



Europäisches Patentamt  
 European Patent Office  
 Office européen des brevets



(11) **EP 1 541 839 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**15.06.2005 Patentblatt 2005/24**

(51) Int Cl.7: **F02D 41/14**, F02D 41/22,  
 F02D 41/30, F02B 1/12

(21) Anmeldenummer: **03104619.6**

(22) Anmeldetag: **10.12.2003**

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

(72) Erfinder:  
 • **Wirth, Martin**  
**42853, Remscheid (DE)**  
 • **Phlips, Patrick Joseph**  
**50858, Koeln (DE)**

(71) Anmelder: **Ford Global Technologies, LLC, A  
 subsidiary of Ford Motor Company**  
**Dearborn, MI 48126 (US)**

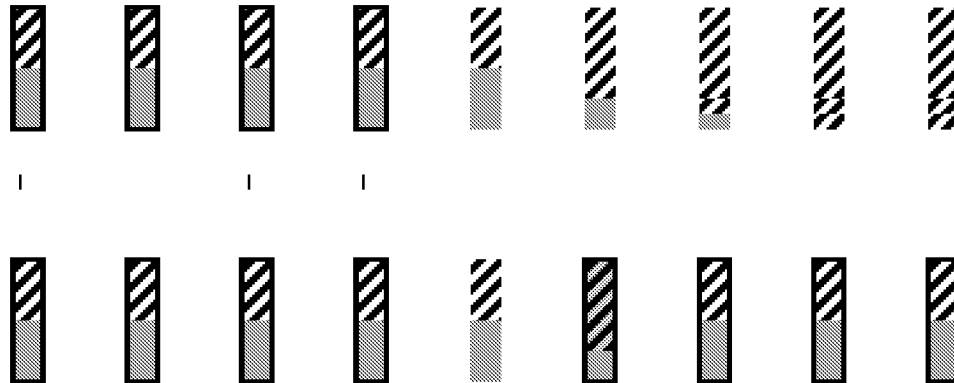
(74) Vertreter: **Drömer, Hans-Carsten, Dr.-Ing. et al**  
**Ford-Werke Aktiengesellschaft,**  
**Patentabteilung NH/DRP,**  
**Henry-Ford-Strasse 1**  
**50725 Köln (DE)**

(54) **Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit zumindest einem Vier-Takt-Zylinder mit kontrollierter Selbstzündung und Funkenzündung. Der Vier-Takt-Zylinder ist zumindest in

einem kontrollierten Selbstzündungsmodus betreibbar ist. Der Vier-Takt-Zylinder wird nach einer im kontrollierten Selbstzündungsmodus auftretenden Fehlzündung in einem auf die Fehlzündung folgenden Zyklus in einem Funkenzündungsmodus wiedergezündet.

**Fig.1**



**EP 1 541 839 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit zumindest einem Vier-Takt-Zylinder mit kontrollierter Selbstzündung und Funkenzündung, wobei der Vier-Takt-Zylinder zumindest in einem kontrollierten Selbstzündungsmodus betreibbar ist.

**[0002]** Der Verbrennungsmotor ist zum Beispiel ein Ottomotor mit einem oder mehreren Vier-Takt-Zylindern. Ottomotoren werden hauptsächlich mit einer stoichiometrischen Mischung betrieben, die eine Nachbehandlung von Abgasen ermöglicht. Der Kraftstoffverbrauchsverlust bei Teillast im Zusammenhang mit einer Drosselung und dem stoichiometrischen Betrieb kann durch einen Magerbetrieb, entweder durch eine homogene oder geschichtete Mischung mittels Direkteinspritzung reduziert werden. In beiden Fällen kann die Stickoxidemission (NOx) mittels konventioneller Drei-Wege-Katalysatoren (TWC) nicht behandelt werden. Aus diesem Grund wurden magere Stickoxidspeicher (LNT) entwickelt, die das magere Abgas behandeln können. Nachteilig bei diesen LNT-basierten Systemen ist, daß diese wesentlich teurer sind als konventionelle TWC.

**[0003]** Magermotoren mit extrem niedrigen Stickoxidemissionen, die eine teure LNT-Nachbehandlung unnötig machen wurden ebenfalls vorgestellt. Dies wurde durch die kontrollierte Selbstzündung (Controlled Autoignition CAI) in modifizierten Serienmotoren erreicht. Hierzu wurden zwei Vorschläge veröffentlicht (Oakley et al. SAE Technical Paper 2001-01-1030 und Law et al. SAE Technical Paper 2001-01-251). Bei beiden Vorschlägen wurde dies erreicht, indem eine Ventilsteuerung benutzt wurde, die den Betrieb des Motors mit einem hohen Restgasanteil ermöglicht.

