



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**16.01.2002 Patentblatt 2002/03**

(51) Int Cl.7: **F02D 41/20**

(21) Anmeldenummer: **00113994.8**

(22) Anmeldetag: **01.07.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

- **Zimmermann, Klaus**  
**73257 Köngen (DE)**
- **Rüger, Johannes-Jörg**  
**71665 Vaihingen/Enz (DE)**

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**  
**70469 Stuttgart (DE)**

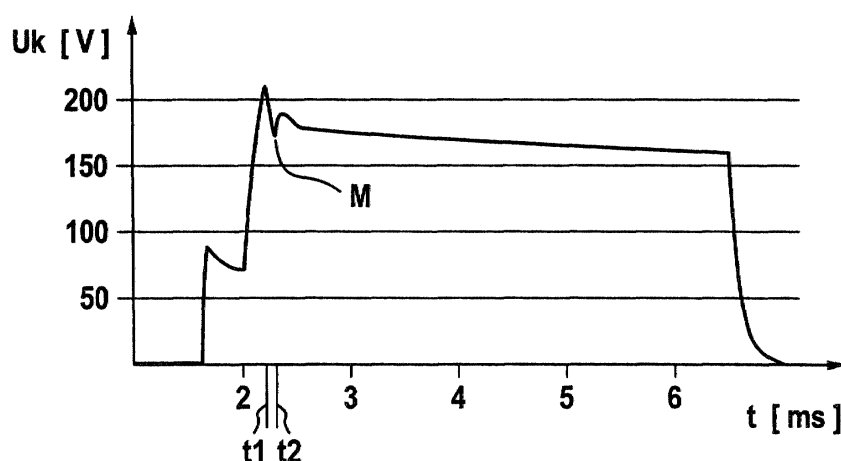
(74) Vertreter: **Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker**  
**Patentanwälte, Postfach 10 37 62**  
**70032 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Boss, Jürgen**  
**70806 Kornwestheim (DE)**

(54) **Piezelektrischer Aktor eines Einspritzventils sowie Kraftstoffeinspritzsystem**

(57) Ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems (40) mit einer Anzahl von Einspritzventilen (1), bei denen jeweils ein piezelektrischer Aktor (2) über einen hydraulischen Koppler (10) ein Verschließglied (16) treibt, soll auch beim Prellen des Verschließglieds (16) eine besonders zuverlässige Kraftstoffeinspritzung sicherstellen. Dazu wird erfindungsgemäß nach einem Aufladevorgang eines Aktors (2) des-

sen Klemmenspannung ( $U_k$ ) überwacht und zur Erkennung des Erreichens einer Schließposition des Verschließglieds (16) herangezogen. Bei einem für die Durchführung des Verfahrens besonders geeigneten Kraftstoffeinspritzsystem (40) ist der Aktor (2) jedes Einspritzventils (1) mit einer zugeordneten Spannungsmesseinrichtung (52) verbunden, die ihrerseits ausgangsseitig an eine Diagnoseeinheit (50) angeschlossen ist.



**FIG. 3**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzventils für Kraftstoff, bei dem ein piezoelektrischer Aktor über einen hydraulischen Koppler ein Verschließglied antreibt. Sie bezieht sich weiter auf ein Kraftstoffeinspritzsystem mit einer Anzahl von derartigen Einspritzventilen.

**[0002]** Als wesentlicher Bestandteil kann in einer Verbrennungskraftmaschine zur Einbringung des Kraftstoffs in die Brennräume der Zylinder ein Kraftstoffeinspritzsystem zum Einsatz kommen. Ein derartiges Kraftstoffeinspritzsystem umfaßt üblicherweise eine Anzahl von Einspritzdüsen, die individuell oder auch in der Art eines sogenannten Common-Rail-Systems (CR-Systems) über ein zentrales Versorgungssystem mit Kraftstoff bespeisbar sind. Bei beiden Ausführungsformen ist jede Einspritzdüse üblicherweise in ein jeweils zugeordnetes Einspritzventil integriert, über das die Kraftstoffeinspritzung in einer vorgebbaren Weise einstellbar ist.

**[0003]** Die Einspritzventile können dabei für eine elektrische Ansteuerung mit einem piezoelektrischen Aktor versehen sein. Ein derartiges Einspritzventil für die Kraftstoffeinspritzung in den Verbrennungsraum eines Verbrennungsmotors mit einem Hochdrucksystem oder CR-System ist aus der DE 197 328 02 bekannt. Dieses Einspritzventil ist in doppelschaltender Weise ausgeführt und weist ein Verschließglied auf, das sich in einem von zwei alternativen Ventilsitzen jeweils in einer Schließposition befindet und dabei ein Verschließen der Einspritzdüse bewirkt. In einer Mittelstellung zwischen den beiden Ventilsitzen nimmt das Verschließglied hingegen eine Öffnungsposition ein.

**[0004]** Zur Überführung des Verschließglieds von einer Schließposition in die Öffnungsposition oder von der Öffnungsposition in eine der Schließpositionen ist das Verschließglied über einen piezoelektrischen Aktor antreibbar. Dazu wird beispielsweise der piezoelektrische Aktor auf eine Ansteuerspannung aufgeladen, die vom Druck im Common-Rail-System abhängig ist. Aufgrund der Ansteuerspannung dehnt sich der Aktor in Längsrichtung aus. Diese Längenausdehnung wird über einen hydraulischen Koppler auf das Verschließglied übertragen, so daß einerseits der vom Aktor erzeugbare Hub verstärkt wird und andererseits das Verschließglied von einer möglichen statischen Temperaturdehnung des Aktors entkoppelt ist. Eine Aufladung des piezoelektrischen Aktors bewirkt somit über den hydraulischen Koppler eine Überführung des Verschließgliedes zunächst von der ersten Schließposition in die Öffnungsposition und sodann von der Öffnungsposition in die zweite Schließposition. Hingegen bewirkt ein Entladen des piezoelektrischen Aktors infolge der damit verbundenen Kontraktion in Längsrichtung über den hydraulischen Koppler eine Überführung des Verschließgliedes zunächst von der zweiten Schließposition in die Öffnungsposition und sodann von der Öffnungsposition in

die erste Schließposition.

