

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
16. Juni 2005 (16.06.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/054652 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F02D 41/20**

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/053161

(22) Internationales Anmeldedatum:  
29. November 2004 (29.11.2004)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 56 858.1 5. Dezember 2003 (05.12.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

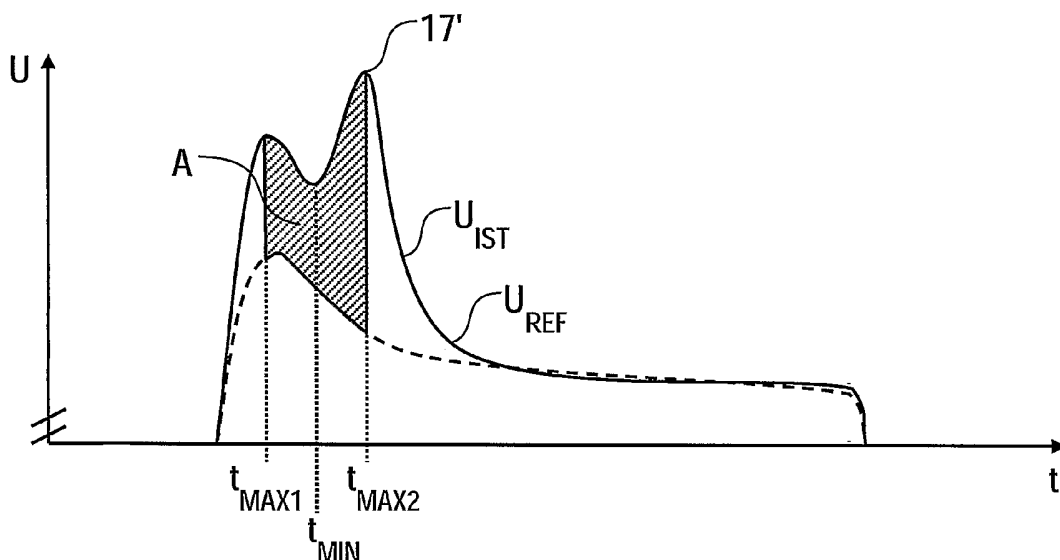
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LIXL, Heinz** [DE/DE]; Brunhuberstr. 12a, 93053 Regensburg (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE OPERATION OF AN INJECTION VALVE ACTUATOR, AND ASSOCIATED DEVICE

(54) Bezeichnung: BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINEN AKTOR EINES EINSPRITZVENTILS UND ZUGEHÖRIGE VORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an injection valve actuator of an internal combustion engine, especially a piezo actuator, comprising the following steps: the progress ( $U_{IST}$ ) of an electrical operational parameter of the actuator is measured during the injection operation; an injection variable that represents the injection behavior of the injection valve is determined in accordance with the measured operational parameter; the measured progress ( $U_{IST}$ ) of the operational parameter is compared to a stored reference curve ( $U_{REF}$ ) representing the history of the operational parameter at a certain reference pattern; and the relevant injection variable is determined in accordance with the comparison. The invention also relates to a corresponding device.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für einen Aktor eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Piezoaktor, mit den folgenden Schritten: Messung des zeitlichen Verlaufs ( $U_{IST}$ ) einer elektrischen Betriebsgröße des Aktors während des Einspritzbetriebs, Ermittlung einer das Einspritzverhalten des Einspritzventils wiedergebenden Einspritzgröße in Abhängigkeit von der gemessenen Betriebsgröße, Vergleich des gemessenen Verlaufs ( $U_{IST}$ ) der Betriebsgröße mit einer gespeicherten Referenzkurve ( $U_{REF}$ ), die den zeitlichen Verlauf der Betriebsgröße bei einem Referenzmuster wiedergibt, sowie Ermittlung der interessierenden Einspritzgröße in Abhängigkeit von dem Vergleich. Weiterhin umfasst die Erfindung eine entsprechende Vorrichtung.

## Beschreibung

Betriebsverfahren für einen Aktor eines Einspritzventils und zugehörige Vorrichtung

5

Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für einen Aktor eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Piezoaktor, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine entsprechende Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 14.

10

Aus DE 199 30 309 A1 sowie aus DE 100 24 662 A1 ist es bekannt, bei einer Einspritzanlage mit Piezoaktoren zur Ansteuerung der Einspritzventile die Aktorspannung auszuwerten, um daraus den Einspritzbeginn zu ermitteln.

15

Nachteilig an diesem bekannten Erfahren zur Ermittlung des Einspritzbeginns aus der Aktorspannung ist jedoch die verbesserungsfähige Genauigkeit.

20

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, die eine möglichst genaue Bestimmung des Einspritzbeginns aus der gemessenen Aktorspannung ermöglicht.

25

Diese Aufgabe wird, ausgehend von dem eingangs beschriebenen bekannten Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 und - hinsichtlich einer entsprechenden Vorrichtung - durch die Merkmale des Anspruchs 14 gelöst.

30

Die Erfindung umfasst die allgemeine technische Lehre, eine elektrische Betriebsgröße des Aktors zu messen und in Abhängigkeit davon eine Einspritzgröße zu ermitteln, die das Einspritzverhalten des Einspritzventils wiedergibt, wobei die gemessene elektrische Betriebsgröße des Aktors mit einer gespeicherten Referenzkurve verglichen wird, die den zeitlichen

35

Verlauf der Betriebsgröße bei einem Referenzmuster wieder-  
gibt.

- Vorzugsweise handelt es sich bei der gemessenen elektrischen Betriebsgröße um die Aktorspannung, jedoch ist es grundsätz-  
5   lich auch möglich, andere elektrische Betriebsgrößen des Ak-  
tors zu messen und auszuwerten, um in Abhängigkeit davon die  
interessierende Einspritzgröße zu ermitteln.
- 10   Weiterhin ist zu erwähnen, dass die Erfindung nicht auf die  
Bestimmung des Einspritzbeginns als interessierende Ein-  
spritzgröße beschränkt ist. Vielmehr können im Rahmen der Er-  
findung grundsätzlich auch andere Einspritzgrößen ermittelt  
werden, die das Einspritzverhalten des jeweiligen Einspritz-  
15   ventils wiedergeben, wobei lediglich beispielhaft die Ein-  
spritzmenge und die Öffnungsgeschwindigkeit der Düsennadel zu  
erwähnen sind.

- Die vorgegebene Referenzkurve gibt vorzugsweise den zeit-  
20   lichen Verlauf der gemessenen Betriebsgröße bei einem Refe-  
renzmuster eines Injektor wieder, bei dem die Düsennadel  
festgebremst ist, was beispielsweise durch Festlöten der Dü-  
sennadel erreicht werden kann. Die Bestimmung der Referenz-  
kurve der zu messenden elektrischen Betriebsgröße an dem Re-  
25   ferenzmuster erfolgt vorzugsweise in einem separaten Kalib-  
rierverfahren außerhalb des normalen Einspritzbetriebs, da  
das Festlöten der Düsennadel zu einer Beschädigung des zuge-  
hörigen Injektors führt. Es ist jedoch grundsätzlich auch  
möglich, die Düsennadel in einer Weise fest zu bremsen, die  
30   nicht zu einer Beschädigung des jeweiligen Injektors führt.  
Beispielsweise kann der Aktor bei der Ermittlung der Refe-  
renzkurve mit einem elektrischen Steuersignal angesteuert  
werden, das nicht ausreicht, um das Einspritzventil zu öff-  
nen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass  
35   die Spannungsamplitude des elektrischen Steuersignals oder  
die zeitliche Dauer des Steuersignals entsprechend gering ge-  
wählt wird.

Vorzugsweise wird im Rahmen des Vergleichs zwischen der gemessenen elektrischen Betriebsgröße und der entsprechenden Referenzkurve eine Spannungsdifferenz gebildet und die interessierende Einspritzgröße in Abhängigkeit von der Spannungsdifferenz bestimmt.

