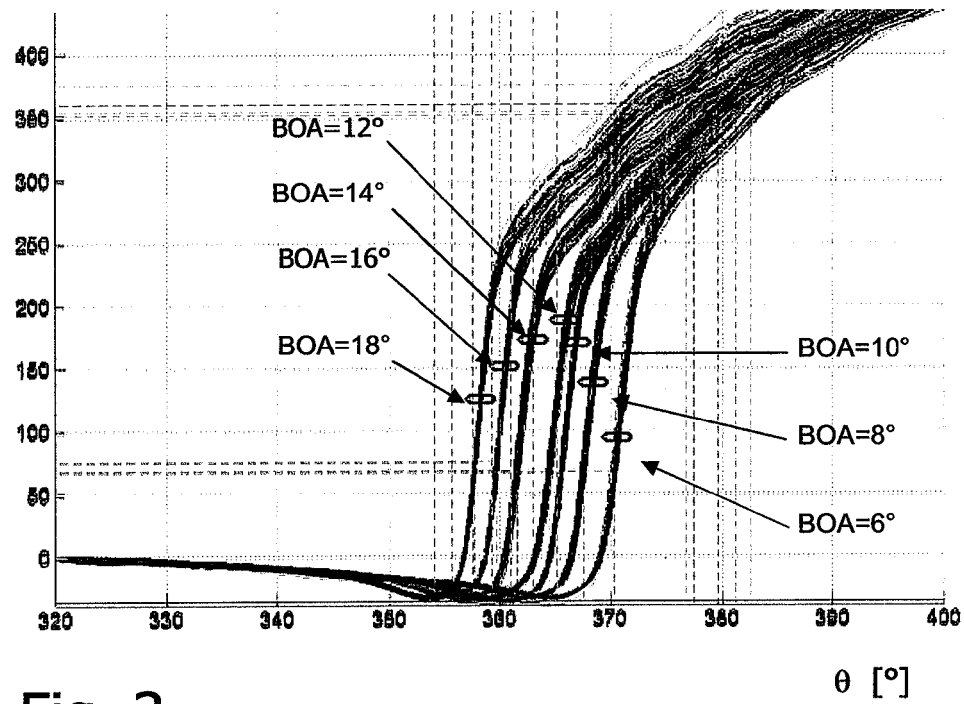


Fig. 3

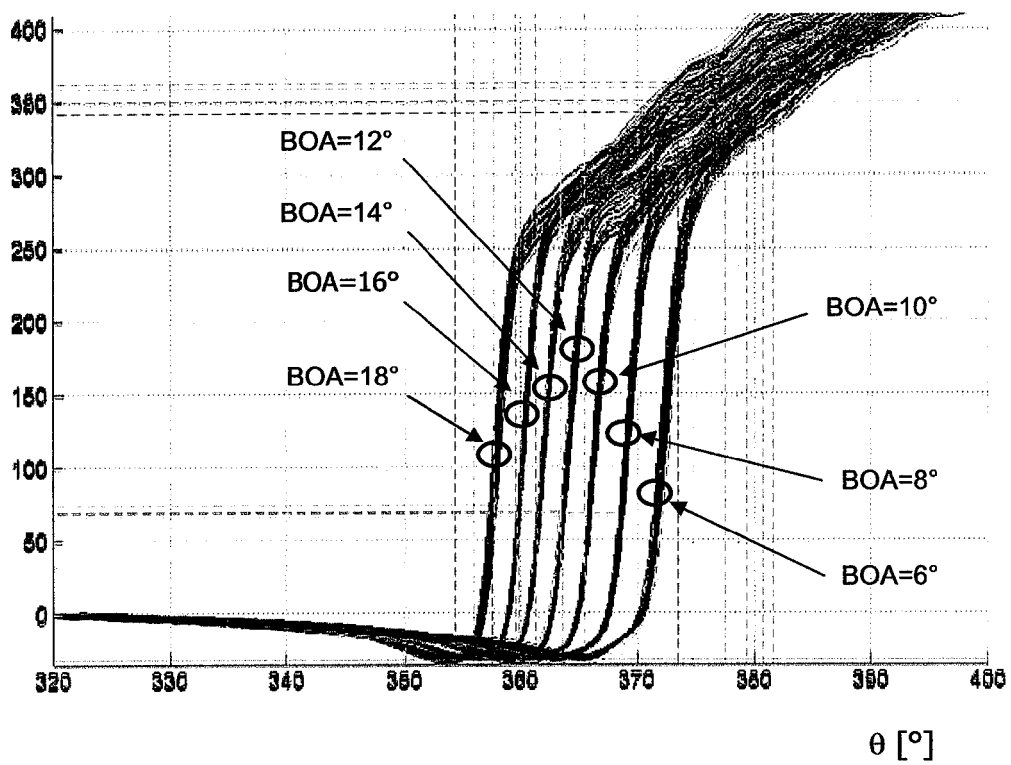


Fig. 5

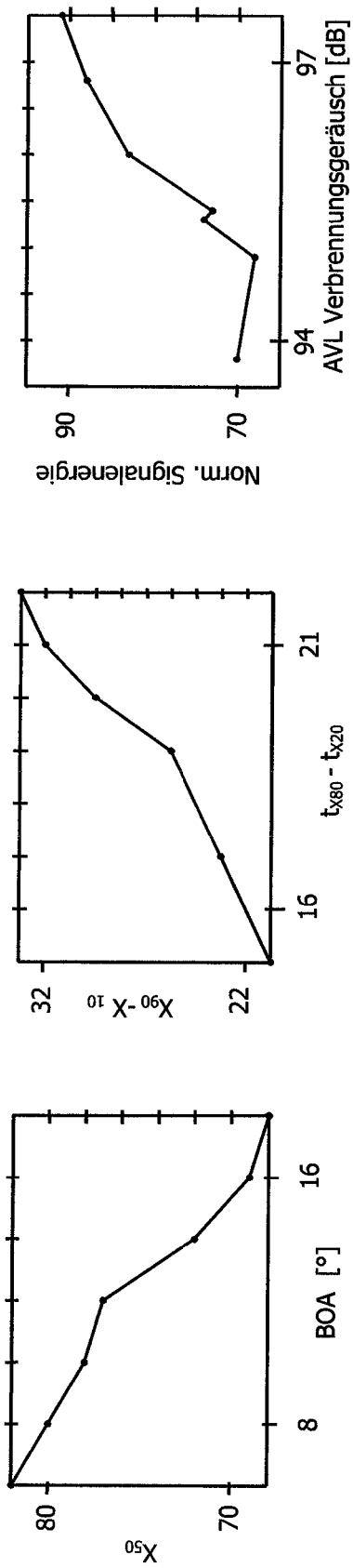


Fig. 2

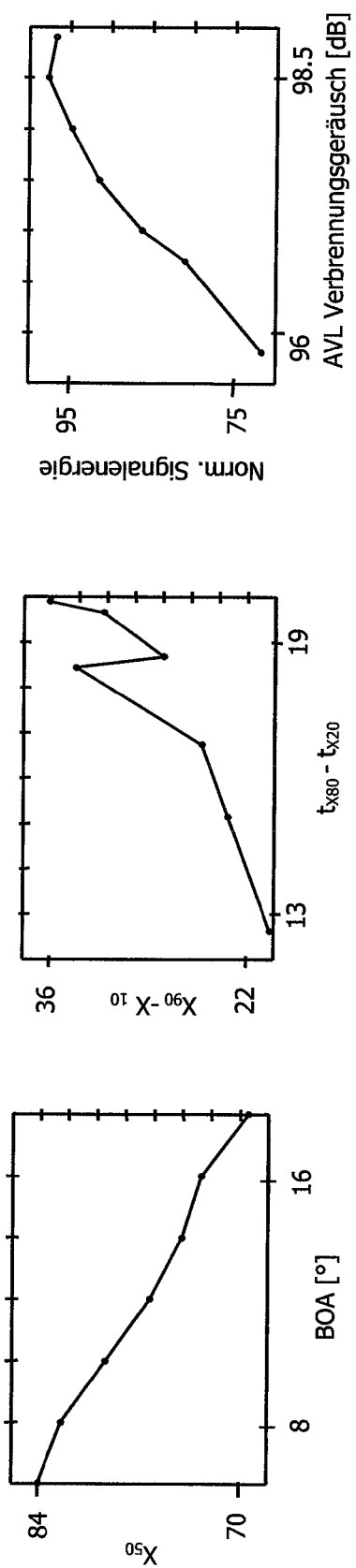


Fig. 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 10 1640

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	DE 103 51 133 A1 (VISTEON GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 19. Mai 2004 (2004-05-19) * Zusammenfassung; Abbildungen 23,24,25a,25b,25c * * Absätze [0120], [0121], [0156] - [0163] *	1,3,5,9,10	F02D35/02
X	DE 196 16 744 A1 (IAV GMBH INGENIEURGESELLSCHAFT AUTO UND VERKEHR, 10587 BERLIN, DE; MER) 13. November 1997 (1997-11-13) * Ansprüche 2,4; Abbildungen 3,4a,4b * * Seite 3, Zeile 54 - Seite 4, Zeile 12 *	1,3,5-10	
X	DE 102 20 597 B3 (SIEMENS AG) 26. Februar 2004 (2004-02-26) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-5; Abbildung 1 * * Absätze [0007] - [0009], [0016] *	1-3,5-7,9,10	
X	DE 195 39 171 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG, 80809 MUENCHEN, DE) 24. April 1997 (1997-04-24) * Zusammenfassung; Anspruch 1 * * Spalte 1, Zeile 67 - Spalte 3, Zeile 25 *	1-3,9,10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) F02D
X	DE 100 04 166 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 2. August 2001 (2001-08-02) * Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 1 * * Spalte 1, Zeile 58 - Spalte 2, Zeile 36 * * Spalte 3, Zeile 27 - Spalte 3, Zeile 59 *	1-3,5,7,9,10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. September 2005	Prüfer Van der Staay, F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres 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	

