



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.01.2006 Patentblatt 2006/02

(51) Int Cl.:
F22B 35/10 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04016248.9**

(22) Anmeldetag: **09.07.2004**

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

(72) Erfinder:

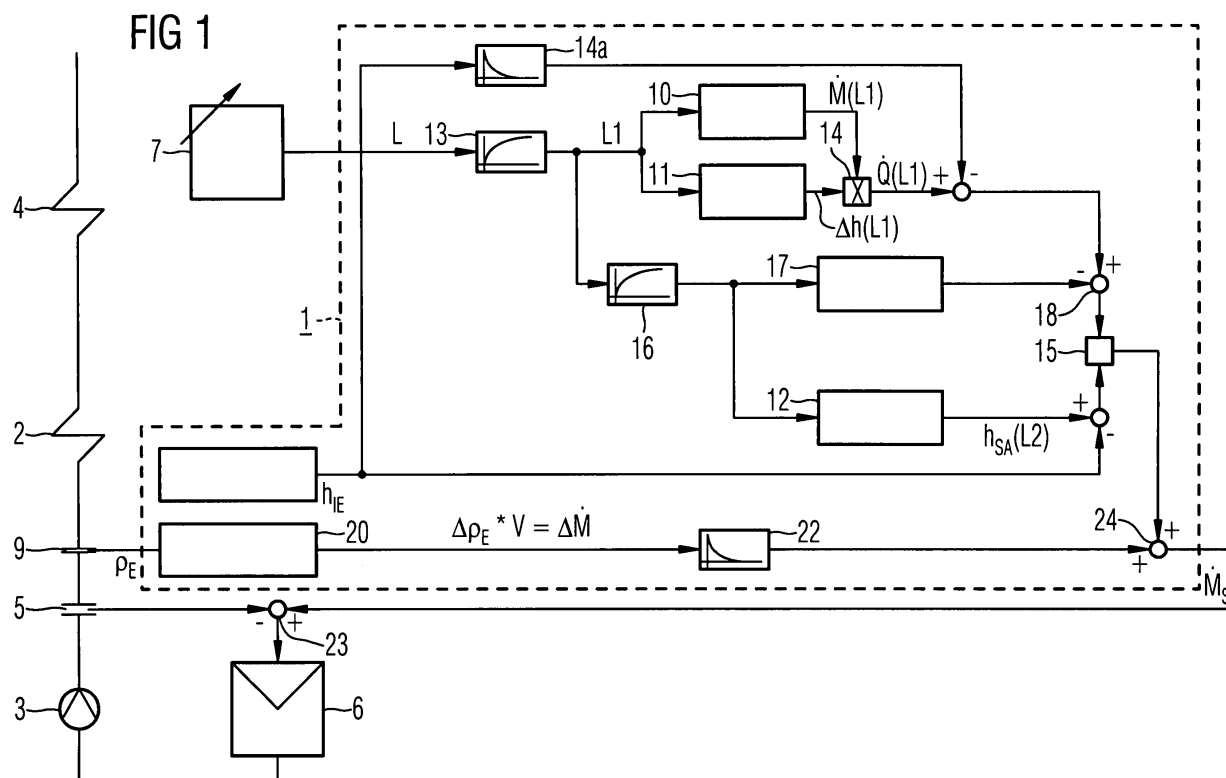
- **Butterlin, Axel**
95447 Bayreuth (DE)
- **Kral, Rudolf**
92551 Stulln (DE)
- **Thomas, Frank**
91058 Erlangen (DE)

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

(54) **Verfahren zum Betrieb eines Durchlaufdampferzeugers**

(57) Ein Verfahren zum Betrieb eines Durchlauf-
dampferzeugers soll eine synchrone Änderung des Spei-
sewassermassenstroms (M) durch die Verdampferheiz-
fläche (4) und des Wärmeeintrags in die Verdampfer-
heizfläche (4) in jedem Betriebszustand ohne großen
technischen Aufwand ermöglichen. Dazu wird einer Vor-
richtung zum Einstellen des Speisewassermassen-

stroms ($\dot{M}$) eine Speisewasserdurchflussregelung (1) zugeordnet, deren Regelgröße der Speisewassermassenstrom ($\dot{M}$) ist und deren Sollwert ($\dot{M}_s$) für den Speisewassermassenstrom anhängig von einem der Dampferzeugerleistung zugeordneten Sollwert L geführt ist, wobei der Speisewasserdurchflussregelung (1) als eine der Eingangsgrößen der Istwert ρ_E der Speisewasserdichte am Eintritt des Vorwärmers (2) zugeführt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Durchlaufdampferzeugers mit einer Verdampferheizfläche sowie einem der Verdampferheizfläche strömungsmediumsseitig vorgeschalteten Vorwärmer sowie einer Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassenstroms $\dot{M}$ in die Verdampferheizfläche.

