



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**10.08.2005 Patentblatt 2005/32**

(51) Int Cl.7: **F02D 41/34, F02D 41/40**

(21) Anmeldenummer: **05100174.1**

(22) Anmeldetag: **13.01.2005**

(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**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
 • **Dietl, Roland**  
**94315, Straubing (DE)**  
 • **Rabl, Hans-Peter**  
**93309, Kelheim (DE)**

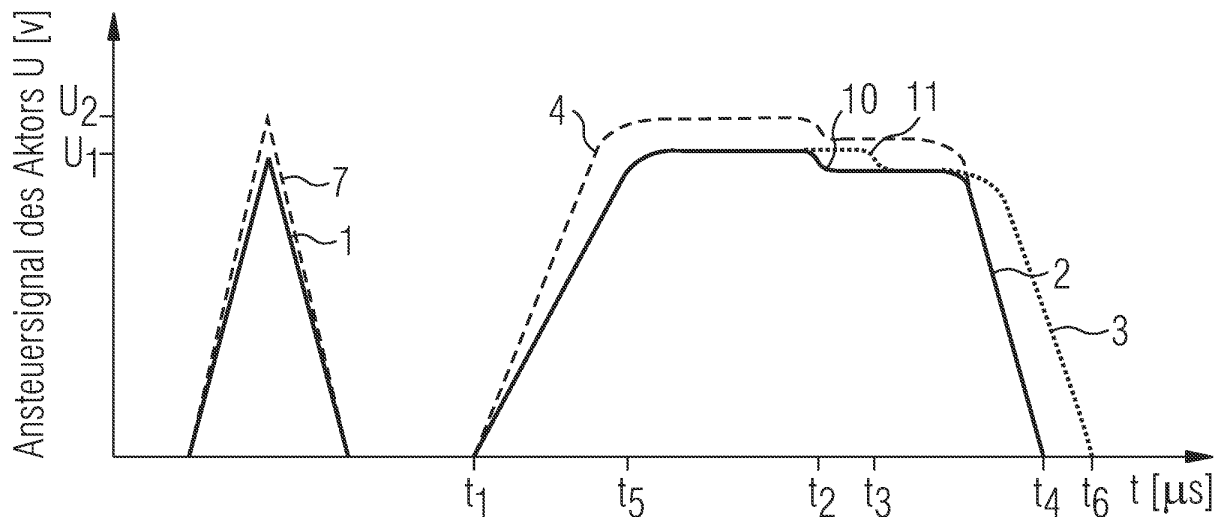
(30) Priorität: **09.02.2004 DE 102004006297**

(54) **Verfahren zur Steuerung eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Piezo-Injektors während der Startphase der Brennkraftmaschine, insbesondere ein Common-Rail Direkteinspritzmotor. Dabei wird die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine durch den Starter, insbe-

sondere eines Elektrostarters gedreht. Als nächstes wird der Aktor des Einspritzventils mit einem Ansteuersignal derart beaufschlagt, dass beim Erreichen des maximalen Nadelhubs des Aktors das Ansteuersignal verändert wird. Anschließend wird diese Änderung des Ansteuersignals ausgewertet.

**FIG 1**



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Piezoinjektors, während der Startphase der Brennkraftmaschine, insbesondere eines Common-Rail Motors mit Direkteinspritzung.

**[0002]** Aufgrund von Fertigungstoleranzen sind die Einspritzmengen von Injektoren bei gleich angelegter Energie verschieden. Erst bei maximalem Nadelhub fördern die Injektoren die gleiche Einspritzmenge in den Brennraum (Raildruck ist konstant, Einspritzdauer ist konstant). Dabei erzeugt ein Injektor bei maximalem Nadelhub ein Anschlagssignal. Dieses Signal lässt sich dazu nutzen, um die für den jeweiligen Injektor notwendige Energie zur Erreichung des maximalen Nadelhubs zu bestimmen. Damit ist es möglich, die Injektoren einander anzugleichen, so dass bei gegebener Ansteuerdauer und gegebenem Einspritzdruck jeder Injektor einer Brennkraftmaschine die gleiche Einspritzmenge liefert.