**[0005]** Durch den Bewegungsablauf des Verschließgliedes von einer zur anderen Schließposition wird eine kurzzeitige Entlastung eines unter Hochdruck stehenden Ventilsteuerraumes bewirkt, über dessen Druckniveau die Steuerung einer Ventilnadel in eine Öffnungs- oder Schließstellung erfolgt. Befindet sich das Verschließglied somit in der Öffnungsposition zwischen den beiden Schließpositionen, so erfolgt eine Kraftstoffeinspritzung in einen dem Einspritzventil nachgeschalteten Verbrennungsraum.

**[0006]** Für eine ordnungsgemäße Funktionsweise des Verbrennungsmotors ist für jeden Zylinder die Einspritzung der richtigen oder geforderten Menge an Kraftstoff einerseits zum richtigen Zeitpunkt, bezogen auf den Einspritzzyklus insgesamt, andererseits erforderlich. Beim aus der DE 197 328 02 bekannten Einspritzventil kann jedoch ein sogenanntes Prellen des Verschließgliedes auftreten, bei dem das Verschließglied nach einer Überführung von der Öffnungsposition in eine der Schließpositionen nicht unmittelbar im entsprechenden Ventilsitz zur Ruhe kommt, sondern zunächst in der Art eines Zurückfederns erneut einen Öffnungsspalt freigibt, bevor es schließlich endgültig im Ventilsitz verbleibt. Dabei kann hinsichtlich der Einspritzmenge des Kraftstoffs oder auch hinsichtlich des Einspritzzeitpunkts bezogen auf den Einspritzzyklus insgesamt eine Abweichung von den vorgegebenen Sollwerten auftreten, so daß nicht in allen Betriebszuständen eine ordnungsgemäße Kraftstoffeinspritzung erfolgt.

**[0007]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzventils für Kraftstoff, bei dem ein piezoelektrischer Aktor über einen hydraulischen Koppler ein Verschließglied antreibt, anzugeben, mit dem auch beim Prellen des Verschließglieds eine besonders zuverlässige Kraftstoffeinspritzung gewährleistet ist. Zudem soll ein für die Durchführung des Verfahrens besonders geeignetes Kraftstoffeinspritzsystem angegeben werden.

**[0008]** Bezüglich des Verfahrens wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem nach einem Aufladevorgang eines Aktors dessen Klemmenspannung überwacht und zur Erkennung des Erreichens einer Schließposition des Verschließgliedes herangezogen wird.

**[0009]** Zur Überwachung der Klemmenspannung wird nach Beendigung des Ladevorgangs des piezoelektrischen Aktors dessen Spannungsversorgung abgekoppelt und stattdessen eine Spannungsmeßeinrichtung mit seinen Anschlußklemmen verbunden.

**[0010]** Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß für eine besonders zuverlässige Kraftstoffeinspritzung ein mögliches Prellen des Verschließgliedes bei der Bildung von Stellwerten für den eigentlichen Einspritzvorgang berücksichtigt werden sollte. Bei einem derartigen Prellen verzögert sich nämlich der Druckaufbau im Einspritzsystem, der erst nach dem Verschlie-

ßen des Ventilsitzes beginnen kann. Daraus resultiert bei ansonsten konstant gehaltenen Parametern eine Beeinträchtigung der Öffnungszeit des Einspritzventils und somit der Einspritzmenge. Beide Konsequenzen sind jedoch durch Anpassung der für die Einspritzung relevanten Parameter, insbesondere Ventilhub und Dauer der eigentlichen Einspritzung, kompensierbar. Mit anderen Worten: das Erreichen der Schließposition des Verschließgliedes sollte erfaßt werden, um auf der Grundlage dieser Feststellung nachfolgend angepaßte Stellwerte für die Einspritzung bilden zu können, mit denen auch bei aufgetretenem Prellen die Einhaltung der vorgegebenen Einspritzmenge und des vorgegebenen Einspritzzeitpunkts gewährleistet ist.

**[0011]** Wie sich überraschenderweise herausgestellt hat, kann dazu als geeigneter Parameter, auf dessen Grundlage die Erkennung des Erreichens der Schließposition oder die Sitzerkennung vorgenommen werden kann, die zeitliche Entwicklung der Klemmenspannung des jeweiligen Aktors herangezogen werden.

**[0012]** Während der Ladephase baut sich nämlich im hydraulischen Koppler ein Druck auf, der auch nach Beendigung des Ladevorgangs auf den piezoelektrischen Aktor zurückwirkt und in diesem bei abgetrennter Spannungsversorgung eine für die Druckverhältnisse im Koppler und demzufolge auch für die Umsetzung der Ansteuerspannung in Ventilhub charakteristische Piezo-Spannung erzeugt. Die Klemmenspannung am piezoelektrischen Aktor kann somit ohne das Erfordernis eines weiteren Sensors als Meßparameter für das Ventilverhalten herangezogen werden.