[0002] In einem Durchlaufdampferzeuger führt die Beheizung einer Anzahl von Dampferzeugerrohren, die zusammen die gasdichte Umfassungswand der Brennkammer bilden, zu einer vollständigen Verdampfung eines Strömungsmediums in den Dampferzeugerrohren in einem Durchgang. Das Strömungsmedium - üblicherweise Wasser - wird vor seiner Verdampfung einem der Verdampferheizfläche strömungsmediumsseitig vorgeschalteten Vorwärmer, üblicherweise auch als Economizer bezeichnet, zugeführt und dort vorgewärmt.

[0003] Abhängig vom Betriebszustand des Durchlaufdampferzeugers und damit zusammenhängend von der aktuellen Dampferzeugerleistung wird der Speisewassermassenstrom in die Verdampferheizfläche geregelt. Bei Laständerungen sollten der Verdampferdurchfluss und der Wärmeeintrag in die Verdampferheizfläche möglichst synchron geändert werden, weil sonst ein Überschwingen der spezifischen Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche nicht sicher vermieden werden kann. Ein solches unerwünschtes Überschwingen der spezifischen Enthalpie erschwert die Regelung der Temperatur des aus dem Dampferzeuger austretenden Frischdampfes und führt darüber hinaus zu hohen Materialbelastungen und somit zu einer reduzierten Lebensdauer des Dampferzeugers.

[0004] Um ein Überschwingen der spezifischen Enthalpie und große Temperaturschwankungen in jeden Betriebszustand des Dampferzeugers zu verhindern, ist eine Speisewasserdurchflussregelung vorgesehen, die auch bei Lastwechseln die notwendigen Speisewassersollwerte in Abhängigkeit vom Betriebszustand bereit stellt.

[0005] Aus der EP 0639 253 ist ein Durchlaufdampferzeuger bekannt, bei dem der Speisewasserdurchfluss über eine Vorausberechnung der Speisewassermenge geregelt wird. Als Grundlage für das Berechnungsverfahren dient dabei die Wärmestrombilanz der Verdampferheizfläche, in die der Speisewassermassenstrom insbesondere am Eintritt der Verdampferheizfläche eingehen sollte.

[0006] In der Praxis erweist sich die Messung des Speisewassermassenstroms unmittelbar am Eintritt der Verdampferheizfläche jedoch als technisch aufwendig und nicht in jedem Betriebszustand zuverlässig durchführbar. Statt dessen wird ersatzweise der Speisewassermassenstrom am Eintritt des Vorwärmers gemessen und in die Berechnungen der Speisewassermenge einbezogen, der jedoch nicht in jedem Fall gleich dem Speisewassermassenstrom am Eintritt der Verdampferheizfläche ist.

[0007] Wenn sich nämlich die Temperatur des dem Vorwärmer zuströmenden Mediums oder aufgrund einer veränderten Beheizung die Dichte des Strömungsmediums innerhalb des Vorwärmers ändert, so kommt es zu Massenein- oder -ausspeicherungseffekten im Vorwärmer, und der Speisewassermassenstrom am Eintritt des Vorwärmers ist nicht identisch mit dem am Eintritt der Verdampferheizfläche. Werden diese Ein- und Ausspeicherungseffekte bei der Regelung des Speisewasserdurchflusses nicht oder nur unzureichend berücksichtigt, so kann es zum erwähnten Überschwingen der spezifischen Enthalpie und damit zu großen Temperaturschwankungen des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche kommen.

[0008] Dabei ist die Größe der Temperaturschwankungen abhängig von der Geschwindigkeit des Lastwechsels und bei einem schnellem Lastwechsel besonders groß. Deshalb war es bisher notwendig, eine Begrenzung der Lastwechselgeschwindigkeit vorzunehmen und damit eine geringere Effizienz des Dampferzeugers in Kauf zu nehmen. Darüber hinaus reduzierten die bei eventuellen Betriebsstörungen auftretenden, schnellen und nicht kontrollierbaren Lastwechsel die Lebensdauer des Dampferzeugers.

[0009] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers der oben genannten Art anzugeben, das eine weitgehend synchrone Änderung des Speisewassermassenstroms durch die Verdampferheizfläche und des Wärmeeintrags in die Verdampferheizfläche in jedem Betriebszustand ohne großen technischen Aufwand ermöglicht.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassenstroms $\dot{M}$ eine Regelvorrichtung zugeordnet wird, deren Regelgröße der Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ ist und deren Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom abhängig von einem der Dampferzeugerleistung zugeordneten Sollwert L geführt ist, wobei der Regelvorrichtung als eine der Eingangsgrößen der Istwert ρ_E der Speisewasserdichte am Eintritt des Vorwärmers zugeführt wird.