**[0004]** Die kontrollierte Selbstzündung in Vier-Takt-Ottomotoren ist eine neue Entwicklung, die mit einem schnell wechselnden Stand der Technik laufend weiterentwickelt wird.

**[0005]** Die WO 01/46571 und die WO 01/46573 betreffen jeweils ein Verfahren zum Betrieb eines Vier-Takt-Verbrennungsmotors in dem die Verbrennung mit einer Selbstzündung erreicht wird. Zusätzlich weist der Verbrennungsmotor eine Zündkerze zur Funkenzündung auf, um insbesondere bei der ersten Zündung des Verbrennungsmotors das Selbstzündungsverfahren zu ergänzen. Vorzugsweise wird die Selbstzündung lediglich in Teillastbereichen/geringen Drehzahlbereichen eingesetzt, während die Funkenzündung bei Vollastbereichen/hohen Drehzahlbereichen eingesetzt wird.

**[0006]** In der US 6,082,342 wird ein Verfahren zur Steuerung der Selbstzündung in Vier-Takt-Motoren offenbart. Der konventionelle Zündfunke wird während des Selbstzündungsbetriebs aufrechterhalten.

**[0007]** In Zwei-Takt-Ottomotoren ist die CAI Technologie bekannt, und wurde zum Beispiel in Motorrad-Motoren angewandt. Um den CAI-Betrieb zu erreichen, ist aus dieser Erfahrung heraus bekannt, daß hohe interne

Abgasrückführungsverhältnisse (interne EGR) und hohe Gemischtemperaturen am Ende eines Verdichtungs-hubes notwendig sind. Als Ergebnis wurde angenommen, daß zum Erreichen einer CAI in einem Vier-Takt-Motor komplexe Gemischwärmeverrichtungen notwendig sind, welche die Reaktionsfähigkeit des Motors in transienten Betriebszuständen hemmen können.

**[0008]** Es wurde auch vorgeschlagen, daß ein Vier-Takt CAI-Betrieb möglich sein müßte, indem eine Direkteinspritzung und ein gänzlich variabler Ventiltrieb benutzt wird. Der Ventiltrieb stellt ein frühes Auslaßventilschließen (EEVC) und ein spätes Einlaßventilöffnen (LIVO) zur Verfügung, um Restgas mit minimalem Wärmeverlust im Brennraum zurück zu halten.

**[0009]** Diese Technologie wurde in EU-Projekten weiter untersucht. Das Ford Konsortium (Oakley et al., 2001) und andere (Law et al., 2001) zeigten, daß ein stabiler CAI-Betrieb mit einer Art Nockensteuerung über einen nutzbaren Drehzahl/Lastbereich möglich ist. Dies wurde mit wenig veränderten Motoren mit einer konventionellen Kraftstoffeinspritzung (PFI) und konventioneller Verdichtungsverhältnisse (CR) erreicht.

**[0010]** Während des CAI-Betriebes kann die Zündung üblicher Weise ausgeschaltet werden. Der CAI-Betrieb erfordert die Einhaltung bestimmter Grenzwerte, wie zum Beispiel einen relativ hohen Restgasanteil und eine bestimmte Temperatur des Gemisches, die von der Gemischzusammensetzung abhängt. Sinken die beispielhaft genannten Faktoren unter den geforderten Grenzwert, kann dies zu einer Fehlzündung führen. Eine Fehlzündung führt dazu, daß der Vier-Takt-Zylinder permanent ausfällt, da die vorgeheizten Restgase für die folgenden Motorzyklen nicht bereitstehen. Einen solchen Fall stellt Figur 1 dar. In Figur 1 sind Zyklen n-4 bis n-1 dargestellt, die einen normalen CAI-Betrieb zeigen. Dieser ist jeweils mit einem dicklinierten Quadrat dargestellt, in dem ein Mischungsverhältnis von frischem Kraftstoff/Luft-Gemisch und Restgas eingezeichnet ist. Das frische Kraftstoff/Luft-Gemisch ist dabei schräg schraffiert, wobei das Restgas als Balken gekennzeichnet ist. Sofern die o.g. Grenzwerte unterschritten sind, kommt es zu einer Fehlzündung. Diese ist in Figur 1 mit n bezeichnet. Der Vier-Takt-Zylinder ist weiter im CAI-Betrieb. In den Zyklen n+1 bis n+4 ist deutlich dargestellt, daß der Restgasanteil bezogen auf den frischen Kraftstoff/Luft-Gemisch Anteil immer geringer wird, wobei in den Zyklen n+3 und n+4 kein Restgasanteil mehr vorhanden ist. Dies führt dazu, daß der Vier-Takt-Zylinder ausfällt. Die Zyklen n-1 bis n-4 stellen jeweils einen vor der Fehlzündung durchgeführten Zyklus dar, wobei n+1 bis n+4 jeweils einen auf die Fehlzündung folgenden Zyklus darstellen.