**[0003]** Gerade bei der Gleichstellung von Injektoren mittels der Nadelanschlagserkennung, müssen stationäre Betriebspunkte bei einer definierten Ansteuerdauer in Abhängigkeit vom Einspritzdruck mehrere Sekunden lang vorliegen. Danach kann die ermittelte Aktorenergie der einzelnen Injektoren dem Einspritzparametersatz zugeordnet und abgespeichert werden. Um beispielsweise das Nadelanschlagssignal sicher auswerten zu können, muss der Injektor mit einer minimalen Ansteuerzeit und einem minimalen Einspritzdruck angesteuert werden. Dies bedeutet, dass bereits einige Milligramm Kraftstoff eingespritzt werden oder dass sich der Motor bereits im mittleren Teillastbetrieb befindet. Dies stellt sowohl im Leerlaufpunkt und im unteren Teillastbereich als auch bei der Erstinbetriebnahme des Systems ein Problem dar.

**[0004]** Somit liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren vorzustellen, dass ein Angleichen der Injektoren schon während der Startphase der Brennkraftmaschine (BKM) ermöglicht. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Gegenstand der Ansprüche 2 bis 10 betreffen vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0005]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise den Nadelanschlag eines Brennkraftmaschinenaktors schon während der Startphase der Brennkraftmaschine erkennen. Dabei wird die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine durch den Starter (Elektrostarter) gedreht. Der Aktor wird mit einem Ansteuersignal derart beaufschlagt, dass beim Erreichen des maximalen Nadelhubs des Aktors das Ansteuersignal verändert wird. Dieses ist erkennbar, indem sich die am Aktor (Injektor) angelegte Spannung um ein bis einige Volt reduziert. Diese Änderung des Ansteuersignals wird anschließend ausgewertet.

**[0006]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist es, die Umdrehungsgeschwindigkeit des Starters

konstant zu halten. Des Weiteren ist es vorteilhaft, den Einspritzbeginn der Aktoren derart einzustellen, dass die Brennkraftmaschine nicht anspringt. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, indem der Einspritzbeginn spät einsetzt. Weiterhin ist es vorteilhaft, die Ansteuerdauer während des Angleichsverfahrens konstant zu halten. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da ein Ausgleich der Einspritzmengenunterschiede zwischen den einzelnen Injektoren unter definierten stationären Betriebspunkten erfolgt, die im Fahrbetrieb selten erreicht werden, insbesondere vor der Erstinbetriebnahme des Systems.

**[0007]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist es, die bestimmte Aktorenergie samt den dazugehörigen Einspritzparametern abzuspeichern, und anschließend den Einspritzdruck um einen bestimmten Betrag zu verändern, d. h. beispielsweise den Einspritzdruck um 100 bar zu erhöhen. Für diesen neuen Einspritzdruck wird erfindungsgemäß die für jeden Aktor nötige Anschlagsenergie zur Erreichung des maximalen Nadelhubs bestimmt. Diese Schritte werden solange wiederholt, bis der Einspritzdruck einen Extremwert erreicht hat. In diesem Fall könnte dies beispielsweise ein Maximaldruck von 1500 bar sein. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da eine Kalibration der Einspritzmenge auf die zugehörigen Einspritzparameter erzielt werden kann.

**[0008]** Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der übrigen Unteransprüche.

**[0009]** Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die schematische Zeichnung in einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Figur 1 den zeitlichen Verlauf der an zwei Injektoren angelegte Ansteuersignale;  
Figur 2 ein Ablaufdiagramm zur Bestimmung der Aktorenergie für verschiedene Einspritzparameter.