[0011] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass zur synchronen Änderung von Speisewassermassenstrom durch und Wärmeeintrag in die Verdampferheizfläche eine Wärmestrombilanzierung der Verdampferheizfläche erfolgen sollte. Optimalerweise sollte dazu zwar am Eintritt der Verdampferheizfläche eine Messung des Speisewassermassenstroms vorgesehen sein. Weil sich jedoch die direkte Messung des Speisewassermassenstroms am Eintritt der Verdampferheizfläche als nicht zuverlässig durchführbar erwiesen hat, ist diese nunmehr an einer medienseitig geeignet vorgelagerten Stelle, nämlich am Eintritt des Vorwärmers, vorgesehen. Da die möglicherweise auftretenden Massenein- und -ausspeicherungseffekte im Vorwärmer den Messwert jedoch verfälschen könnten, sollten diese Effekte geeignet kompensiert werden. Dazu sollte eine Berechnung des Speisewassermassenstroms am Eintritt

der Verdampferheizfläche aufgrund weiterer leicht zu gewinnender Messgrößen erfolgen. Besonders geeignete Messgrößen zur Korrektur des am Eintritt des Vorwärmers gewonnenen Messwerts für den Speisewassermassenstrom sind die mittlere Dichte des Strömungsmediums in der Vorwärmerheizfläche und deren zeitliche Änderung.

[0012] Für eine besonders genaue Berechnung des Wärmestroms durch die Verdampferheizfläche und auch eine besonders genaue Nachkorrektur des Messwerts für den Speisewassermassenstrom ist vorteilhafterweise die zusätzliche Erfassung der Dichte des Strömungsmediums am Austritt der Vorwärmerheizfläche vorgesehen. Damit ist eine besonders genaue Erfassung und demzufolge auch Berücksichtigung der genannten Ein- und Ausspeicherungseffekte ermöglicht. In zusätzlicher oder alternativer vorteilhafter Weiterbildung wird als Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom der Ausdruck

$\dot{M} + \Delta\bar{\rho} \cdot V$ verwendet, wobei $\dot{M}$ der Istwert des Speisewassermassenstroms am Eintritt des Vorwärmers, $\Delta\bar{\rho}$ die zeitliche Änderung der mittleren Dichte des Strömungsmediums im Vorwärmer und V das Volumen des Vorwärmers sind. Durch den Beitrag $\Delta\bar{\rho} \cdot V$ werden somit die genannten Ein- und Ausspeicherungseffekte berücksichtigt.

[0013] Wenn der Wärmeeintrag in das Strömungsmedium innerhalb des Vorwärmers stationär ist, sich zeitlich also nicht ändert, so kann zur Berechnung Sollwertes $\dot{M}_s$ anstelle der mittleren Dichte $\bar{\rho}$ näherungsweise die Dichte ρ_E des Strömungsmediums am Eintritt des Vorwärmers verwendet werden. In diesem Fall kann nämlich die zeitliche Änderung der Dichte ρ_E gleich der zeitlichen

Änderung der mittleren Dichte $\bar{\rho}$ gesetzt werden, so dass eine zusätzliche Erfassung der Dichte ρ_A des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche nicht erforderlich ist.

[0014] Bei der Berechnung des Sollwertes $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom sollte berücksichtigt werden, dass das Signal der Eintrittsdichtenänderung entsprechend der Durchlaufzeit des Systems verzögert werden muss, wenn anstelle der mittleren Dichte $\bar{\rho}$ näherungsweise die Dichte ρ_E des Strömungsmediums am Eintritt des Vorwärmers verwendet wird. Daher wird der Istwert ρ_E der Eintrittsdichte vorteilhafterweise durch ein in der Regelungstechnik übliches Differenzglied mit PT1-Verhalten in eine mit der Durchlaufzeit des Vorwärmers als Zeitkonstante verzögerte Eintrittsdichtenänderung umgewandelt.

[0015] Insbesondere im Falle einer Beheizungsänderung im Vorwärmer jedoch, also eines instationären Wärmeeintrags in das Strömungsmedium innerhalb des Vorwärmers, beispielsweise bei einem Lastwechsel, ist die

Berechnung der mittleren Dichte $\bar{\rho}$ und ihrer zeitlichen

Änderung $\Delta\bar{\rho}$ allein durch die genäherte Verwendung der Eintrittsdichte nicht möglich. Da im arithmetischen

Mittel ρ_E und ρ_A in die Berechnung von $\bar{\rho}$ jeweils zur Hälfte eingehen, kann im Fall eines instationären Wärmeeintrags, aber einer konstanten Eintrittsdichte ρ_E die halbe Änderung der Austrittsdichte ρ_A als Maß für die Dichteänderung im Vorwärmer verwendet werden.

[0016] Auch in diesem Fall erfolgt die Bildung der zeitlichen Ableitung des Dichtesignals durch ein Differenzglied. Da eine Änderung der Austrittsdichte dem Massenspeichereffekt im Vorwärmer jedoch zeitlich nachgelagert ist, wird das Dichtesignal vorteilhafterweise mit einer verhältnismäßig kleinen Zeitkonstante von etwa einer Sekunde PT1-verzögert.