**[0013]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0014]** Zur Sitzerkennung des Verschließgliedes wird der zeitliche Verlauf der Klemmenspannung vorteilhafterweise auf das Auftreten eines Minimums im Kurvenverlauf hin überwacht. Der Kopplerdruck nimmt nämlich nach erfolgter Aufladung des Aktors im zeitlichen Verlauf zunächst ab, da der Aktor nach Beendigung des Ladevorgangs annähernd seinen vollständigen Hub erreicht hat, wohingegen das Verschließglied sich zu diesem Zeitpunkt noch auf die Schließposition zubewegt und der Koppler somit entspannt wird. Sobald das Verschließglied die Schließposition erreicht hat und sich aufgrund des Prellens in Richtung auf die Öffnungsposition zurückbewegt, erfolgt jedoch eine Kompression des im Koppler befindlichen Mediums, die sich in einem Anstieg der Klemmenspannung bemerkbar macht. Das im Spannungsverlauf auftretende Minimum identifiziert somit den Zeitpunkt, in dem das Verschließglied seine Schließposition oder seinen Ventilsitz erreicht hat.

**[0015]** In alternativer vorteilhafter Weiterbildung wird die zeitliche Ableitung der Klemmenspannung gebildet und auf einen Nulldurchgang hin überwacht. Der Nulldurchgang des zeitlich abgeleiteten Spannungssignals identifiziert dabei ebenfalls das Minimum im zeitlichen Verlauf der Klemmenspannung und somit das Erreichen des Ventilsitzes.

**[0016]** In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung wird aus dem ermittelten Zeitpunkt des Erreichens der Schließposition ein Korrekturwert für einen Steuerparameter des Kraftstoffeinspritzsystems abgeleitet. Dabei kann insbesondere ein Korrekturwert für die Ansteuerspannung des Aktors und/oder für den Ansteuerzeitpunkt und/oder für die Dauer des Ladevorgangs bereitgestellt werden. Somit kann die durch die Sitzerkennung gewonnene Information in der Art eines Ist-Werts in besonders günstiger Weise unmittelbar bei der Steuerung der nachfolgenden Einspritzzyklen berücksichtigt werden.

**[0017]** Bezüglich des Kraftstoffeinspritzsystems wird die genannte Aufgabe gelöst, indem der Aktor jedes Einspritzventils mit einer zugeordneten Spannungsmeßeinrichtung verbunden ist, die ihrerseits ausgangseitig an eine Diagnoseeinheit angeschlossen ist.

**[0018]** Die Diagnoseeinheit ist dabei zur Bildung einer Aussage zur Sitzerkennung jedes Einspritzventil anhand des zeitlichen Verlaufs des für dieses ermittelten Klemmenspannungssignals vorgesehen.

**[0019]** Um dabei die Auswertung des zeitlichen Verlaufs des Klemmenspannungssignals anhand der zeitlichen Ableitung vornehmen zu können, ist zweckmäßigerweise der Spannungsmeßeinrichtung jedes Aktors jeweils ein Differenzierglied zugeordnet.

**[0020]** Um die bei der zeitnahen Diagnose ermittelten Aussagen auch für spätere Anwendungen, beispielsweise Inspektionen oder Überholungsmaßnahmen, vorzuhalten, ist die Diagnoseeinrichtung in weiterer zweckmäßiger Ausgestaltung mit einem Datenspeichermodul verbunden.

**[0021]** Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch die Überwachung der Klemmenspannung auf einfache Weise und ohne zusätzlichen konstruktiven Aufwand eine zeitnahe und zuverlässige Sitzerkennung für jedes einzelne Einspritzventil ermöglicht ist. Das Kraftstoffeinspritzsystem kann somit auch bei auftretendem Prellen eines Verschließgliedes besonders zuverlässig betrieben werden, wobei nach einem Prellen insbesondere sofort Korrekturmaßnahmen, beispielsweise hinsichtlich einer Nachführung der Ansteuerspannung für jeden Aktor, vorgenommen werden können.

**[0022]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Figur 1 ein Einspritzventil eines Kraftstoffeinspritzsystems,

Figur 2 schematisch ein Kraftstoffeinspritzsystem mit einer Anzahl von Einspritzventilen nach Figur 1, und

Figur 3 ein Zeitdiagramm für eine Klemmenspannung.

**[0023]** Das Einspritzventil 1 nach Figur 1 weist einen

piezoelektrischen Aktor 2 auf, der eine Anzahl von hintereinandergeschalteten Piezoelementen 4 umfaßt. Der Aktor 2 ist einerseits mit einer Gehäusewand 6, durch die Anschlußklemmen 7 des Aktors 2 hindurchgeführt sind, und andererseits mit einem Stellkolben 8 kraftschlüssig verbunden. Der Stellkolben 8 schließt mit seiner vom Aktor 2 abgewandten Stirnfläche 9 einen hydraulischen Koppler 10 ab. Der hydraulische Koppler 10 wirkt seinerseits auf einen in einem Verbindungskanal 12 geführten Stellkolben 14, an dessen vom Koppler 10 abgewandtem Ende ein Verschließglied 16 angeordnet ist. Dieses ist als doppelt schließendes Steuerventil ausgebildet. Es verschließt in einer ersten Schließposition, die einer Ruheposition des Aktors 2 entspricht, einen ersten Ventilsitz 18 eines Ventilraumes 20. In einer zweiten Schließposition, die einer maximalen Ansteuerung des Aktors 2 entspricht, verschließt das Verschließglied 16 hingegen einen zweiten Ventilsitz 22 des Ventilraums 20.