**[0010]** Im folgenden wird die Figur 1 näher erläutert. Die Figur zeigt den zeitlichen Verlauf von drei Ansteuersignalen. Vorerst werden nur die durchgezogene Kurve 1 und 2 von einem ersten Injektor (Aktor) betrachtet. Die Kurve 1 eines Dreieckssignals, dessen Maximalwert als  $U_1$  bezeichnet ist, bewirkt eine Voreinspritzung. Nach einer gewissen Zeit beginnt die Haupteinspritzung zum Zeitpunkt  $t_1$ , die bis zum Zeitpunkt  $t_4$  andauert. Diese Haupteinspritzungskurve 2 hat eine Dauer von ca. 600  $\mu\text{sec}$ . Das ist die Differenz zwischen Zeitpunkt  $t_4$  und Zeitpunkt  $t_1$ . Wie bereits oben erwähnt, wird die Spannung zum Zeitpunkt  $t_1$  angelegt, zum Zeitpunkt  $t_5$  liegt die maximale Spannung  $U_1$  (z.B. 100 V) an. Während diesem Zeitraum wird die Nadel angehoben bis diese ihren maximalen Hub zum Zeitpunkt  $t_2$  erreicht hat. Als Folge dessen sinkt die Spannung um einige Volt ab, was in der Änderung 10 der Kurve 2 zu sehen ist. Das Ansteuerungssignal des ersten Aktors wird als Be-

zug für die Signale der anderen Aktoren genommen. So wird der Zeitpunkt  $t_2$  als ideal angesehen.

[0011] Wird das Ansteuersignal eines zweiten Aktors (Injektors) betrachtet, der mit derselben maximalen Spannung  $U_1$  betrieben wird, so kann es passieren, dass aufgrund von Fertigungstoleranzen, der maximale Anschlag beispielsweise zum nicht idealen Zeitpunkt  $t_3$  stattfindet, d. h. also später als bei dem ersten Aktor. Die Ansteuerungskurve des zweiten Aktors ist mit 3 gekennzeichnet und punktiert dargestellt. Wie bereits erwähnt, findet der Spannungseinbruch zum Zeitpunkt  $t_3$  statt und ist mit dem Bezugszeichen 11 gekennzeichnet. Da die Motorsteuerung der BKM auf das Anschlagssignal getriggert ist, wird der zweite Aktor im Zeitpunkt  $t_6$  erst abgeregelt. Dies hat zur Folge, dass die von diesem zweiten Aktor abgegebene Einspritzmenge höher ist.

[0012] Um dies zu verhindern, wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die maximale am zweiten Injektor anliegende Spannung derart verändert, dass der Spannungseinbruch zum idealen Zeitpunkt eintritt. Dies wird mit der gestrichelt dargestellten Kurve 4 gezeigt. Der zweite Aktor braucht eine maximale Spannung  $U_2$  (beispielsweise 135 V) um zum selben idealen Zeitpunkt  $t_2$  einen Spannungseinbruch zu erzielen, d. h. dass die Nadel ihren maximalen Hub erreicht. Wie in Figur 1 zu sehen ist, verändert sich durch Erhöhung der maximalen Spannung auf  $U_2$  die Kurve 3 in Kurve 4, wobei der Knick 11 früher kommt und die Amplitude entsprechend erhöht ist. Dies hat zur Folge, dass die dazugehörige Voreinspritzung 7 gestrichelt dargestellt, ebenfalls eine höhere Amplitude der Spannung aufweist.

[0013] Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Figur 2 abgebildet. In Schritt S1 erfolgt eine Initialisierung beim Motorstart, das heißt, dass die Kurbelwelle des Motors durch den Elektrostarter angetrieben wird. In Schritt S2 wird solange gewartet, bis vorgegebene Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Zu diesen Aktivierungsbedingungen gehören konstanter Einspritzdruck, festgelegter Einspritzbeginn, konstante Drehzahl. Sobald ein solch definierter stationärer Betriebspunkt vorliegt, werden in Schritt S4 die Einspritzparameter für einen bestimmten Einspritzdruck  $p_1$  geladen. Der Anfangsdruck liegt bei beispielsweise 400 bar. Die Hochdruckpumpe benötigt ca. 1 Sekunde um diesen Druck aufzubauen. Als nächstes wird in Schritt S5 zylinderselektiv die Aktorenergie angepasst. So wird eine Spannung von beispielsweise 130 V angelegt und geschaut, wann der Spannungseinbruch 10 bzw. 11 eintritt. Liegt der Spannungseinbruch vor bzw. nach  $t_2$ , muss entsprechend die Aktorenergie angepasst werden. Findet der Spannungseinbruch zum richtigen idealen Zeitpunkt  $t_2$  statt, so geht es zu Schritt S7 weiter. Dort werden die zugehörigen Einspritzparameter  $i$  abgespeichert. Wie oben erwähnt, liegt der Anfangsdruck  $p_1$  bei 400 bar. In Schritt S8 wird der Einspritzdruck  $p_i$  überprüft. Liegt er unterhalb von einem maximalen Druck von beispielsweise 1500 bar, geht es zu