[0017] Mit einer separaten Erfassung der Dichten des Strömungsmediums am Eintritt und am Austritt des Vorwärmers können auf diese Weise Speisewasserein- und -ausspeicherungseffekte im Vorwärmer berücksichtigt und der Sollwert des Speisewasserdurchflusses auf einfache Weise dem Betriebszustand des Dampferzeugers angepasst werden.

[0018] Damit ist eine besonders genaue Regelung des Dampferzeugers auch in Fällen möglich, bei denen sich die Temperatur des Speisewassers vor Eintritt in den Vorwärmer abrupt ändert. Dies könnte beispielsweise durch den plötzlichen Ausfall einer dem Vorwärmer vorgeschalteten externen Vorwärmstrecke geschehen. Bei einem derartigen Ausfall setzt sich der Sprung in der Dichte des Strömungsmediums am Eintritt des Vorwärmers weitgehend unverändert bis zum Austritt durch. Die

Änderung der mittleren Dichte $\bar{\rho}$ des Strömungsmediums im Vorwärmer ist aber bereits durch die Änderung der Dichte am Eintritt des Vorwärmers vollständig erfasst, so dass sich die Änderung der Dichte am Austritt der Verdampferheizfläche nicht mehr auf die berechnete Korrektur am Sollwert $\dot{M}_s$ des Speisewassermassenstroms auswirken darf. Daher ist vorzugsweise eine Korrekturschaltung vorgesehen, die die Reaktion des DT1-Gliedes, das das Dichtesignal am Austritt des Vorwärmers differenziert und verzögert, in diesem Fall kompensiert. Vorteilhafterweise wird dazu das Eintrittsdichten-Signal einem Totzeitglied mit einer Zeitkonstanten der Durchlaufzeit des Vorwärmers aufgeschaltet, entsprechend einer thermischen Zeitkonstanten des Vorwärmers PT1-verzögert und das so erzeugte Signal dem Austrittsdichtesignal negativ aufgeschaltet wird.

[0019] Diese Korrekturschaltung bewirkt in jedem Fall eine korrekte Berücksichtigung der Dichteänderungen: Bei einer abrupten Temperaturänderung des zuströmenden Mediums wird die Änderung der Austrittsdichte ρ_A wie beschrieben nicht berücksichtigt. Bleibt die Eintrittsdichte ρ_E jedoch konstant, ändert sich aber die Wärmezufuhr im Vorwärmer und damit die Austrittsdichte ρ_A , so findet am Austritt des Vorwärmers keine Korrektur

statt und der Effekt der Änderung der Wärmezufuhr wird bei der Berechnung des Sollwertes $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom vollständig berücksichtigt.

[0020] Ändert sich nun wie beispielsweise bei einem Lastwechsel gleichzeitig mit der Wärmezufuhr auch die Eintrittsdichte ρ_E , so werden sowohl Massenein- und -ausspeicherungseffekte durch den Dichtesprung am Eintritt als auch Speichereffekte aufgrund der veränderten Wärmezufuhr separat berücksichtigt. Für die Korrektur am Austritt des Vorwärmers werden nur Änderungen, die durch die veränderte Wärmezufuhr entstehen, berücksichtigt, weil die Änderungen, die durch den Dichtesprung am Eintritt auch am Austritt zeitverzögert auftreten, nur am Eintritt berücksichtigt und am Austritt kompensiert werden.

[0021] Vorteilhafterweise wird sowohl die Totzeit als auch die thermische Zeitkonstante des Vorwärmers reziprok zur Last des Dampferzeugers angepasst.

[0022] Vorteilhafterweise ist die Speisewasserdurchflussregelung abhängig vom Betriebszustand des Dampferzeugers zu- und abschaltbar.

[0023] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die Berechnung des Speisewassermassenstroms unter Berücksichtigung der mittleren Dichte des Speisewassers im Vorwärmer als Korrekturterm die synchrone Regelung des Speisewasserdurchflusses durch und des Wärmeeintrags in die Verdampferheizfläche auf besonders einfache und zuverlässige Weise in allen möglichen Betriebszuständen des Durchlaufdampferzeugers ein Überspringen der spezifischen Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche und große Temperaturschwankungen des erzeugten Frischdampfes sicher verhindert und somit Materialbelastungen reduziert und die Lebensdauer des Dampferzeugers erhöht.

[0024] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 eine Speisewasserdurchflussregelung für einen Durchlaufdampferzeuger,

FIG 2 eine alternative Ausführung der Speisewasserdurchflussregelung,

FIG 3a ein Diagramm mit dem zeitlichen Verlauf der spezifischen Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche des Durchlaufdampferzeugers im Falle einer abrupten Temperaturänderung des zuströmenden Speisewassers im Volllastbetrieb des Durchlaufdampferzeugers,

FIG 3b ein Diagramm mit dem zeitlichen Verlauf der spezifischen Enthalpie im Falle einer abrupten Temperaturänderung des zuströmenden Mediums im Teillastbetrieb des Durchlaufdampferzeugers, und

FIG 3c ein Diagramm mit dem zeitlichen Verlauf der spezifischen Enthalpie im Falle eines Lastwechsels.