**[0011]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines Ottomotors zur Verfügung zu stellen, der nach einer im CAI-Betrieb auftretenden Fehlzündung weiter betrieben werden kann.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht,

daß der Vier-Takt-Zylinder nach einer im CAI-Betrieb auftretenden Fehlzündung in einem auf die Fehlzündung folgenden Zyklus in einem Funkenzündungsmodus wiedergezündet wird.

**[0013]** Damit wird ein Verbrennungsmotor mit einem Vier-Takt-Zylinder zur Verfügung gestellt, der nach einer im CAI-Betrieb auftretenden Fehlzündung durch Zündung eines auf den der Fehlzündung folgenden Zyklus im Funkenbetrieb wiedergezündet wird und weiter betrieben werden kann.

**[0014]** Weitere vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen offenbart und in der zu Figur 2 folgenden Figurenbeschreibung beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch einen üblichen CAI-Betrieb,

Fig. 2 schematisch einen CAI-Betrieb mit einem Wiederzünden in einem Funkenzündungsmodus.

**[0015]** In Figur 2 ist das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit zumindest einem Vier-Takt-Zylinder mit kontrollierter Selbstzündung (CAI) und Funkenzündung dargestellt, wobei der Vier-Takt-Zylinder zumindest in einem kontrollierten Selbstzündungsmodus betreibbar ist. Figur 2 stellt Zyklen n-4 bis n-1 dar, die einen normalen CAI-Modus mit normaler Zündung und normalem Moment zeigen. Die normale Zündung ist jeweils mit einem dicklinierten Quadrat 1 dargestellt, in dem ein Verhältnis von frischem Kraftstoff/Luft-Gemisch 2 und Restgas 3 eingezeichnet ist. Das frische Kraftstoff/Luft-Gemisch 2 ist dabei schräg schraffiert, wobei das Restgas 3 als Balken gekennzeichnet ist. Der CAI-Modus erfordert die Einhaltung bestimmter Grenzwerte, wie zum Beispiel einen relativ hohen Restgasanteil und eine bestimmte Temperatur des Gemisches. Sofern die bestimmten Grenzwerte unterschritten sind, kommt es zu einer Fehlzündung. Die Fehlzündung ist in Figur 2 mit n (Pfeil 4) bezeichnet. Die Zeit ist mittels des Pfeils 5 dargestellt.

**[0016]** In einem Zyklus n+1 ist deutlich dargestellt, daß der Restgasanteil 3 bezogen auf den frischen Kraftstoff/Luft-Gemisch Anteil 2 geringer ist. In dem Zyklus n+1 wird der Vier-Takt-Zylinder mittels Funkenzündung wiedergezündet. In dem Zyklus n+2 kehrt der Vier-Takt-Motor wieder in den CAI-Modus zurück. Der Vier-Takt-Zylinder läuft in dieser Betriebsart weiter, wie aus den Zyklen n+3 und n+4 deutlich hervorgeht.

**[0017]** Die Zyklen n-1 bis n-4 stellen jeweils einen vor der Fehlzündung vorhergehenden Zyklus dar, wobei n+1 bis n+4 jeweils einen auf die Fehlzündung folgenden Zyklus darstellen.

**[0018]** Der Vier-Takt-Zylinder wird bei moderaten Last- und Motordrehzahlen betrieben, wobei ein erheblicher Anteil von Restgas 3 aus dem vorhergehenden Zyklus abgeschieden oder zurückgeführt wird, wodurch die CAI initiiert wird.

**[0019]** Günstig im Sinne der Erfindung ist, wenn die Zündung während des CAI-Modus angeschaltet bleibt. Hierbei wird eine Vorzündungseinstellung derart gewählt, daß die Zündung derart optimiert wird, daß im Falle der Funkenzündung das gleiche Motordrehmoment erreicht wird wie im CAI-Betrieb.