2
EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 10 1640

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	DE 42 06 809 A1 (HITACHI, LTD., TOKIO/TOKYO, JP) 10. September 1992 (1992-09-10) * Zusammenfassung; Ansprüche 1,4; Abbildung 5 * * Seite 5, Zeile 8 - Seite 5, Zeile 56 * -----	1-3,9,10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. September 2005	Prüfer Van der Staay, F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

2
EPO FORM 1503.03.82 (P04C03)

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

EP 05 10 1640

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.

01-09-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10351133 A1	19-05-2004	US 2004084026 A1	06-05-2004
		DE 10350847 A1	19-05-2004
		DE 10350848 A1	19-05-2004
		DE 10350850 A1	19-05-2004
		DE 10350855 A1	19-05-2004
		DE 10350856 A1	19-05-2004
		DE 10350857 A1	19-08-2004
		DE 10350858 A1	19-05-2004
		DE 10351134 A1	19-05-2004
		DE 10351170 A1	02-09-2004
		DE 10351171 A1	05-08-2004
		DE 10351172 A1	19-05-2004
		DE 10351203 A1	19-05-2004
		DE 10351204 A1	04-11-2004
		GB 2395294 A ,B	19-05-2004
		GB 2395522 A ,B	26-05-2004
		GB 2395523 A ,B	26-05-2004
		GB 2395295 A ,B	19-05-2004
		GB 2396384 A ,B	23-06-2004
		GB 2395575 A ,B	26-05-2004
		GB 2396025 A ,B	09-06-2004