Die Bestimmung der Spannungsdifferenz erfolgt vorzugsweise für einen bestimmten Zeitpunkt nach der Aufladung des Aktors, wobei hierfür ein Zeitpunkt gewählt wird, der möglichst aussagekräftig ist. Hierzu eignen sich insbesondere lokale Maxima der gemessenen Aktorspannung, wobei sich das zweite lokale Maximum der gemessenen Aktorspannung nach dem Aufladen des Aktors als besonders aussagekräftig für die Bestimmung der Spannungsdifferenz erwiesen hat.

In bestimmten Betriebszuständen der Einspritzanlage kann es jedoch vorkommen, dass die Aktorspannung nach dem Aufladen des Aktors kein zweites lokales Maximum aufweist, da der Entladevorgang bereits vor dem Auftreten des zweiten lokalen Maximums eingeleitet wurde. In einem solchen Fall ist es zweckmäßig, die Berechnung der Spannungsdifferenz zwischen der gemessenen Aktorspannung und dem entsprechenden Spannungswert der Referenzkurve spätestens zu Beginn des Entladevorgangs durchzuführen.

Die Berechnung der Spannungsdifferenz für die Bestimmung der interessierenden Einspritzgröße erfolgt also vorzugsweise zum Zeitpunkt des zweiten lokalen Maximums der Aktorspannung, spätestens jedoch zu Beginn des Entladevorgangs.

In einer anderen Variante der Erfindung erfolgt bei dem Vergleich des zeitlichen Verlaufs der gemessenen elektrischen Betriebsgröße des Aktors mit der gespeicherten Referenzkurve eine flächenmäßig Betrachtung, indem das von dem gemessenen Verlauf der Betriebsgröße und der Referenzkurve eingeschlossene Flächenintegral bestimmt wird.

Die Bestimmung des Flächenintegrals erfolgt hierbei vorzugsweise zwischen dem Zeitpunkt des ersten lokalen Maximums der gemessenen Betriebsgröße und entweder dem zweiten lokalen Maximum der gemessenen Betriebsgröße oder dem Beginn des Entladevorgangs.

Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine Querschnittsansicht einer Steuereinheit eines Injektors für eine Einspritzanlage einer Brennkraftmaschine mit einem Piezoaktor,
- Figur 2 ein Kalibrierverfahren zur Erzeugung einer Referenzkurve in Form eines Flussdiagramms,
- Figur 3a eine erste Variante des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens in Form eines Flussdiagramms,
- Figur 3b eine Vorrichtung zur Durchführung der ersten Variante des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens,
- Figur 3c einen vereinfachten Verlauf des Aktorstroms bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens entsprechend der ersten Variante,
- Figur 3d den zeitlichen Verlauf der Aktorspannung bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens entsprechend der ersten Variante,
- Figur 4a eine zweite Variante des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens in Form eines Flussdiagramms,

- Figur 4b eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens entsprechend der zweiten Variante,
- 5 Figur 4c den zeitlichen Verlauf des Aktorstroms bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens entsprechend der zweiten Variante,
- 10 Figur 4d den zeitlichen Verlauf der Aktorspannung bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens entsprechend der zweiten Variante sowie
- 15 Figur 5 ein regelungstechnisches Ersatzschaltbild zur Regelung eines Piezoaktors unter Verwendung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens.

Die in Figur 1 dargestellte Steuereinheit eines Injektors einer Einspritzanlage für eine Brennkraftmaschine ist weitgehend herkömmlich aufgebaut und dient zur Ansteuerung einer Düsennadel 1, die in der Steuereinheit linear verschiebbar gelagert ist und die Kraftstoffeinspritzung in Abhängigkeit von ihrer Position freigibt oder sperrt.

25 Die Steuereinheit besteht aus drei übereinander angeordneten Modulen 2, 3, 4, wobei durch die Module 2, 3, 4 ein Hochdruckkanal 5 verläuft, über den der einzuspritzende Kraftstoff zugeführt wird. Der Hochdruckkanal 5 mündet in dem unteren Modul 4 in einem zylindrischen Kanal 6, über den der einzuspritzende Kraftstoff zu der Ventilöffnung gelangt.

35 Darüber hinaus ist in dem unteren Modul 4 ein Ringkanal 7 angeordnet, der die Düsennadel 1 ringförmig umgibt, wobei von dem Ringkanal 7 auf der dem Hochdruckkanal 5 gegenüberliegenden Seite ein weiterer Kanal abzweigt, der über eine Zulaufdrossel 8 in einen Steuerraum 9 mündet.

In dem mittleren Modul 3 befindet sich ein Ventilsitz 10 und ein verschiebbar gelagerter Ventilkörper 11, wobei der Ventilkörper 11 in Abhängigkeit von seiner Position den Ventilsitz 10 freigibt oder sperrt.

5

Der Ventilkörper 11 wird hierbei durch eine Feder 12 in Richtung auf den Ventilsitz 10 vorgespannt, so dass der Ventilkörper 11 ohne Anliegen äußerer Kräfte den Ventilsitz 10 abdichtet, so dass kein Kraftstoff aus dem Steuerraum 9 nach oben entweichen kann.

10

Zum mechanischen Antrieb des Ventilkörpers 11 ist ein Piezoaktor 13 vorgesehen, der über eine Bodenplatte 14 und einen Hubzapfen 15 auf einen an der Oberseite des Ventilkörpers 11 angeformten Ventilpilz 16 drückt. Der Piezoaktor 13 kann also den Ventilkörper 11 in Abhängigkeit von der an den Piezoaktor 13 angelegten elektrischen Spannung aus dem Ventilsitz 9 herausdrücken, so dass Kraftstoff aus dem Steuerraum 9 durch den Ventilsitz 10 und über eine nicht dargestellte Ablaufdrossel entweichen kann.

15

20

Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf das in Figur 2 dargestellte Flussdiagramm zunächst beschrieben, wie eine Referenzkurve aufgenommen wird, die den Spannungsverlauf  $U_{REF}(t)$  bei einem Labormuster des Aktors wiedergibt, bei dem die Düsennadel festgebremst ist.

25

Hierzu wird die Düsennadel bei dem Labormuster zunächst festgelötet, so dass sich die Düsennadel unabhängig von der Ansteuerung durch die in Figur 1 dargestellte Steuereinheit nicht bewegen kann.

30

Anschließend wird der Piezoaktor 13 wie im normalen Einspritzbetrieb elektrisch angesteuert, wobei der Spannungsverlauf  $U_{REF}$  gemessen wird.

35

Die entstehende Referenzkurve wird gespeichert und während des normalen Einspritzbetriebs berücksichtigt, wie noch detailliert beschrieben wird.

- 5 Im Folgenden wird nun eine erste Variante der Erfindung beschrieben, die in den Figuren 3a-3d dargestellt ist.

Hierbei erfolgt eine Ansteuerung des Aktors im normalen Einspritzbetrieb ohne Besonderheiten.

10

Während der elektrischen Ansteuerung des Aktors wird jedoch laufend die elektrische Spannung  $U_{IST}$  an dem Piezoaktor 13 gemessen und zwischengespeichert.

- 15 Nach einem Einspritzvorgang wird dann geprüft, ob der Spannungsverlauf  $U_{IST}$  ein zweites lokales Maximum 17 aufweist, dessen zeitliche Lage  $t_{MAX2}$  einen Rückschluss auf den tatsächlichen Einspritzbeginn zulässt.

- 20 So führt das Aufladen des Piezoaktors 13 zwischen dem Zeitpunkt  $t=t_{LADE}$  und dem Zeitpunkt  $t=t_{MAX1}$  zunächst zu einem Anstieg der Aktorspannung  $U$ .