Schritt S9 über. Dort wird der anliegende Druck um beispielsweise 100 bar erhöht. In Schritt S10 wird lediglich der Index um 1 erhöht, wobei dann in Schritt S4 die dazugehörigen Parameter  $p_2$  geladen werden. Nun liegt ein Einspritzdruck von 500 bar an. Entsprechend werden dann die Schritte S5 bis S8 durchgeführt. Dies wird solange wiederholt, bis der Einspritzdruck auf den maximalen Druck von beispielsweise 1500 bar erhöht wurde. Damit wurden für die verschiedenen Einspritzdrücke die Aktorenergie der einzelnen Injektoren angepasst. Nach erfolgter Kalibration, die ungefähr 3 bis 4 Sekunden andauert, kann das Anlassen des Motors begonnen werden. Sobald der in den Brennraum des Motors eingespritzte Brennstoff selbst gezündet hat, kann die Aktivierung des Elektrostarters beendet werden.

[0014] Besonders vorteilhaft ist es, dass eine Adaption der Einspritzmenge, insbesondere bei der Erstinbetriebnahme des Betriebssystems durchgeführt werden kann, ohne dass dabei zusätzliche Sensorik benötigt wird. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, die Einspritzparameter und die Aktorenergie für Kaltstarts zu optimieren. Insbesondere bei Außentemperaturen von bis zu  $-30^\circ\text{C}$ , ist das erfindungsgemäße Verfahren sehr vorteilhaft, da sich die Viskosität des Brennstoffs dabei erhöht und die für das Ansteuern des Injektors nötige Energie ebenfalls eine andere ist, als bei einer Normaltemperatur von ca.  $25^\circ\text{C}$ .

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Piezoinjektors, während der Startphase der Brennkraftmaschine, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- a) die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine wird **durch** einen Starter, insbesondere **durch** einen Elektrostarter, gedreht;
- b) der Aktor des Einspritzventils wird mit einem Ansteuersignal derart beaufschlagt, dass beim Erreichen des maximalen Nadelhubs des Aktors das Ansteuersignal verändert wird;
- d) diese Änderung des Ansteuersignals wird ausgewertet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umdrehungsgeschwindigkeit des Starters in Schritt a) konstant ist, bevor Schritt b) ausgeführt wird.

3. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt c) die elektrische Spannung des Ansteuersignals absinkt.

4. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ein-

spritzmenge des durch den Aktor eingespritzten Brennstoffes pro Kolbenhub mindestens 20mg beträgt.

die Brennkraftmaschine nicht anspringt.

5. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Auswertung in Schritt d) der Zeitpunkt ( $t_3$ ) bestimmt wird, bei dem die Nadel des Aktors den maximalen Hub erreicht hat. 5
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt d) Schritt e) folgt, wobei in Schritt e) die Energie des Ansteuersignals angepasst wird, wenn der Zeitpunkt für das Erreichen des maximalen Nadelhubs von einem idealen Zeitpunkt ( $t_2$ ) abweicht. 10
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannung des Ansteuersignals entsprechend angehoben wird, wenn der Zeitpunkt ( $t_3$ ) für das Erreichen des maximalen Nadelhubs nach dem idealen Zeitpunkt ( $t_2$ ) eintritt und dass die Spannung des Ansteuersignals entsprechend verringert wird, wenn der Zeitpunkt für das Erreichen des maximalen Nadelhubs vor dem idealen Zeitpunkt ( $t_2$ ) eintritt. 20
8. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine mehrere Aktoren aufweist, wobei in Schritt d) für jeden Aktor der jeweilige Zeitpunkt für das Erreichen des maximalen Nadelhubs bestimmt wird und in Schritt e) die Energie der Ansteuersignale aller Aktoren angepasst wird, so dass die Spannungsabsenkung für jeden Aktor zum idealen Zeitpunkt ( $t_2$ ) eintritt. 30
9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt e) ein Schritt f) folgt, wobei in Schritt f) die für jeden Aktor nötige Energie zur Erreichung des maximalen Nadelhubs zum idealen Zeitpunkt bestimmt und abgespeichert wird. 35
10. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt f) ein Schritt g) folgt, wobei in Schritt g) der Einspritzdruck des Aktors um einen bestimmten Betrag verändert wird. 40
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte b) bis f) solange in alphabetischer Reihenfolge wiederholt werden, bis der Einspritzdruck einen Extremwert erreicht hat. 45
12. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einspritzbeginn der Aktoren derart eingestellt ist, dass 50