5 Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0025] FIG 1 zeigt schematisch eine Vorrichtung 1 zur Bildung des Sollwertes $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom eines Durchlaufdampferzeugers. Der Durchlaufdampferzeuger weist einen auch als Economizer bezeichneten Vorwärmer 2 für Speisewasser auf, der sich in einem nicht näher dargestellten Gaszug befindet. Dem Vorwärmer 2 ist strömungsmediumsseitig eine Speisewasserpumpe 3 vor- und eine Verdampferheizfläche 4 nachgeschaltet. In der von der Speisewasserpumpe 3 zum Vorwärmer 2 geführten Speisewasserleitung ist eine Messvorrichtung 5 zur Messung des Speisewassermassenstroms $\dot{M}$ durch die Speisewasserleitung angeordnet.

[0026] Einem Antriebsmotor an der Speisewasserpumpe 3 ist ein Regler 6 zugeordnet, an dessen Eingang als Regelgröße die Regelabweichung $\Delta \dot{M}$ des mit der Messvorrichtung 5 gemessenen Speisewassermassenstroms $\dot{M}$ liegt. Dem Regler 6 ist die Vorrichtung 1 zur Bildung des Sollwertes $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom zugeordnet.

[0027] Diese Vorrichtung ist für eine besonders bedarfsgerechte Bestimmung des Sollwertes $\dot{M}_s$ ausgelegt. Dabei ist berücksichtigt, dass die Erfassung des Istwerts des Speisewassermassenstroms $\dot{M}$ nicht unmittelbar vor der Verdampferheizfläche 4, sondern bereits vor dem Vorwärmer 2 erfolgt. Dadurch könnten sich infolge von Massenein- oder -ausspeicherungseffekten im Vorwärmer 2 Ungenauigkeiten bei der Messwertbestimmung für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ ergeben. Um diese zu kompensieren, ist eine Korrektur dieses Messwerts unter Berücksichtigung der Dichte ρ_E des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 vorgesehen. Die Vorrichtung 1 hat u. a. als Eingangsgrößen einerseits einen von einem Sollwertgeber 7 abgegebenen Sollwert L für die Leistung des Durchlaufdampferzeugers und andererseits den aus der Druck- und Temperaturmessung einer Messvorrichtung 9 bestimmten Istwert ρ_E der Dichte des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2.

[0028] Der Sollwert L für die Leistung des Durchlaufdampferzeugers, der sich im Betrieb immer wieder zeitlich verändert und der im (nicht dargestellten) Feuerungsregelkreis direkt auf den Brennstoffregler gegeben wird, wird auch dem Eingang eines ersten Verzögerungsgliedes 13 der Vorrichtung 1 zugeführt. Dieses Verzögerungsglied 13 gibt ein erstes Signal oder einen verzögerten ersten Leistungswert L_1 ab. Dieser erste Leistungswert L_1 wird den Eingängen von Funktionsgebern 10 und 11 des Funktionsgebers der Speisewasserdurchflussregelung 1 zugeführt. Am Ausgang der Funktionsgebereinheit 10 erscheint ein Wert $\dot{M}(L_1)$ für den Speisewassermassenstrom, und am Ausgang der

Funktionsgebereinheit 11 erscheint ein Wert $\Delta h(L1)$ für die Differenz aus der spezifischen Enthalpie h_{1A} am Austritt der Verdampferheizfläche 4 und der spezifischen Enthalpie h_{1E} am Eintritt dieser Verdampferheizfläche 4. Die Werte $\dot{M}$ und Δh als Funktionen von $L1$ sind aus Werten für $\dot{M}$ und Δh ermittelt, die im stationären Betrieb des Durchlaufdampferzeugers gemessen wurden, und in den Funktionsgebereinheiten 10 bzw. 11 hinterlegt.

[0029] Die Ausgangsgrößen $\dot{M}$ ($L1$) und $\Delta h(L1)$ werden in einem Multiplikationsglied 14 des Funktionsgebers der Vorrichtung 1 miteinander multipliziert. Der gewonnene Produktwert $\dot{Q}(L1)$ entspricht dem Wärmestrom in die Verdampferheizfläche 4 beim Leistungswert $L1$ und wird, ggf. nach Korrektur durch einen in einem Differenzierglied ?? aus der Eintrittsenthalpie ermittelten, für Ein- oder Ausspeicherungseffekte im Verdampfer charakteristischen Leistungsfaktor, als Zähler in ein Dividiertglied 15 eingegeben. Als Nenner wird in das Dividiertglied 15 die mit einem Summierglied 19 gebildete Differenz zwischen einem Sollwert $h_{SA}(L2)$ der spezifischen Enthalpie am Austritt der Verdampferheizfläche 4 und dem Istwert h_{1E} der spezifischen Enthalpie am Eintritt der Verdampferheizfläche 4, der mit Hilfe der Messvorrichtung 9 gemessen wird, eingegeben.