- Zum Zeitpunkt  $t=t_{MAX1}$  wird der Ventilkörper 11 dann aufgrund  
25 der Längung des Piezoaktors 13 aus dem Ventilsitz 10 gehoben, so dass Kraftstoff aus dem Steuerraum 9 nach oben in den darüber befindlichen Leckageraum entweichen kann. Dadurch sinkt der auf den Piezoaktor 13 wirkende hydraulische Druck in dem Steuerraum 9, was zunächst zu einem entsprechenden Spannungs-  
30 abfall zwischen dem Zeitpunkt  $t=t_{MAX1}$  und dem Zeitpunkt  $t=t_{MIN}$  führt.

- Der Druckabfall in dem Steuerraum 9 hat jedoch auch zur Folge, dass sich die Düsennadel 1 in Richtung des Steuerraums 9  
35 bewegt und dabei Kraftstoff verdrängt. Diese Düsennadelbewegung überwiegt ab dem Zeitpunkt  $t=t_{MIN}$  den Druckverlust durch abströmenden Kraftstoff, so dass der Druck in dem Steu-

erraum 9 und damit die Spannung  $U$  bis zum Zeitpunkt  $t=t_{\text{MAX2}}$  wieder ansteigen.

5 Zum Zeitpunkt  $t=t_{\text{MAX2}}$  hat die Düsennadel 1 dann ihren Anschlag erreicht und verdrängt keinen weiteren Kraftstoff aus dem Steuerraum 9, so dass der Kraftstoffdruck in dem Steuerraum 9 durch den abfließenden Kraftstoff abnimmt, bis sich in dem Steuerraum 9 ein Gleichgewicht zwischen Zulauf und Ablauf eingestellt hat.

10

Zum Zeitpunkt  $t=t_{\text{ENTLAD}}$  wird der Piezoaktor 13 dann entladen, wodurch sich der Piezoaktor 13 verkürzt, so dass der Ventilkörper 11 den Ventilsitz 10 wieder verschließt.

15 Falls die Entladung so früh erfolgt, dass sich das zweite lokale Maximum 17 nicht ausbilden kann, so macht es keinen Sinn, auf das zweite lokale Maximum 17 zu warten.

20 In diesem Fall wird eine Vergleichsgröße  $x_1$  bestimmt, die gleich der gemessenen Aktorspannung  $U$  zu Beginn des Entladevorgangs ist. Darüber hinaus wird eine weitere Vergleichsgröße  $y_1$  bestimmt, die gleich dem entsprechenden Spannungswert der gespeicherten Referenzkurve ist.

25 Falls der gemessene Spannungsverlauf  $U_{\text{IST}}$  dagegen das zweite lokale Maximum 17 aufweist, so werden die beiden Vergleichsgrößen  $x_1$ ,  $y_1$  für den Zeitpunkt  $t_{\text{MAX2}}$  des zweiten lokalen Maximums 17 ermittelt.

30 In einem weiteren Schritt wird dann eine Differenz  $z_1$  der beiden Vergleichsgrößen  $x_1$ ,  $y_1$  berechnet, um daraus anschließend den Einspritzbeginn  $t_{\text{BEGINN}}$  berechnen zu können.

35 Das Blockschaltbild in Figur 3b zeigt eine stark vereinfachte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 18 zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens.

Als Eingangsgrößen erhält die Vorrichtung 18 die aktuelle Zeit  $t$ , ein Entladesignal sowie die aktuelle Aktorspannung  $U_{IST}$ .

- 5 Die aktuelle Zeit  $t$  wird einem Kennlinienglied 19 zugeführt, in dem die Referenzkurve  $U_{REF}$  gespeichert wird und das in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  einen zugehörigen Spannungswert  $y_1$  als Vergleichsgröße ausgibt.
- 10 Die aktuelle Aktorspannung  $U_{IST}$  wird als Vergleichsgröße  $x_1$  zusammen mit der Vergleichsgröße  $y_1$  einem Subtrahierer 20 zugeführt, der eine Differenzspannung  $z_1$  berechnet und diese an ein nachgeordnetes Abtast-/Halteglied 21 weitergibt. Das Abtast-/Halteglied wird von einer Steuereinheit 22 angesteuert,
- 15 die zum einen die aktuelle Aktorspannung  $U_{IST}$  und zum anderen ein Entladesignal auswertet. Die Steuereinheit 22 triggert das Abtast-/Halteglied 21 dann, wenn die aktuelle Aktorspannung  $U_{IST}$  das zweite lokale Maximum 17 aufweist oder spätestens, wenn das Entladesignal erscheint.
- 20 Das Abtast-/Halteglied 21 gibt dann die Spannungsdifferenz  $z_1$  an eine Auswertungseinheit 23 weiter, die in Abhängigkeit von der Spannungsdifferenz  $z_1$  und weiteren Größen den Einspritzbeginn  $t_{BEGINN, IST}$  berechnet.
- 25 Im folgenden wird nun anhand der Figuren 4a-4d eine zweite Variante der Erfindung beschrieben. Diese Variante stimmt jedoch weitgehend mit der vorstehend beschriebenen ersten Variante der Erfindung überein, so dass zur Vermeidung von Wiederholungen auf die vorstehende Beschreibung zu den Figuren 3a-3d verwiesen wird und im Folgenden für entsprechende Teile dieselben Bezugszeichen verwendet werden wie in den Figuren 3a-3d, die jedoch lediglich zur Unterscheidung durch ein Apostroph gekennzeichnet sind.
- 30
- 35 Eine Besonderheit dieser zweiten Variante der Anmeldung besteht darin, dass bei dem Vergleich des gemessenen tat-

- sächlichen Spannungsverlaufs  $U_{IST}$  der Aktorspannung mit der gespeicherten Referenzkurve  $U_{REF}$  eine flächenmäßige Betrachtung erfolgt, indem die Spannungsdifferenz  $z_1$  durch einen Integrierer 21' aufintegriert wird, wobei mit dem Zeitpunkt  $t_{MAX1}$  des ersten lokalen Maximums begonnen wird, wohingegen die Integration entweder zum Zeitpunkt  $t_{MAX2}$  des zweiten lokalen Maximums 17' oder spätestens mit dem Beginn des Entladevorgangs beendet wird.
- 10 Die von dem Integrierer 21' berechnete Fläche A wird dann der Auswertungseinheit 23' zugeführt, die in Abhängigkeit davon und unter Berücksichtigung weiterer Größen den Einspritzbeginn  $t_{BEGINN, IST}$  berechnet.
- 15 Figur 5 zeigt schließlich ein regelungstechnisches Ersatzschaltbild zur Regelung des Piezoaktor 13 unter Verwendung des vorstehend beschriebenen Verfahrens.
- Als Sollwert wird hierbei der gewünschte Einspritzbeginn  $t_{BEGINN, SOLL}$  vorgegeben, der einem Subtrahierer 24 zugeführt wird.
- Der Subtrahierer 24 erhält als weitere Eingangsgröße über eine Rückkopplungsschleife 25 den Ist-Wert  $t_{BEGINN, IST}$  für den Einspritzbeginn, der von der vorstehend beschriebenen Vorrichtung 18 ermittelt wird. Hierzu ist die Vorrichtung 18 eingangsseitig mit einem Spannungssensor 26 verbunden, der die Aktorspannung  $U_{IST}$  misst.
- Ausgangsseitig ist der Subtrahierer 24 mit einem Regler 27 verbunden, der in Abhängigkeit von der Regelabweichung  $\Delta t$  eine Endstufe 28 ansteuert.
- Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen.

## Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für einen Aktor (13) eines Einspritz-  
ventils einer Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Pie-  
zoaktor, mit den folgenden Schritten:
- 5       - Messung des zeitlichen Verlaufs ( $U_{IST}$ ) einer elektrischen  
Betriebsgröße des Aktors (13) während des Einspritzbe-  
triebs,
- 10       - Ermittlung einer das Einspritzverhalten des Einspritz-  
ventils wiedergebenden Einspritzgröße ( $t_{HNGINN}$ ) in Abhängig-  
keit von der gemessenen Betriebsgröße,  
g e k e n n z e i c h n e t   d u r c h  
folgende Schritte:
- 15       - Vergleich des gemessenen Verlaufs ( $U_{IST}$ ) der Betriebsgröße  
mit einer gespeicherten Referenzkurve ( $U_{REF}$ ), die den zeit-  
lichen Verlauf der Betriebsgröße bei einem Referenzmuster  
wiedergibt,
- 20       - Ermittlung der interessierenden Einspritzgröße ( $t_{BEGINN}$ ) in  
Abhängigkeit von dem Vergleich.
2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,  
dass bei dem Referenzmuster die Düsenadel festgebremst ist,  
so dass die Referenzkurve ( $U_{REF}$ ) den zeitlichen Verlauf der  
25 Betriebsgröße bei festgebremster Düsenadel wiedergibt.
3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die gemessene Betriebsgröße des Aktors (13) die Ak-  
30 torspannung ist.
4. Betriebsverfahren nach Anspruch 3,  
g e k e n n z e i c h n e t   d u r c h  
folgende Schritte:
- 35       - Berechnung einer Spannungsdifferenz ( $z_1$ ) zwischen der ge-  
messenen Aktorspannung und einem entsprechenden Spannungs-  
wert der Referenzkurve ( $U_{REF}$ ),

- Bestimmung der interessierenden Einspritzgröße ( $t_{\text{BEGINN}}$ ) in Abhängigkeit von der Spannungsdifferenz ( $z_1$ ).

5. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,

5 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h  
folgende Schritte:

- Bestimmung eines lokalen Maximums (17) der gemessenen Aktorspannung,
- Berechnung der Spannungsdifferenz ( $z_1$ ) für den Zeitpunkt  
10 des lokalen Maximums (17).

6. Betriebsverfahren nach Anspruch 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

15 dass das lokale Maximum (17) für die Berechnung der Spannungsdifferenz das zweite lokale Maximum nach dem Aufladen des Aktors (13) ist.

7. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6,

g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

20 folgende Schritte:

- Entladen des Aktors (13) zu einem vorgegebenen Entladezeitpunkt ( $t_{\text{ENTLADE}}$ ),
- Berechnung der Spannungsdifferenz für den Entladezeitpunkt ( $t_{\text{ENTLADE}}$ ).

25

8. Betriebsverfahren nach Anspruch 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

30 dass die Spannungsdifferenz ( $z_1$ ) nur beim Fehlen des zweiten lokalen Maximums (17) der Aktorspannung für den Entladezeitpunkt ( $t_{\text{ENTLADE}}$ ) berechnet wird.

9. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

- Berechnung des von dem gemessenen Verlauf ( $U_{\text{IST}}$ ) der Betriebsgröße und der Referenzkurve ( $U_{\text{REF}}$ ) eingeschlossenen  
35 Flächenintegrals ( $A$ ),
- Bestimmung der interessierenden Einspritzgröße ( $t_{\text{BEGINN}}$ ) in Abhängigkeit von dem Flächenintegral ( $A$ ).

10. Betriebsverfahren nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Flächenintegral (A) zwischen dem ersten lokalen Maximum ( $t_{MAX1}$ ) der gemessenen Betriebsgröße und entweder dem  
5 zweiten lokalen Maximum ( $t_{MAX2}$ ) der gemessenen Betriebsgröße  
oder dem Entladezeitpunkt ( $t_{ENTLADEN}$ ) ermittelt wird.
11. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet,  
dass die interessierende Einspritzgröße der Einspritzbeginn ( $t_{BEGINN}$ ) ist.
12. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Betriebsgröße des Aktors (13) während und/oder nach  
einem Ladevorgang, aber vor dem folgenden Entladevorgang ge-  
20 messen wird.
13. Betriebsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 dass der Aktor (13) in Abhängigkeit von der ermittelten Einspritzgröße ( $t_{HKGINN}$ ) geregelt wird.
14. Vorrichtung zur Überwachung eines Aktors (13) für ein  
Einspritzventil einer Brennkraftmaschine, insbesondere für  
30 einen Piezoaktor, mit
- einer mit dem Aktor (13) verbundenen Messeinheit (26) zur  
Messung des zeitlichen Verlaufs ( $U_{IST}$ ) einer elektrischen Betriebsgröße des Aktors (13),  
35 einer mit der Messeinheit (26) verbundenen Auswertungseinheit  
(18) zur Bestimmung einer das Einspritzverhalten des Ein-

14

spritzventils wiedergebenden Einspritzgröße ( $t_{\text{BEGINN}}$ ) in Abhängigkeit von der elektrischen Betriebsgröße des Aktors (13),

g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

5

ein Kennlinienglied (19, 19') zur Speicherung einer Referenzkurve ( $U_{\text{REF}}$ ), die den zeitlichen Verlauf der Betriebsgröße bei einem Referenzmuster wiedergibt sowie

10 eine Vergleichseinheit (20, 20') zum Vergleich des gemessenen Verlaufs ( $U_{\text{IST}}$ ) der Betriebsgröße mit der gespeicherten Referenzkurve ( $U_{\text{REF}}$ ) und zur Bestimmung der Einspritzgröße ( $t_{\text{BEGINN}}$ ) in Abhängigkeit von dem Vergleich.

15 15. Vorrichtung nach Anspruch 14,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass bei dem Referenzmuster die Düsennadel festgebremst ist,  
so dass die Referenzkurve ( $U_{\text{REF}}$ ) den zeitlichen Verlauf der  
Betriebsgröße bei festgebremster Düsennadel wiedergibt.

20

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die gemessene Betriebsgröße des Aktors (13) die Aktorspannung ist.

25

17. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Vergleichseinheit einen Subtrahierer (20) aufweist,  
um die Differenz zwischen der gemessenen Betriebsgröße des  
30 Aktors (13) und dem entsprechenden Wert der Referenzkurve  
( $U_{\text{REF}}$ ) zu bilden.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h  
35 einen Integrierer (21') zur Bildung des von der Referenzkurve  
( $U_{\text{REF}}$ ) und dem gemessenen Verlauf ( $U_{\text{IST}}$ ) der Betriebsgröße eingeschlossenen Flächenintegrals (A).

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die interessierende Einspritzgröße der Einspritzbeginn  
5 ( $t_{\text{BEGINN}}$ ) ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19,  
gekennzeichnet durch  
einen Regler (27) zur elektrischen Regelung des Aktors (13)  
10 in Abhängigkeit von der ermittelten Einspritzgröße.