		GB 2396186 A ,B	16-06-2004
		GB 2397623 A ,B	28-07-2004
		GB 2397339 A ,B	21-07-2004
		GB 2396754 A ,B	30-06-2004
		GB 2396187 A ,B	16-06-2004
		GB 2395070 A ,B	12-05-2004
		GB 2395017 A ,B	12-05-2004
		GB 2404951 A ,B	16-02-2005
		JP 2004156595 A	03-06-2004
		JP 2004156596 A	03-06-2004
		JP 2004156597 A	03-06-2004
		JP 2004156598 A	03-06-2004
		JP 2004156599 A	03-06-2004
		JP 2004156600 A	03-06-2004
		JP 2004156601 A	03-06-2004
		JP 2004156605 A	03-06-2004
		JP 2004156606 A	03-06-2004
		JP 2004156607 A	03-06-2004
		JP 2004156608 A	03-06-2004
		JP 2004156609 A	03-06-2004
		JP 2004156610 A	03-06-2004
		JP 2004156611 A	03-06-2004
		US 2005126537 A1	16-06-2005
		US 2004084025 A1	06-05-2004
		US 2004084019 A1	06-05-2004

EPO FORM P0461

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

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

EP 05 10 1640

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.

01-09-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10351133 A1		US 2004084034 A1	06-05-2004
		US 2004084021 A1	06-05-2004
		US 2004084036 A1	06-05-2004
		US 2004088102 A1	06-05-2004
DE 19616744 A1	13-11-1997	KEINE	
DE 10220597 B3	26-02-2004	KEINE	
DE 19539171 A1	24-04-1997	KEINE	
DE 10004166 A1	02-08-2001	US 2001011204 A1	02-08-2001
DE 4206809 A1	10-09-1992	JP 2587543 B2	05-03-1997
		JP 4279751 A	05-10-1992
		KR 137452 B1	01-05-1998
		US 5347846 A	20-09-1994

EPO FORM P0461

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