**[0024]** Über einen Durchlaß im zweiten Ventilsitz 22 ist der Ventilraum 20 mit einem Führungskanal 24 verbunden, der eingangsseitig über ein Anschlußstück 26 an einen nicht dargestellten Druckkanal eines Common-Rail-Kraftstoffversorgungssystems eines Kraftfahrzeugs angeschlossen ist. Alternativ kann das Einspritzventil 1 aber auch Teil eines Kraftstoffversorgungssystems mit individueller Bespeisung der Einspritzdüsen sein. Im Führungskanal 24 ist eine Düsennadel 28 angeordnet, die einen Kraftstoffauslauf 30 eines vom Anschlußstück 26 abzweigenden Kraftstoffkanals 32 abhängig von einer über die Anschlußklemmen 7 an den Aktor 2 angelegten Ansteuerspannung  $U_a$  freigibt oder verschließt. Zur Einstellung funktionsgerechter Druckverhältnisse beim Betrieb des Einspritzventils 1 sind das Anschlußstück 26 mit einer Zulaufdrossel 34 und der Führungskanal 24 mit einer Ablaufdrossel 36 versehen.

**[0025]** Das Einspritzventil 1 ist, gemeinsam mit weiteren Einspritzventilen 1, Teil eines Kraftstoffeinspritzsystems 40, wie es schematisch in Figur 2 dargestellt ist. Dabei sind die Einspritzventile 1, von denen in Figur 2 der Übersichtlichkeit halber nur vier dargestellt sind, kraftstoffseitig an eine gemeinsame Versorgungsleitung 42 angeschlossen. Die Anzahl der für das Kraftstoffeinspritzsystem 40 vorgesehenen Einspritzventile 1 ist dabei abhängig von den weiteren Erfordernissen der zu versorgenden Brennkraftmaschine, insbesondere kann ein Einspritzventil 1 für jeden zu bespeisenden Zylinder vorgesehen sein.

**[0026]** Zur elektrischen Ansteuerung der Einspritzventile 1 umfaßt das Kraftstoffversorgungssystem 40 eine zentrale Steuereinheit 44. Diese wiederum weist ein Ansteuermodul 46 auf, das über Leitungen 48 mit den Anschlußklemmen 7 der Einspritzventile 1 abschaltbar verbunden ist. Weiterhin umfaßt die Steuereinheit 44 eine Diagnoseeinheit 50, die an eine Anzahl von den Einspritzventilen 1 jeweils zugeordneten und mit deren Anschlußklemmen 7 verbundenen Spannungsmeßein-

richtungen 52 angeschlossen ist. Jeder Spannungsmeßeinrichtung 52 ist ein Differenzierglied 53 zugeordnet, das im Ausführungsbeispiel als digitales Differenzierglied ausgebildet und in die Diagnoseeinheit integriert ist. Alternativ kann aber auch ein analoges Differenzierglied vorgesehen sein. Zudem weist die Steuereinheit 44 ein Datenspeichermodule 54 auf.

**[0027]** Beim Betrieb des Kraftstoffversorgungssystems 40 legt die Steuereinheit 44 in einem Einspritzzyklus über das Ansteuermodul 46 eine Ansteuerspannung  $U_a$  an die Anschlußklemmen 7 jedes Einspritzventils 1 an. In Abhängigkeit von dieser Ansteuerspannung  $U_a$  dehnt sich der Aktor 2 des angesteuerten Einspritzventils 1 in seiner Längsrichtung aus, so daß sich der Stellkolben 8 in Richtung des hydraulischen Kopplers 10 bewegt. Infolge der dadurch bewirkten Druckerhöhung im Koppler 10 bewegt sich auch der Stellkolben 14 mit dem daran angeordneten Verschließglied 16 in Richtung auf den zweiten Ventilsitz 22 zu.

**[0028]** Über die Versorgungsleitung 42 herrscht im Anschlußstück 26 jedes Einspritzventils 26 ein hoher Druck, der bei einem Common-Rail-System beispielsweise zwischen 200 und 1800 bar betragen kann. Dieser Druck wirkt gegen die Düsennadel 28 und hält sie geschlossen, so daß durch den Kraftstoffauslauf 30 kein Kraftstoff austreten kann. Wenn aber nun infolge der an den Aktor 2 angelegten Steuerspannung  $U_a$  das Verschließglied 16 vom ersten Ventilsitz 18 zum zweiten Ventilsitz 22 oder umgekehrt bewegt wird, dann baut sich der Druck im Hochdruckbereich des Führungskanals 24 ab, so daß die Düsennadel 28 in Richtung auf den Ventilraum 20 zurückweicht und den Kraftstoffauslauf 30 freigibt. In diesem Fall erfolgt eine Kraftstoffeinspritzung in den zugeordneten Zylinder.

**[0029]** Bei der Kraftstoffeinspritzung kann ein Prellen des Verschließgliedes 16 auftreten. Dabei kommt das Verschließglied 16 nach einer Überführung von der Öffnungsposition in eine der Schließpositionen nicht unmittelbar im entsprechenden Ventilsitz 18 bzw. 22 zur Ruhe, sondern gibt zunächst in der Art eines Zurückfederns erneut einen Öffnungsspalt des Ventilraums 20 frei, bevor es schließlich endgültig im Ventilsitz 18 bzw. 22 verbleibt. Dabei kann hinsichtlich der Einspritzmenge des Kraftstoffs oder auch hinsichtlich des Einspritzzeitpunkts bezogen auf den Einspritzzyklus insgesamt eine Abweichung von den vorgegebenen Sollwerten auftreten.