FIG 1

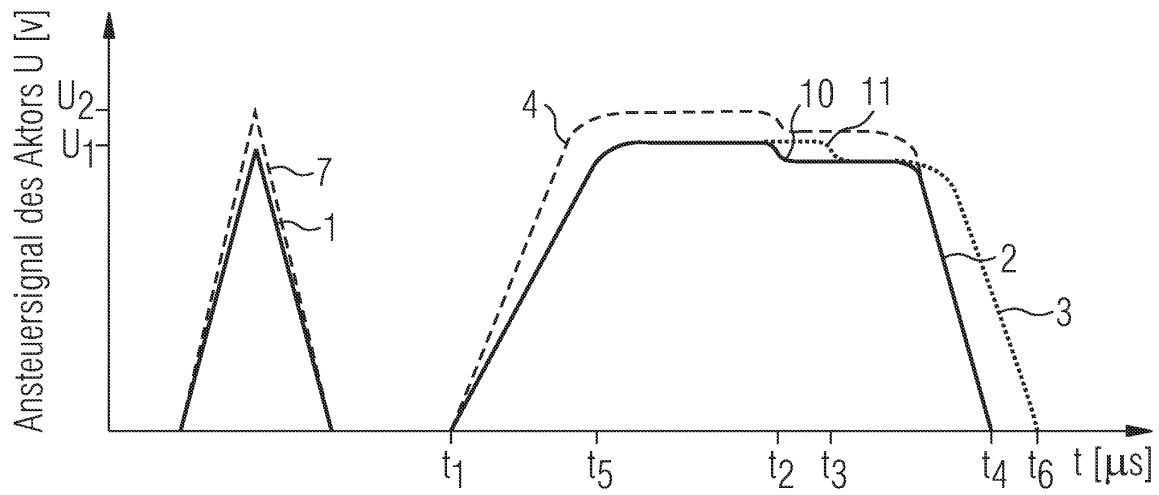
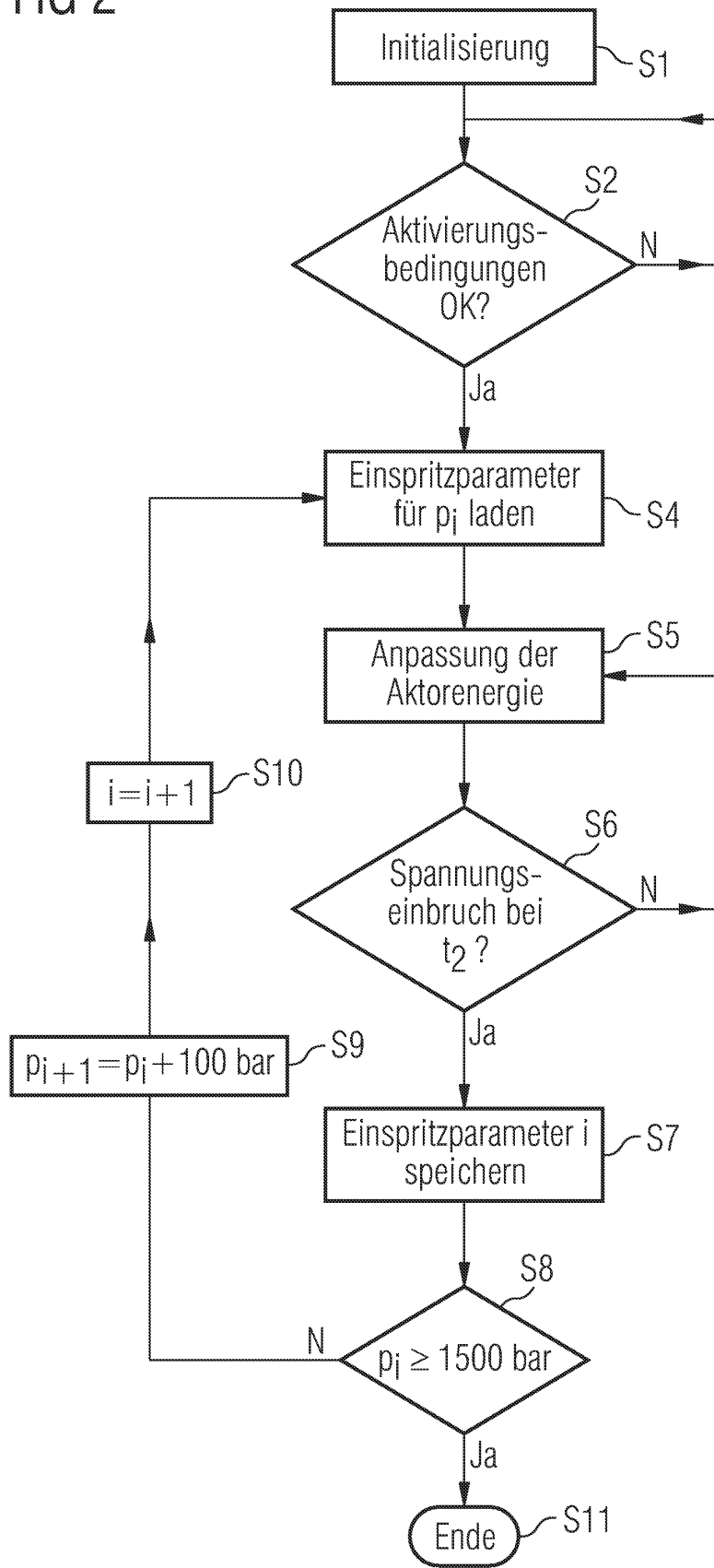