[0030] Der Sollwert $h_{SA}(L2)$ wird einer dritten Funktionsgebereinheit 12 des Funktionsgebers der Vorrichtung 1 entnommen. Der Eingangswert der Funktionsgebereinheit 12 entsteht am Ausgang eines zweiten Verzögerungsgliedes 16, dessen Eingangsgröße der erste Leistungswert $L1$ am Ausgang des ersten Verzögerungsgliedes 13 ist. Dementsprechend ist der Eingangswert der dritten Funktionsgebereinheit 12 ein zweiter Leistungswert $L2$, der gegenüber dem ersten Leistungswert $L1$ verzögert ist. Die Werte $h_{SA}(L2)$ als Funktion von $L2$ sind aus Werten für h_{SA} ermittelt, die im stationären betrieb des Durchlaufdampferzeugers gemessen wurden, und in der dritten Funktionsgebereinheit 12 hinterlegt.

[0031] Dem Ausgang des Dividiertgliedes 15 kann der Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom für die in einem Summierglied 23 stattfindende Bildung der dem Regler 6 zugeführten Regelabweichung des mit der Vorrichtung 5 gemessenen Istwerts für den Speisewassermassenstrom in den Vorwärmer 2 entnommen werden.

[0032] Am Ausgang des zweiten Verzögerungsgliedes 16 liegt der Eingang eines Differenziergliedes 17, dessen Ausgang negativ auf ein Summierglied 18 geschaltet ist. Dieses Summierglied 18 korrigiert den Wert für den Wärmestrom $\dot{Q}(L1)$ in die Verdampferheizfläche 4 um das Ausgangssignal des Differenziergliedes 17.

[0033] Die von der Messvorrichtung 9 gemessenen Istwerte von Temperatur und Druck des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 werden in einem Differenzierglied 22 in einen Istwert ρ_E der Speisewasserdichte am Eintritt des Vorwärmers 2 umgerechnet. Dieser wird auf den Eingang eines Differenziergliedes 22 gegeben und mit dem Volumen des Vorwärmers multipliziert. Der so berechnete Näherungswert $\Delta \dot{M}$ für die Änderung des Speisewassermassenstroms aufgrund von Ein- und

Ausspeicherungseffekten innerhalb des Vorwärmers 2 wird über ein in das Differenzierglied 22 integriertes Verzögerungsglied mit der Durchlaufzeit des Speisewassers durch den Vorwärmer 2 als Zeitkonstante einem Summierglied 24 zugeführt, das den Sollwert für den Massenstrom $\dot{M}_s$ aus dem Differenzierglied 15 um $\Delta \dot{M}$ korrigiert und somit die Berücksichtigung von Massenein- und -ausspeicherungseffekten aufgrund einer Änderung der Temperatur und damit der Dichte des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Regelung des Speisewassermassenstromes ermöglicht.

[0034] FIG 2 zeigt eine alternative Ausführung der Speisewasserdurchflussregelung, die auch im Falle einer zeitlichen Änderung des Wärmeeintrags innerhalb des Vorwärmers 2 die zuverlässige Berücksichtigung von Massenein- und -ausspeicherungseffekten bei der Regelung des Speisewassermassenstromes ermöglicht.

[0035] Die Speisewasserdurchflussregelung nach FIG 1 ist dazu im Ausführungsbeispiel nach FIG 2 um die Berücksichtigung der Dichte ρ_A des Strömungsmediums am Austritt des Vorwärmers 2 ergänzt. Zur Bestimmung der Dichte des Strömungsmediums am Austritt des Vorwärmers 2 ist am Austritt des Vorwärmers 2 eine Messvorrichtung 21 zur Messung des Druckes und der Temperatur des Strömungsmediums vorgesehen. Das Rechenglied 26 ermittelt als Eingangssignal für ein nachgeschaltetes Summierglied 30 aus der Messung von Temperatur und Druck den Istwert für die Dichte ρ_A des Strömungsmediums am Austritt des Vorwärmers 2. Das Ausgangssignal des Summierglieds 30 wird einem Differenzierglied 36 zugeführt, das deren zeitliche Ableitung multipliziert mit dem Volumen des Vorwärmers 2 als Ausgangssignal liefert. Dieses Ausgangssignal, das die zeitliche Änderung des Speisewassermassenstromes $\Delta \dot{M}_A$ am Austritt des Vorwärmers 2 wiedergibt, wird auf ein Summierglied 36 gelegt, das als zweite Eingangsgröße die Änderung $\Delta \dot{M}_E$ des Speisewassermassenstromes am Eintritt des Vorwärmers 2 aufweist.