**[0030]** Um den damit verbundenen nachteiligen Konsequenzen beispielsweise durch eine situationsabhängige Nachführung von Sollwerten zu begegnen, ist das Kraftstoffeinspritzsystem 40 für eine zeitnahe Sitzerkennung für jedes Einspritzventil 1 ausgelegt. Dabei wird während des Betriebs ermittelt, zu welchem Zeitpunkt das Verschließglied 16 des jeweiligen Einspritzventils 1 seine Schließposition tatsächlich erreicht hat. Das folgend beschriebene Verfahren zur Sitzerkennung ist im übrigen in keiner Weise auf dem detaillierten Aufbau des vorliegenden Einspritzventils 1 beschränkt,

sondern kann vielmehr auch bei alternativ ausgebildeten Einspritzventilen zum Einsatz kommen.

**[0031]** Zur Sitzerkennung wird nach erfolgtem Ladevorgang des Aktors 2 des jeweiligen Einspritzventils 1 das Ansteuermodul 46 von den Anschlußklemmen 7 des Aktors 2 getrennt. Statt des Ansteuermoduls 46 wird für die Zeitdauer eines vorgebbaren Meßfensters an die Anschlußklemmen 7 des Aktors 2 die zugehörige Spannungsmeßeinrichtung 52 angeschlossen, deren Meßdaten an die angeschlossene Diagnoseeinheit 50 ausgegeben werden. Die Meßdaten können dabei direkt, beispielsweise als analoges Spannungssignal, an die Diagnoseeinheit übermittelt werden. Somit erfolgt in dieser Phase eine direkte Überwachung der Klemmenspannung  $U_k$  des Aktors 2 als Funktion der verstreichenden Zeit. Im Ausführungsbeispiel ist jedoch zunächst die Bildung der zeitlichen Ableitung der Klemmenspannung  $U_k$  des jeweiligen Aktors 2 vorgesehen. Dazu werden die Spannungssignale dem der Spannungsmeßeinrichtung 52 zugeordneten Differenzierglied 53 zugeführt. Die dort gebildeten differenzierten Signale werden sodann an die Diagnoseeinheit 50 übermittelt. In beiden Alternativen wird aus dem zeitlichen Verhalten der Klemmenspannung  $U_k$  in der Diagnoseeinheit 50 auf das Erreichen der jeweiligen Schließposition des Verschleißglieds 16 geschlossen.

**[0032]** Zur Sitzerkennung des Verschleißglieds 16 wird der zeitliche Verlauf der Klemmenspannung  $U_k$  auf das Auftreten eines Minimums im Kurvenverlauf hin überwacht. Bei der Auswertung der zeitlichen Ableitung der Klemmenspannung  $U_k$  mittels des jeweiligen Differenzierglieds 53 wird dementsprechend das Auftreten eines Nulldurchgangs überprüft. Wie sich nämlich herausgestellt hat, baut sich nach Beendigung der Ladephase für den piezoelektrischen Aktor 2 der Druck im hydraulischen Koppler 10 zunächst ab, da der Aktor 2 nach Beendigung des Ladevorgangs annähernd seinen vollständigen Hub erreicht hat, wohingegen das Verschleißglied 16 sich zu diesem Zeitpunkt noch auf die Schließposition zubewegt und der Koppler 10 somit entspannt wird. Dieser Druckabfall ist über die Überwachung der Klemmenspannung  $U_k$  am Aktor 2 in der Form einer als Funktion der Zeit eintretenden Reduzierung der Klemmenspannung  $U_k$  nachweisbar.

**[0033]** Sobald das Verschleißglied 16 die Schließposition erreicht hat und sich aufgrund des Prellens in Richtung auf die Öffnungsposition zurückbewegt, erfolgt jedoch eine Kompression des im Koppler 10 befindlichen Mediums, die sich analog in einem Anstieg der Klemmenspannung  $U_k$  bemerkbar macht. Das im Spannungsverlauf auftretende Minimum identifiziert somit den Zeitpunkt, in dem das Verschleißglied 16 seine Schließposition im jeweiligen Ventilsitz 18 bzw. 22 erreicht hat.

**[0034]** Dieser zeitliche Verlauf der Klemmenspannung  $U_k$  ist beispielhaft für einen Einspritzvorgang in Figur 3 dargestellt. Zunächst wird eine Ansteuerspannung  $U_a$  an die Anschlußklemmen 7 des Aktors 2 angelegt.

Die Ansteuerspannung  $U_a$  wird zunächst vom Ausgangswert 0V auf ein Zwischenniveau von beispielsweise etwa 75 V erhöht. In einem zweiten Erhöhungsschritt wird die Ansteuerspannung  $U_a$  sodann auf den eigentlichen Sollwert von beispielsweise etwa 200 V gebracht. Zum Zeitpunkt  $t_1$  ist dieser Aufladevorgang durch Erreichen der Sollspannung beendet. Von diesem Zeitpunkt an wird der Aktor 2 vom Ansteuermodul 46 getrennt und die Klemmenspannung  $U_k$  von der Spannungsmeßeinrichtung 52 erfaßt.