1/9

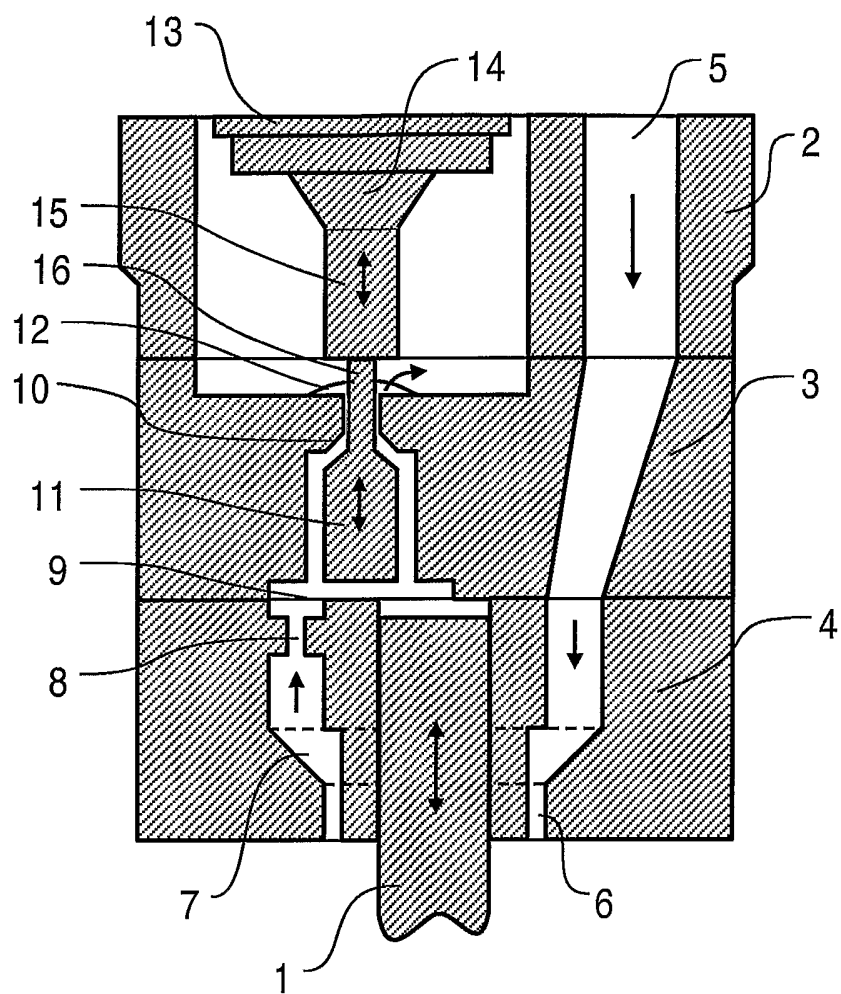


FIG 1

2/9

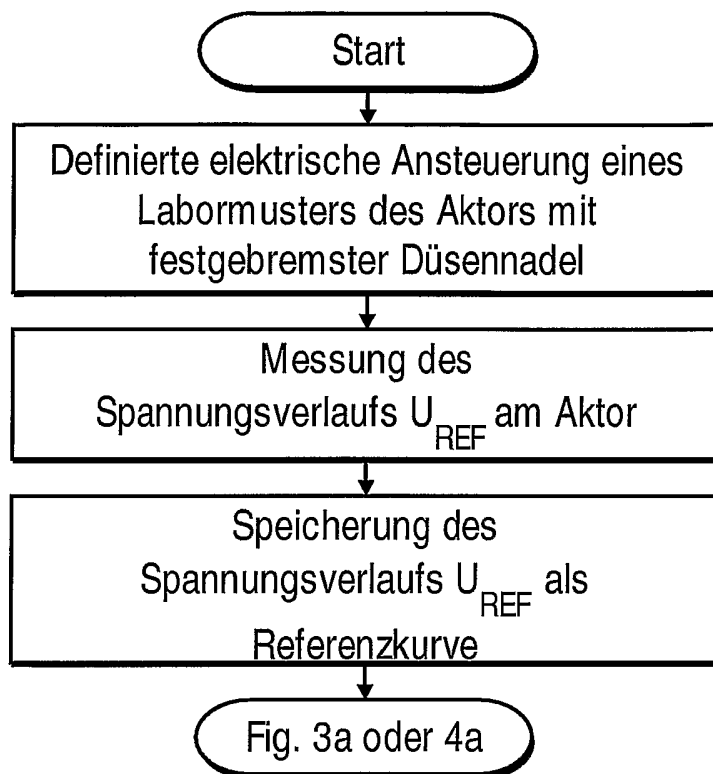


FIG 2

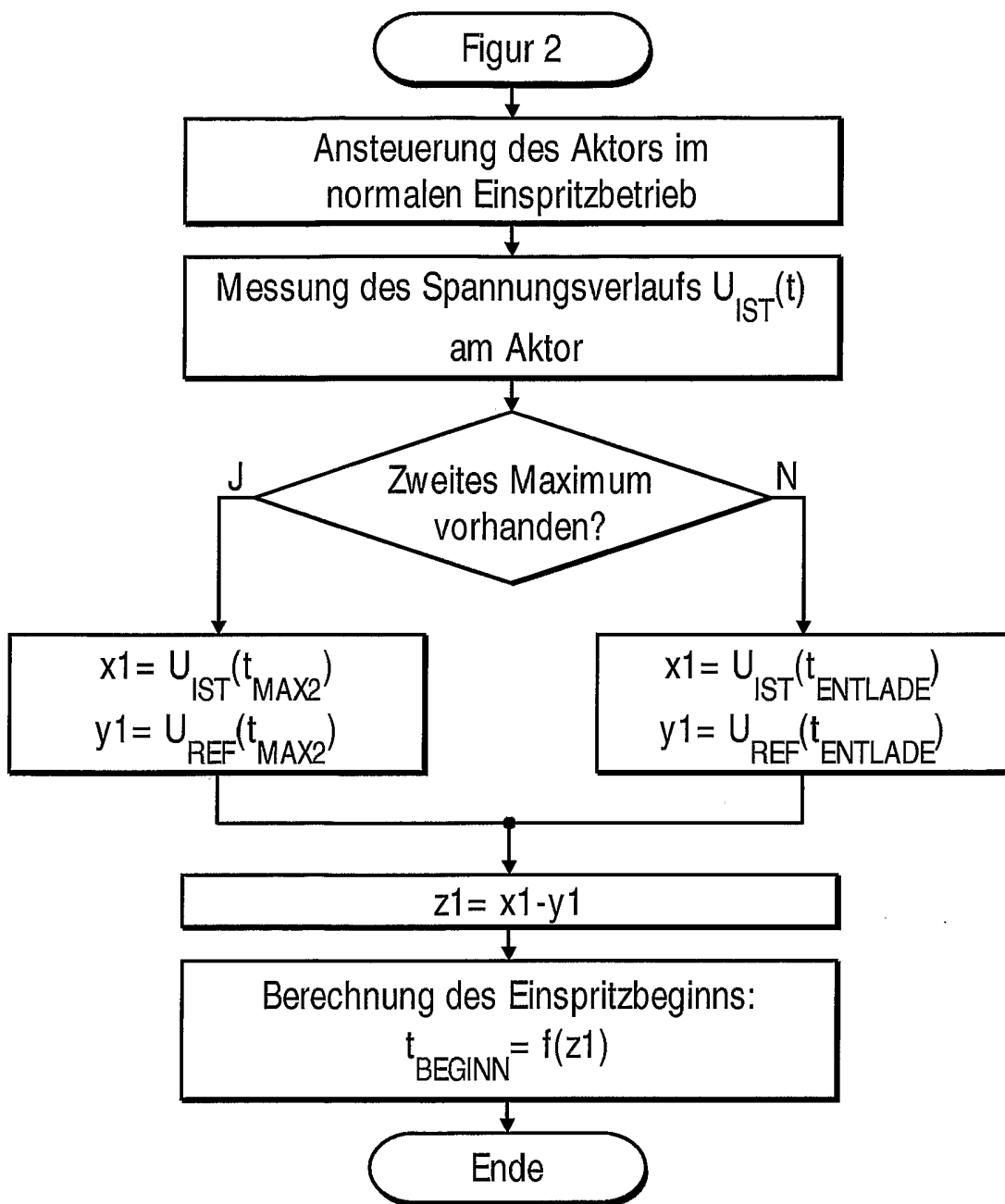


FIG 3a

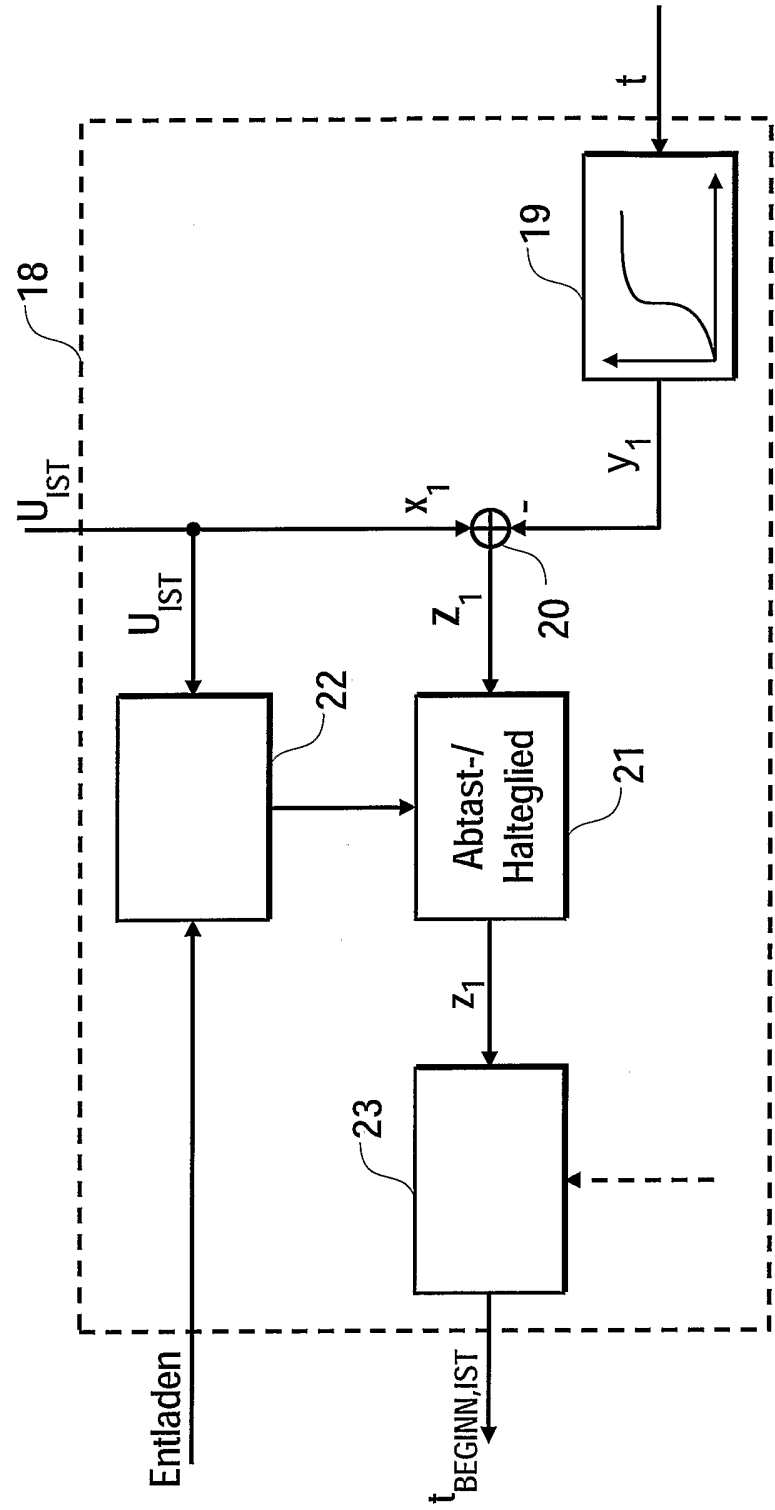


FIG 3b

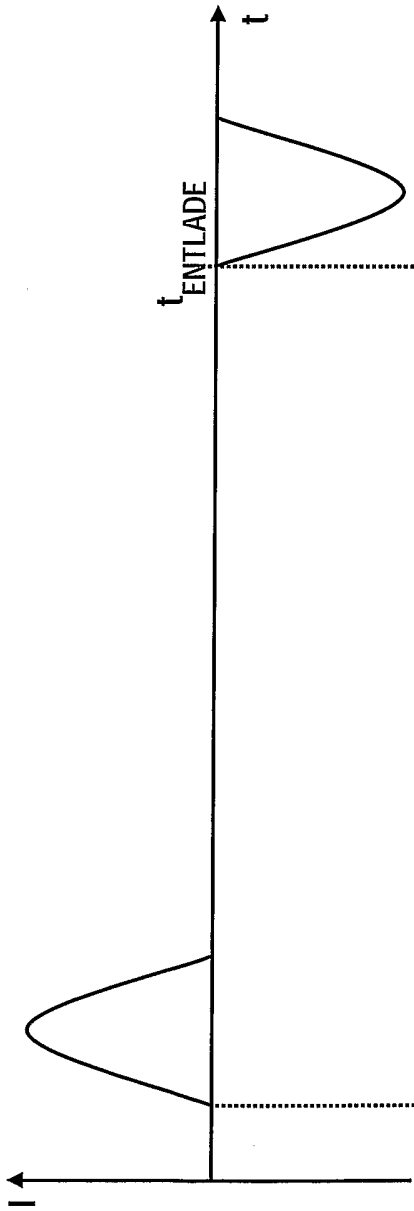


FIG 3c

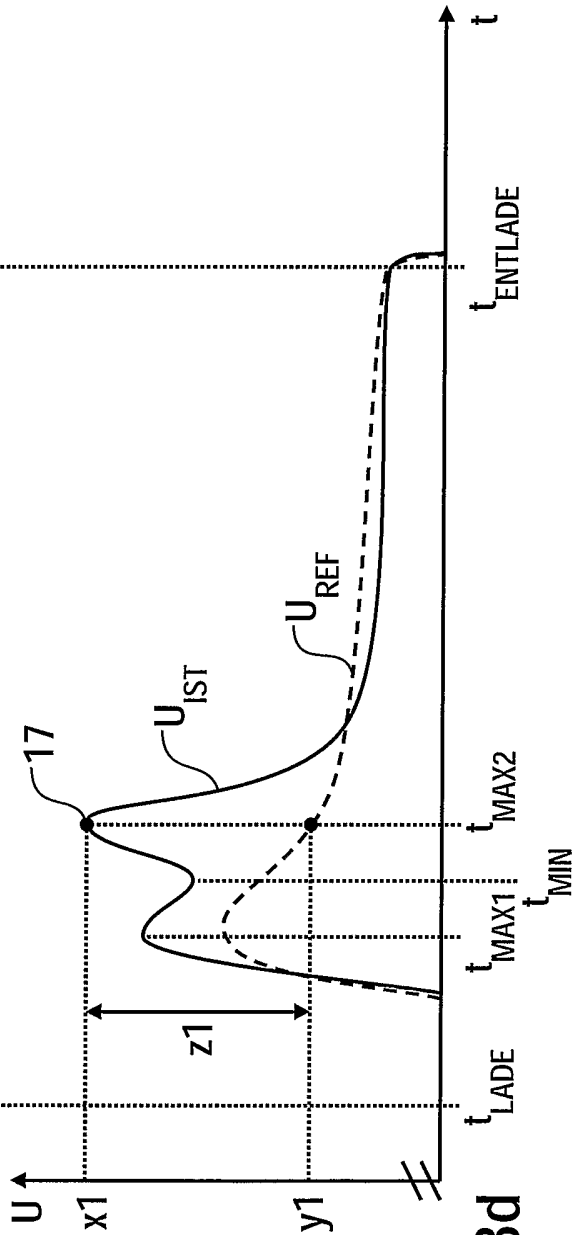


FIG 3d

6/9

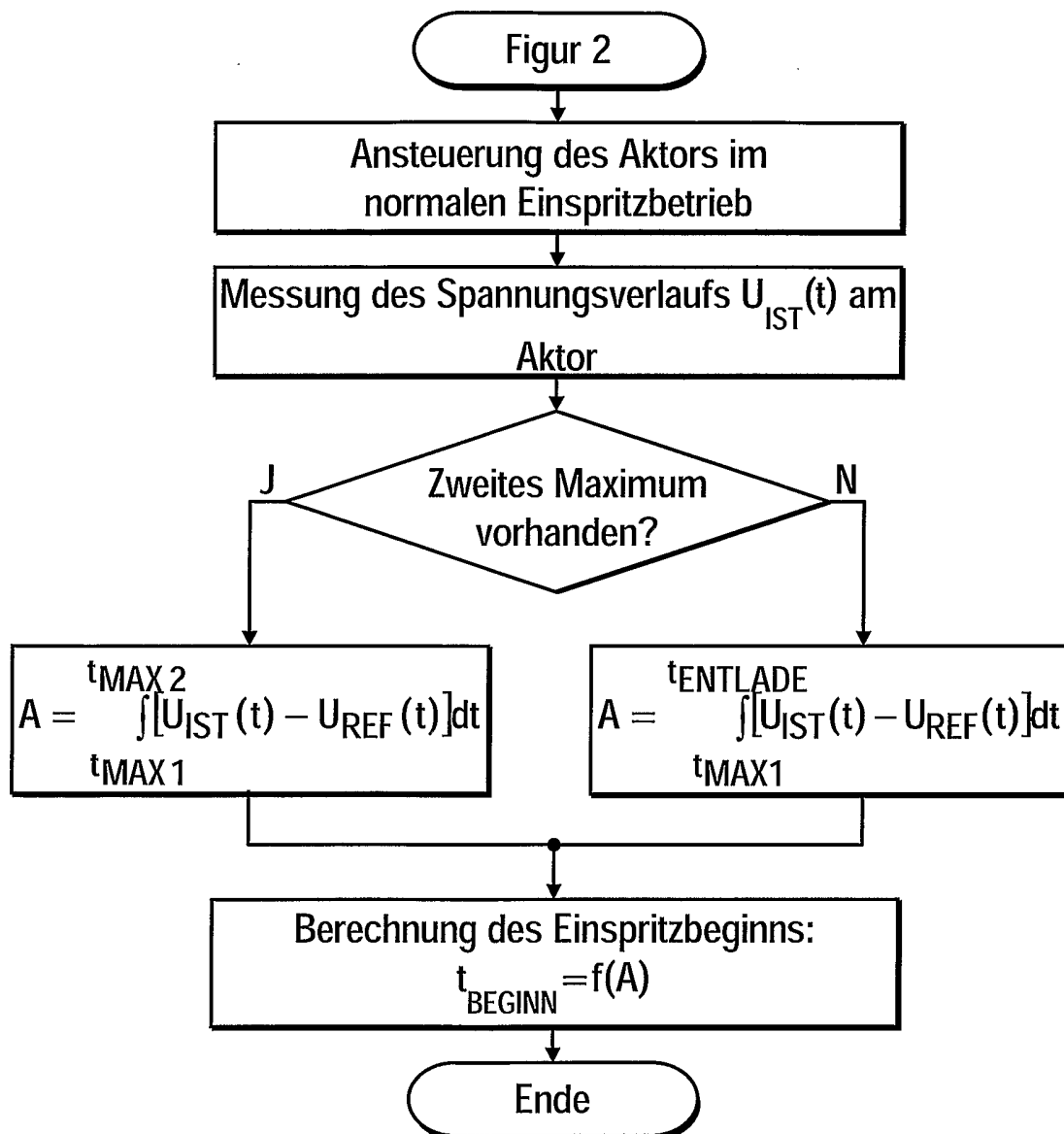


FIG 4a

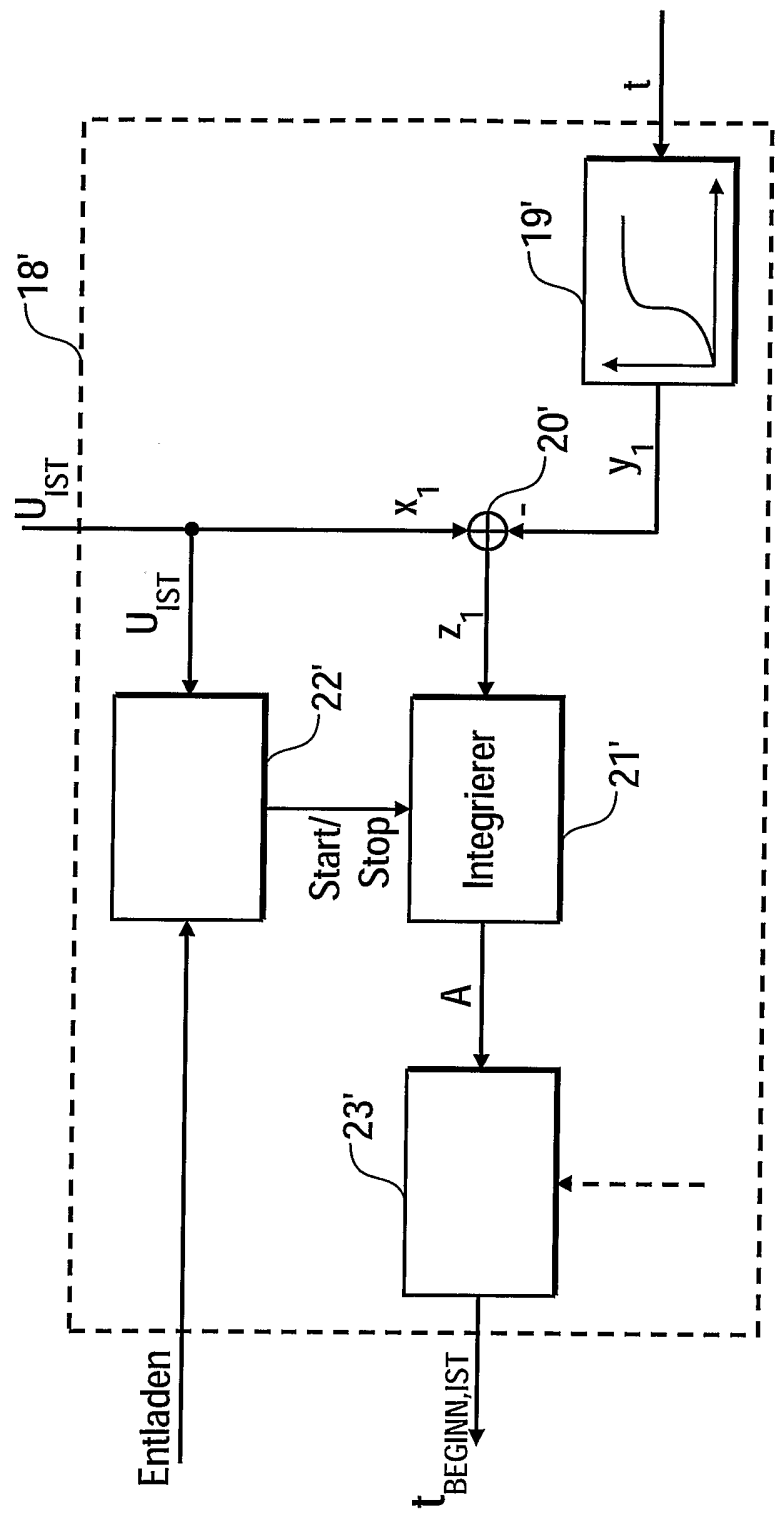


FIG 4b

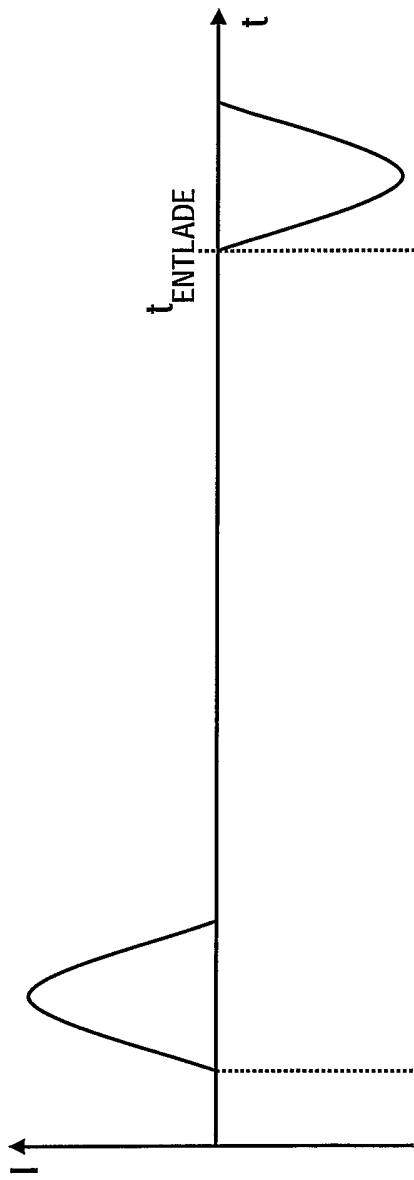


FIG 4c

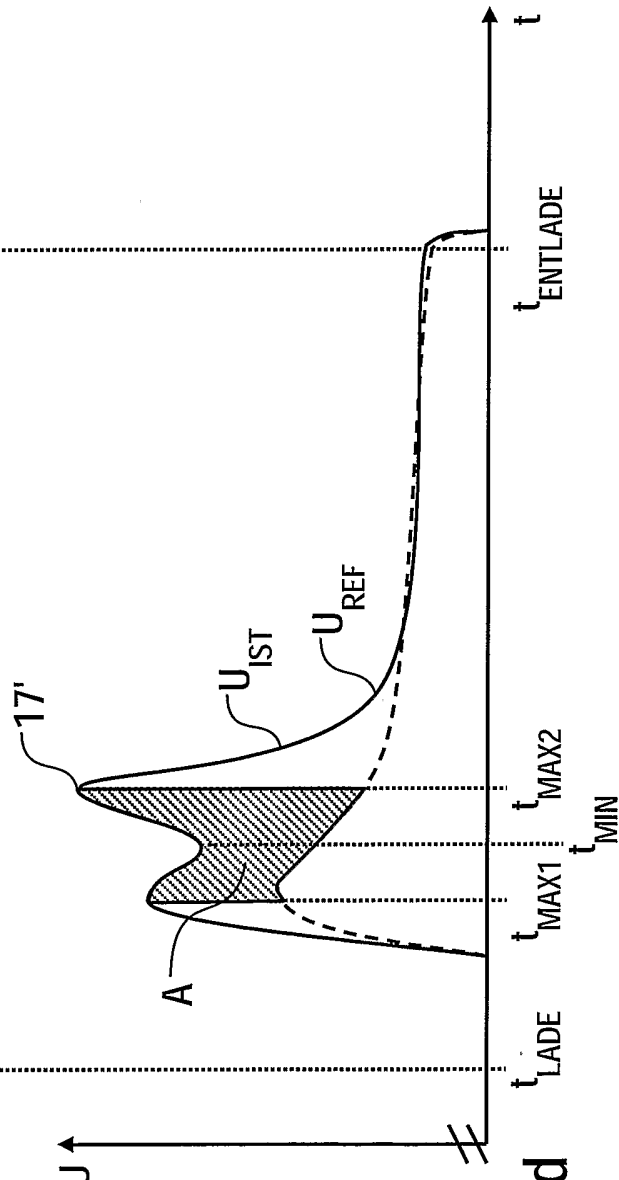


FIG 4d

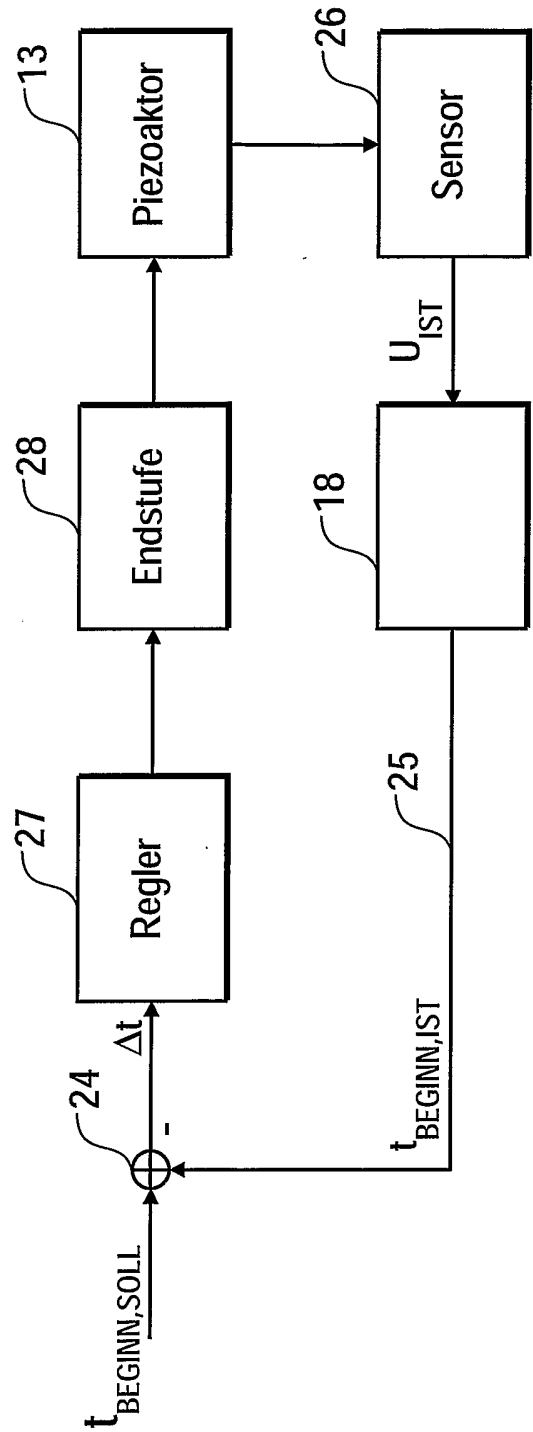


FIG 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/053161

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F02D41/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                      | Relevant to claim No.                   |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| X          | EP 1 138 909 A (ROBERT BOSCH GMBH)<br>4 October 2001 (2001-10-04)<br><br>paragraph '081-!                                                               | 1, 3, 4,<br>11-14,<br>16, 17,<br>19, 20 |