[0036] Das Summierglied 36 hat als Ausgangssignal die aus $\Delta \dot{M}_A$ und $\Delta \dot{M}_E$ berechnete mittlere Änderung des Speisewassermassenstroms $\Delta \dot{M}$ aufgrund von Massenein- und -ausspeicherungseffekten im Vorwärmer 2. Das Ausgangssignal des Dividiertgliedes 36 wird am Summierglied 24 dem Ausgangssignal des Dividiertgliedes 15 zur Korrektur des Sollwertes des Speisewassermassenstroms aufgeschaltet.

[0037] Im Fall einer Betriebsstörung, die zu einer abrupten Temperaturänderung des dem Vorwärmer 2 zuströmenden Speisewassers, beispielsweise beim plötzlichen Ausfall einer vorgelagerten Vorwärmstrecke, führt, muss das Ausgangssignal des Rechengliedes 26 noch um den Effekt der veränderten Eingangsdichte korrigiert werden. Geschieht dies nicht, so wird der Effekt des Dichtesprunges am Eintritt des Vorwärmers 2 zweimal berücksichtigt, nämlich bei der Erfassung der Dichte des Speisewassers am Eintritt und am Austritt des Vorwärmers 2. Um dies zu korrigieren, wird das Ausgangs-

signal des Differenziergliedes 20 einem Totzeitglied 28 mit der Durchlaufzeit des Speisewassers durch den Vorwärmer 2 als Zeitkonstante aufgeschaltet. Das so erzeugte Signal wird über ein Verzögerungsglied 32 mit einer thermischen Speicherkonstante des Vorwärmers 2 dem Summierglied 30 negativ aufgeschaltet. Somit wird der Effekt des Dichtesprungs am Eintritt des Vorwärmers 2 im Austrittsdichtesignal eliminiert und damit nur einmal und nicht doppelt bei der Berechnung des Korrekturmassenstroms berücksichtigt.

[0038] Die Speisewasserdurchflussregelung unter Verwendung der Vorrichtung 1 ermöglicht in jedem Betriebszustand des Dampferzeugers eine besonders einfache Bestimmung des Sollwertes $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom durch die Verdampferheizfläche 4. Durch eine genaue Abstimmung dieses Speisewassermassenstroms auf den Wärmeeintrag in der Verdampferheizfläche 4 können große Schwankungen der Austrittstemperatur des Frischdampfes und ein Überspringen der spezifischen Enthalpie am Austritt der Verdampferheizfläche 4 sicher verhindert werden. Hohe Materialbelastungen durch Temperaturschwankungen, die zu einer verminderten Lebensdauer des Durchlaufdampferzeugers führen, können somit vermieden werden.

[0039] Der in FIG 3a gezeigte Verlauf (Kurvenzüge I bis III) der drei spezifischen Enthalpien in kJ/kg am Austritt der Verdampferheizfläche 4 in Abhängigkeit von der Zeit t wurde für einen Durchlaufdampferzeuger im Vollastbetrieb bei einem Ausfall einer dem Vorwärmer 2 vorgeschalteten Vorwärmstrecke ermittelt. Der Kurvenzug I in FIG 3a gilt für den Fall, dass die durch die simulierte Betriebsstörung hervorgerufene Dichteänderung des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Speisewasserdurchflussregelung nicht berücksichtigt wird, dass also als Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom das unkorrigierte Ausgangssignal des Dividierglieds 15 nach FIG 1 oder 2 verwendet wird.

[0040] Der Kurvenzug II gilt für den Fall, dass lediglich wie in FIG 1 dargestellt die zeitliche Änderung der Dichte ρ_E am Eintritt des Vorwärmers 2 und damit nur die Massenein- und -ausspeicherungseffekte aufgrund des Temperatursprunges am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Speisewasserdurchflussregelung berücksichtigt wird. Massenein- und -ausspeicherungseffekte aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2 und damit eines veränderten Wärmeeintrags in das Speisewasser bleiben unberücksichtigt. Dieser Fall entspricht der Speisewasserdurchflussregelung aus FIG 1.

[0041] Der Kurvenzug III zeigt schließlich den zeitlichen Verlauf der spezifischen Enthalpie unter zusätzlicher Berücksichtigung der Massenein- und -ausspeicherungseffekte aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2, was der Speisewasserdurchflussregelung aus FIG 2 entspricht. In diesem Fall hat das Summierglied 24 aus FIG 2 als zweite Eingangsgröße neben der Ausgangsgröße des Differenzierglieds 15 die aus $\Delta \dot{M}_A$ und $\Delta \dot{M}_E$ berechnete mittlere Änderung des Speisewassermassenstroms $\Delta \dot{M}$. Die Speisewasserdurchflussre-

gelung berücksichtigt in diesem Fall also nicht nur die Dichte ρ_E am Eintritt des Vorwärmers 2, sondern zusätzlich die Dichte ρ_A an seinem Austritt. Durch die separate Erfassung beider Dichten ρ_E und ρ_A können Massenein- und -ausspeicherungseffekte sowohl aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2 als auch aufgrund einer veränderten Temperatur des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 berücksichtigt werden.