**[0035]** Nach Beendigung der Ladephase für den piezoelektrischen Aktor 2 nimmt die Klemmenspannung  $U_k$  aufgrund der genannten Entwicklung der Druckverhältnisse zunächst ab, bis sie zum Zeitpunkt  $t_2$  ein Minimum  $M$  durchläuft und sodann wieder ansteigt. Dieses Minimum  $M$  korrespondiert zum Erreichen der Schließposition, in der das Verschleißglied 16 den jeweiligen Ventilsitz 18 bzw. 22 erreicht hat. Der Zeitpunkt  $t_2$  wird somit von der Diagnoseeinheit 50 als Zeitpunkt des Erreichens der Schließposition des Verschleißglieds 16 erkannt.

**[0036]** Von diesem Zeitpunkt an verhält sich das Einspritzventil 1 hinsichtlich der tatsächlich gelieferten Einspritzmenge und des Einspritzzeitpunktes in vorhersagbarer Weise. Auf der Grundlage der Erkennung des Zeitpunktes  $t_2$  können somit durch geeignete Anpassung der Ansteuerparameter für das Einspritzventil 1 eine vorgegebene Einspritzmenge und eine vorgegebene Einspritzzeit auch bei Prellen des Verschleißgliedes eingehalten werden.

**[0037]** Das ermittelte Verhalten der Einspritzventile 1 sowie der vorgenommenen Korrekturingriffe wird weiterhin für spätere Diagnosezwecke in dem Datenspeichermodul 54 hinterlegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems (40) mit einer Anzahl von Einspritzventilen (1), bei denen jeweils ein piezoelektrischer Aktor (2) über einen hydraulischen Koppler (10) ein Verschleißglied (16) treibt, wobei nach einem Aufladevorgang eines Aktors (2) dessen Klemmenspannung ( $U_k$ ) überwacht und zur Erkennung des Erreichens einer Schließposition des Verschleißgliedes (16) herangezogen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der zeitliche Verlauf der Klemmenspannung ( $U_k$ ) auf das Auftreten eines Minimums im Kurvenverlauf hin überwacht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die zeitliche Ableitung der Klemmenspannung ( $U_k$ ) gebildet und auf einen Nulldurchgang hin überwacht wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei

dem aus dem ermittelten Zeitpunkt des Erreichens der Schließposition des Verschließgliedes (16) ein Korrekturwert für einen Steuerparameter des Kraftstoffeinspritzsystems (40) abgeleitet wird.

5

5. Kraftstoffeinspritzsystem (40) mit einer Anzahl von Einspritzventilen (1), bei denen jeweils ein piezoelektrischer Aktor (2) über einen hydraulischen Koppler (10) ein Verschließglied (16) treibt, wobei der Aktor (2) jedes Einspritzventils (1) mit einer zugeordneten Spannungsmeßeinrichtung (52) verbunden ist, die ihrerseits ausgangsseitig an eine Diagnoseeinheit (50) angeschlossen ist. 10
6. Kraftstoffeinspritzsystem (40) nach Anspruch 5, bei dem der Spannungsmeßeinrichtung (52) jedes Aktors (2) jeweils ein Differenzierglied (53) zugeordnet ist. 15
7. Kraftstoffeinspritzsystem (40) nach Anspruch 5 oder 6, dessen Diagnoseeinheit (50) mit einem Datenspeichermodul (54) verbunden ist. 20