FIG 2





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 05 10 0174

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                              | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | US 5 865 371 A (PACE ET AL)<br>2. Februar 1999 (1999-02-02)<br>* Zusammenfassung *<br>* Spalte 1, Zeile 17 - Spalte 1, Zeile 26 *<br>* Spalte 1, Zeile 52 - Spalte 2, Zeile 29 * | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | F02D41/34<br>F02D41/40                  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                         | -----<br>US 2002/152985 A1 (WOLFF PETER U)<br>24. Oktober 2002 (2002-10-24)<br>* das ganze Dokument *                                                                            | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                         | -----<br>US 6 260 521 B1 (KIRSCHBAUM FRANK)<br>17. Juli 2001 (2001-07-17)<br>* das ganze Dokument *                                                                              | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | F02D                                    |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                         |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                  | Abschlußdatum der Recherche<br><b>9. Mai 2005</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Prüfer<br><b>Jackson, S</b>             |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer 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 Patentdokument, das jedoch erst am oder 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 Dokument |                                         |

2  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 05 10 0174

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.

09-05-2005

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |              | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------------|
| US 5865371                                         | A  | 02-02-1999                    | DE                                | 69703690 D1  | 18-01-2001                    |
|                                                    |    |                               | DE                                | 69703690 T2  | 10-05-2001                    |
|                                                    |    |                               | EP                                | 0914551 A2   | 12-05-1999                    |
|                                                    |    |                               | JP                                | 2002514281 T | 14-05-2002                    |
|                                                    |    |                               | KR                                | 2000029588 A | 25-05-2000                    |
|                                                    |    |                               | WO                                | 9804823 A2   | 05-02-1998                    |
| -----                                              |    |                               |                                   |              |                               |
| US 2002152985                                      | A1 | 24-10-2002                    | WO                                | 02086302 A1  | 31-10-2002                    |
| -----                                              |    |                               |                                   |              |                               |
| US 6260521                                         | B1 | 17-07-2001                    | DE                                | 19902664 A1  | 10-08-2000                    |
|                                                    |    |                               | FR                                | 2793839 A1   | 24-11-2000                    |
|                                                    |    |                               | IT                                | RM990786 A1  | 22-06-2001                    |
| -----                                              |    |                               |                                   |              |                               |

EPO FORM P0461

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