| A          | DE 100 24 662 A1 (SIEMENS AG)<br>6 December 2001 (2001-12-06)<br>cited in the application<br>the whole document<br>paragraphs '0024! - '0029!; figure 3 | 1, 14                                   |
| A          | DE 199 30 309 A1 (SIEMENS AG)<br>11 January 2001 (2001-01-11)<br>cited in the application<br>the whole document                                         | 1, 14                                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 March 2005

Date of mailing of the international search report

08/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Röttger, K

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/053161

| Patent document<br>cited in search report |    | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP 1138909                                | A  | 04-10-2001          | EP 1138909 A1              | 04-10-2001          |
| DE 10024662                               | A1 | 06-12-2001          | NONE                       |                     |
| DE 19930309                               | A1 | 11-01-2001          | NONE                       |                     |

# INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/053161

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F02D41/20

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                       | Betr. Anspruch Nr.                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| X          | EP 1 138 909 A (ROBERT BOSCH GMBH)<br>4. Oktober 2001 (2001-10-04)<br><br>Absatz '081-!                                                                  | 1, 3, 4,<br>11-14,<br>16, 17,<br>19, 20 |
| A          | DE 100 24 662 A1 (SIEMENS AG)<br>6. Dezember 2001 (2001-12-06)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>das ganze Dokument<br>Absätze '0024! - '0029!; Abbildung 3 | 1, 14                                   |
| A          | DE 199 30 309 A1 (SIEMENS AG)<br>11. Januar 2001 (2001-01-11)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>das ganze Dokument                                          | 1, 14                                   |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

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

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

31. März 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

08/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Röttger, K

**INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/053161

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP 1138909                                         | A  | 04-10-2001                    | EP 1138909 A1                     | 04-10-2001                    |
| DE 10024662                                        | A1 | 06-12-2001                    | KEINE                             |                               |
| DE 19930309                                        | A1 | 11-01-2001                    | KEINE                             |                               |