25

30

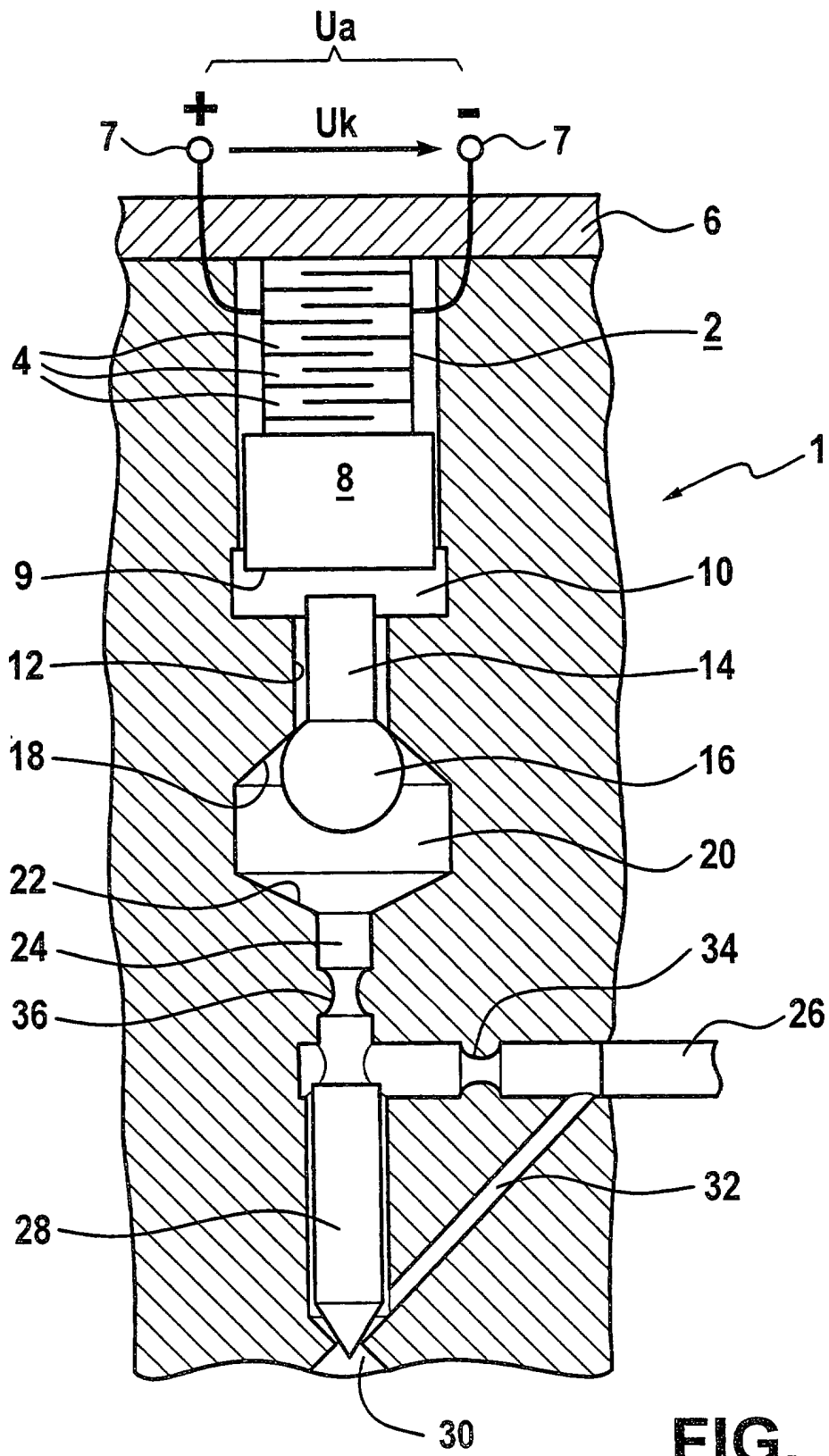
35

40

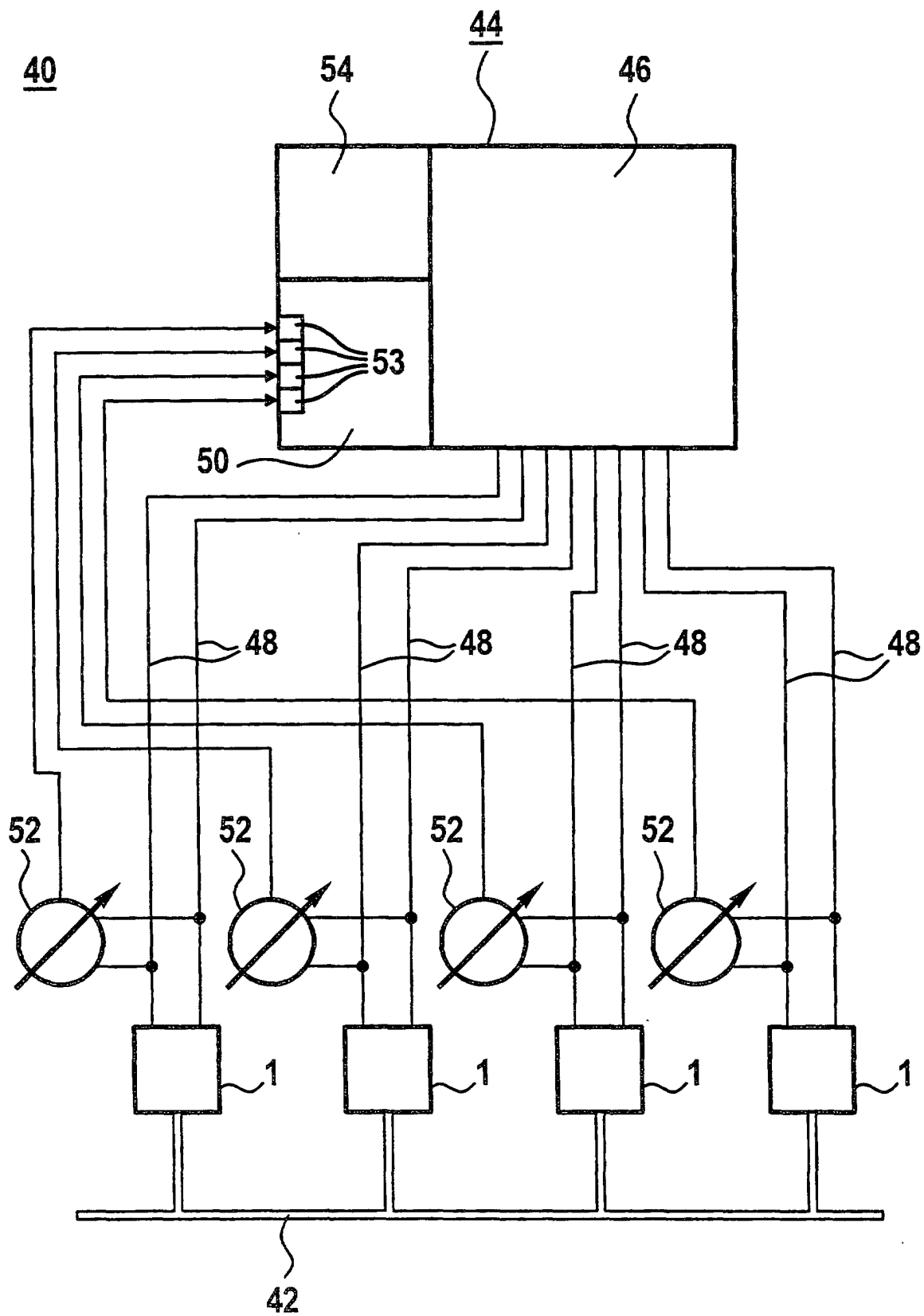
45

50

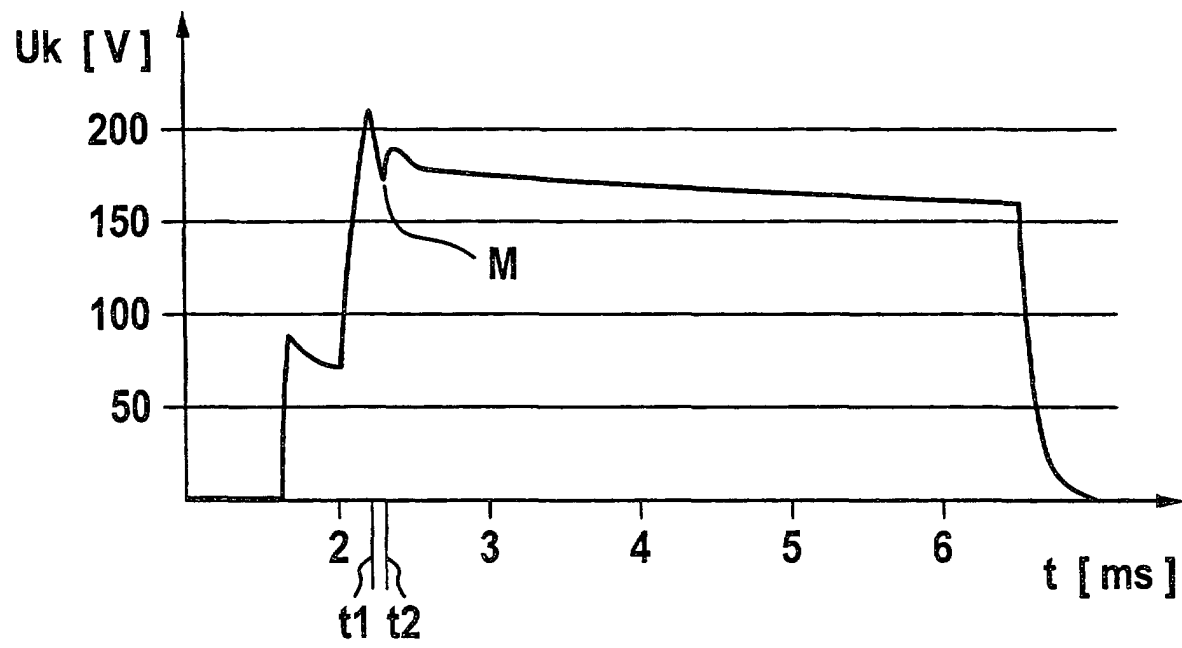
55



**FIG. 1**



**FIG. 2**

**FIG. 3**



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 00 11 3994

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                                        | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                            | WO 99 67527 A (FREUDENBERG HELLMUT ;HECKER<br>MARTIN (DE); PIRKL RICHARD (DE); GERKE)<br>29. Dezember 1999 (1999-12-29)                                                                                    | 1,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | F02D41/20                               |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                            | * Seite 1, Zeile 30 - Zeile 34 *<br>* Seite 1, Zeile 5 - Zeile 25 *<br>* Seite 5, Zeile 13 - Zeile 23 *<br>* Seite 7, Zeile 4 - Zeile 7 *<br>* Seite 7, Zeile 31 - Zeile 34 *<br>* Ansprüche 1,3 *<br>---- | 2-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                            | EP 0 816 670 A (SIEMENS AUTOMOTIVE CORP<br>LP) 7. Januar 1998 (1998-01-07)<br>* Zusammenfassung *<br>* Abbildung 1 *<br>----                                                                               | 1,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                            | DE 198 04 196 A (SIEMENS AG)<br>12. August 1999 (1999-08-12)                                                                                                                                               | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                            | * Spalte 1, Zeile 42 - Zeile 56 *<br>* Spalte 2, Zeile 33 - Zeile 38 *<br>* Spalte 5, Zeile 6 - Zeile 47 *<br>----                                                                                         | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                            | EP 0 379 182 A (TOYOTA MOTOR CO LTD)<br>25. Juli 1990 (1990-07-25)<br>* Ansprüche 1,10 *<br>* Abbildungen 1,3,4,6,8,12 *<br>----                                                                           | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | F02D<br>H01L<br>F02M                    |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                            | DE 197 33 560 A (BOSCH GMBH ROBERT)<br>4. Februar 1999 (1999-02-04)<br>* Zusammenfassung *<br>-----                                                                                                        | 1,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                         |