**[0020]** Nach dem Wiederzünden des Vier-Takt-Zylinders kehrt dieser in den CAI-Modus zurück. Somit wird der Vier-Takt-Zylinder lediglich kurzzeitig in einem Zyklus in dem Funkenzündungsmodus betrieben. Zweckmäßiger Weise kehrt der Vier-Takt-Zylinder in dem auf den Wiederzündungszyklus folgenden Zyklus in den CAI-Modus zurück, und wird in diesem weiterbetrieben. Der Wiederzündungszyklus ist in Figur 2 beispielhaft als n+1 bezeichnet, wobei der darauf folgende Zyklus beispielhaft als n+2 bezeichnet ist. Damit wird die Fehlzündung vorteilhaft auf lediglich einen Zyklus beschränkt, da alle auf den Wiederzündungszyklus folgenden Zyklen (n+2, n+3 ...) im CAI-Modus zünden werden.

**[0021]** Um sicherzustellen, daß die Zündung des Gemisches bei dem auf die Fehlzündung folgenden Zyklus erfolgreich ist, ist es im Sinne der Erfindung günstig, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis angepaßt wird, indem mehr Kraftstoff in den Vier-Takt-Zylinder eingespritzt wird.

**[0022]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird erreicht, daß der Vier-Takt-Zylinder nach einer Fehlzündung im CAI-Modus nicht ausfällt, sondern mittels Funkenzündung wiedergezündet wird und sodann in den CAI-Modus zurückkehrt. Dies wird mit einer geeigneten Steuerung der Zündung und der eingespritzten Kraftstoffmenge erreicht. Insbesondere kann im Falle der Ausführung des Motors mit Direkteinspritzung eine geschichtete Einspritzung des Kraftstoffes erfolgen, die eine Fremdzündung auch bei hohem Luftüberschuß erlaubt und so die Konstanzhaltung des Motordrehmomentes ohne Änderung der Motordrosselung ermöglicht.

**[0023]** Bei dem vorgenannten Ausführungsbeispiel wurde lediglich ein Vier-Takt-Zylinder eines Ottomotors mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben. Selbstverständlich können auch Ottomotoren mit mehreren Vier-Takt-Zylindern mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben werden. Zudem können auch andere Motorarten mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit zumindest einem Vier-Takt-Zylinder mit kontrollierter Selbstzündung und Funkenzündung, wobei der Vier-Takt-Zylinder zumindest in einem kontrollierten Selbstzündungsmodus betreibbar ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Vier-Takt-Zylinder nach einer im kontrollierten Selbstzündungsmodus auftretenden Fehlzündung

in einem auf die Fehlzündung folgenden Zyklus in einem Funkenzündungsmodus wiedergezündet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, 5  
**dadurch gekennzeichnet, daß**  
 der Vier-Takt-Zylinder bei moderaten Last- und Motordrehzahlen betrieben wird, wobei ein erheblicher Anteil von Restgas (3) aus einem der Fehlzündung vorhergehenden Zyklus zurückgeführt wird, so daß die kontrollierte Selbstzündung initiiert wird. 10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, 15  
**dadurch gekennzeichnet, daß**  
 eine Zündung während des kontrollierten Selbstzündungsmodus angeschaltet bleibt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, 20  
**gekennzeichnet durch**  
 eine derart gewählte Vorzündungseinstellung, daß die Zündung derart optimiert wird, daß im Falle der Funkenzündung das gleiche Motordrehmoment erreicht wird wie im CAI-Betrieb.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 25  
**dadurch gekennzeichnet, daß**  
 der Vier-Takt-Zylinder nach der Wiederzündung in den kontrollierten Selbstzündungsmodus zurückkehrt. 30
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 35  
**dadurch gekennzeichnet, daß**  
 ein Kraftstoff/Luft Verhältnis derart angepaßt wird, indem Kraftstoff in den Vier-Takt-Zylinder eingespritzt wird, daß die Zündung bei dem auf die Fehlzündung folgenden Zyklus erfolgreich ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 40  
**dadurch gekennzeichnet, daß**  
 im Wiederzündungszyklus im Falle der Ausführung des Motors mit Direkteinspritzung eine geschichtete Einspritzung des Kraftstoffes kurz vor der Zündung erfolgt. 45