| Recherchenort<br><b>DEN HAAG</b>                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                            | Abschlußdatum der Recherche<br><b>15. November 2000</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Prüfer<br><b>De Vita, D</b>             |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer<br>anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                            | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder<br>nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>-----<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes<br>Dokument |                                         |

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 00 11 3994

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

15-11-2000

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie                              | Datum der<br>Veröffentlichung                        |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| WO 9967527 A                                        | 29-12-1999                    | BR 9906558 A<br>EP 1025595 A                                   | 15-08-2000<br>09-08-2000                             |
| EP 0816670 A                                        | 07-01-1998                    | US 5779149 A                                                   | 14-07-1998                                           |
| DE 19804196 A                                       | 12-08-1999                    | WO 9940408 A                                                   | 12-08-1999                                           |
| EP 0379182 A                                        | 25-07-1990                    | JP 2190682 A<br>JP 2536114 B<br>DE 69007988 D<br>DE 69007988 T | 26-07-1990<br>18-09-1996<br>19-05-1994<br>11-08-1994 |
| DE 19733560 A                                       | 04-02-1999                    | CZ 9901103 A<br>WO 9907026 A<br>EP 0929911 A                   | 13-10-1999<br>11-02-1999<br>21-07-1999               |

EPO FORM P0461

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