50

55

Fig.1

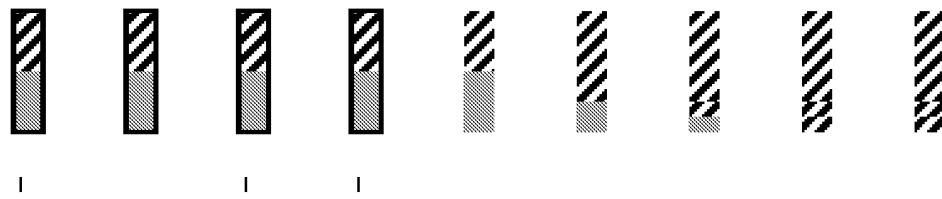
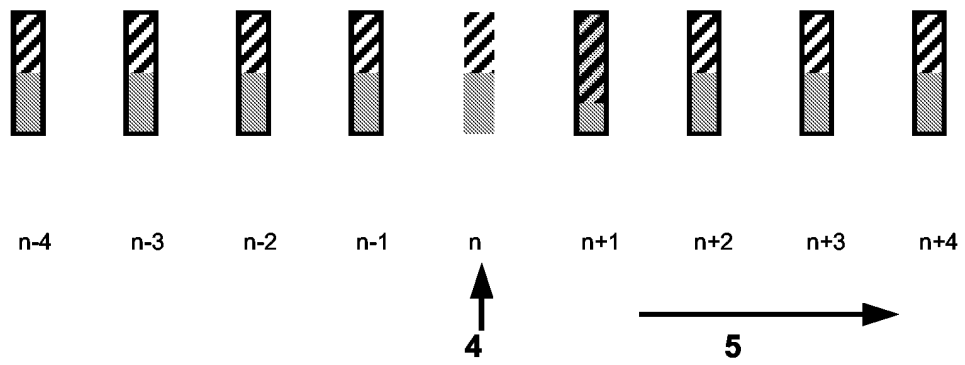


Fig.2





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
E	DE 102 33 611 A (SIEMENS AG) 19. Februar 2004 (2004-02-19) * Zusammenfassung * * Ansprüche *	1,5,6	F02D41/14 F02D41/22 F02D41/30 F02B1/12
X	EP 1 201 903 A (FORD GLOBAL TECH INC) 2. Mai 2002 (2002-05-02) * Zusammenfassung *	1,2,5,6	
Y	* Absatz [0007] * * Absatz [0013] - Absatz [0015] *	7	
X	US 2003/192305 A1 (OHSUGA MINORU ET AL) 16. Oktober 2003 (2003-10-16) * Absatz [0107] * * Absatz [0109] * * Absatz [0115] *	1,3,5	
Y		4	
Y	US 2002/014072 A1 (OHSUGA MINORU ET AL) 7. Februar 2002 (2002-02-07) * Absatz [0097] * * Absatz [0112] *	4	
Y	EP 1 365 134 A (HITACHI LTD) 26. November 2003 (2003-11-26) * Absatz [0024] * * Absatz [0033] * * Absatz [0036] *	7	F02D F02B
A	DE 102 39 065 A (AVL LIST GMBH) 3. April 2003 (2003-04-03) * das ganze Dokument *	1-7	
A	EP 1 083 324 A (NISSAN MOTOR) 14. März 2001 (2001-03-14) * das ganze Dokument *	1-7	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
4	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 28. Mai 2004	Prüfer Libeaut, L
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 03 10 4619

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.

28-05-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10233611	A	19-02-2004	DE 10233611 A1	19-02-2004
EP 1201903	A	02-05-2002	EP 1201903 A1	02-05-2002
US 2003192305	A1	16-10-2003	JP 2003106184 A	09-04-2003
			EP 1298292 A2	02-04-2003
			US 2003061803 A1	03-04-2003
US 2002014072	A1	07-02-2002	JP 2002047969 A	15-02-2002
			US 2002189238 A1	19-12-2002
EP 1365134	A	26-11-2003	JP 2003343312 A	03-12-2003
			EP 1365134 A2	26-11-2003
			US 2003217733 A1	27-11-2003
DE 10239065	A	03-04-2003	AT 5646 U1	25-09-2002
			DE 10239065 A1	03-04-2003
			US 2003047148 A1	13-03-2003
EP 1083324	A	14-03-2001	JP 2001152908 A	05-06-2001
			EP 1083324 A2	14-03-2001
			US 6354264 B1	12-03-2002

EPO FORM P0461

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