[0042] FIG 3b zeigt den Verlauf (Kurvenzüge I bis III) der drei spezifischen Enthalpien in kJ/kg am Austritt der Verdampferheizfläche 4 in Abhängigkeit von der Zeit t für einen Durchlaufdampferzeuger im Teillastbetrieb (50 % der maximalen Leistung) bei einem Ausfall der dem Vorwärmer 2 vorgeschalteten Vorwärmstrecke.

[0043] Der Kurvenzug I in FIG 3b gilt wie in FIG 3a für den Fall, dass die durch den Ausfall der dem Vorwärmer 2 vorgeschalteten Vorwärmstrecke hervorgerufene Dichteänderung des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Speisewasserdurchflussregelung nicht berücksichtigt wird, dass also als Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom das unkorrigierte Ausgangssignal des Dividierglieds 15 nach FIG 1 oder 2 verwendet wird.

[0044] Der Kurvenzug II in FIG 3b gilt wie in FIG 3a für den Fall, dass lediglich wie in FIG 1 dargestellt die zeitliche Änderung der Dichte ρ_E am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Speisewasserdurchflussregelung berücksichtigt wird. Massenein- und -ausspeicherungseffekte aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2 bleiben unberücksichtigt. Dieser Fall entspricht der Speisewasserdurchflussregelung aus FIG 1.

[0045] Der Kurvenzug III in FIG 3b zeigt wie in FIG 3a den zeitlichen Verlauf der spezifischen Enthalpie unter zusätzlicher Berücksichtigung der Massenein- und -ausspeicherungseffekte aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2, was der Speisewasserdurchflussregelung aus FIG 2 entspricht.

[0046] FIG 3c zeigt den Verlauf (Kurvenzüge I bis III) der drei spezifischen Enthalpien in kJ/kg am Austritt der Verdampferheizfläche 4 in Abhängigkeit von der Zeit t für einen Durchlaufdampferzeuger bei einem Lastwechsel von Vollast- auf Teillastbetrieb (100 % auf 50 % Last).

[0047] Der Kurvenzug I in FIG 3c gilt wie in FIG 3a für den Fall, dass die durch den Ausfall des Vorwärmers 2 hervorgerufene Dichteänderung des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Speisewasserdurchflussregelung nicht berücksichtigt wird, dass also als Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom das unkorrigierte Ausgangssignal des Dividierglieds 15 nach FIG 1 oder 2 verwendet wird.

[0048] Der Kurvenzug II in FIG 3c gilt wie in FIG 3a für den Fall, dass lediglich wie in FIG 1 dargestellt die zeitliche Änderung der Dichte ρ_E am Eintritt des Vorwärmers 2 bei der Speisewasserdurchflussregelung berücksichtigt wird. Massenein- und -ausspeicherungseffekte aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2 bleiben unberücksichtigt. Dieser Fall entspricht der Speisewasserdurchflussregelung aus FIG 1.

[0049] Der Kurvenzug III in FIG 3c zeigt wie in FIG 3a den zeitlichen Verlauf der spezifischen Enthalpie unter zusätzlicher Berücksichtigung der Massenein- und -aus-speicherungseffekte aufgrund einer veränderten Beheizung im Vorwärmer 2, was der Speisewasserdurchflussregelung aus FIG 2 entspricht.

[0050] Die Diagramme nach den Figuren 3a, 3b und 3c zeigen, dass die Speisewasserdurchflussregelung 1 aus FIG 1 oder 2 zur Vermeidung eines Überschwingens der spezifischen Enthalpie am Austritt der Verdampferheizfläche 4 besonders geeignet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Durchlaufdampferzeugers mit einer Verdampferheizfläche (4), einem der Verdampferheizfläche (4) strömungsmediumsseitig vorgeschalteten Vorwärmer (2), einer Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassenstroms $\dot{M}$ und einer dieser Vorrichtung zugeordneten Speisewasserdurchflussregelung (1), deren Regelgröße der Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ ist und deren Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ abhängig von einem der Dampferzeugerleistung zugeordneten Sollwert L geführt ist, wobei der Speisewasserdurchflussregelung (1) als eine der Eingangsgrößen der Istwert ρ_E der Speisewasserdichte am Eintritt des Vorwärmers (2) zugeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Speisewasserdurchflussregelung (1) als weitere Eingangsgröße der Istwert ρ_A der Speisewasserdichte am Austritt des Vorwärmers (2) zugeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Größe

$$\dot{M} + \Delta \bar{\rho} \cdot V$$

als Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom verwendet wird, wobei $\dot{M}$ der Istwert des Speisewassermassenstroms am Eintritt des Vorwärmers (2), $\Delta \bar{\rho}$ die zeitliche Änderung der mittleren Dichte des Speisewassers innerhalb des Vorwärmers (2) und V das Volumen des Vorwärmers (2) sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Näherungswert für die mittlere Dichte $\bar{\rho}$ die Dichte ρ_E des Speisewassers am Eintritt des Vorwärmers (2) verwendet wird.

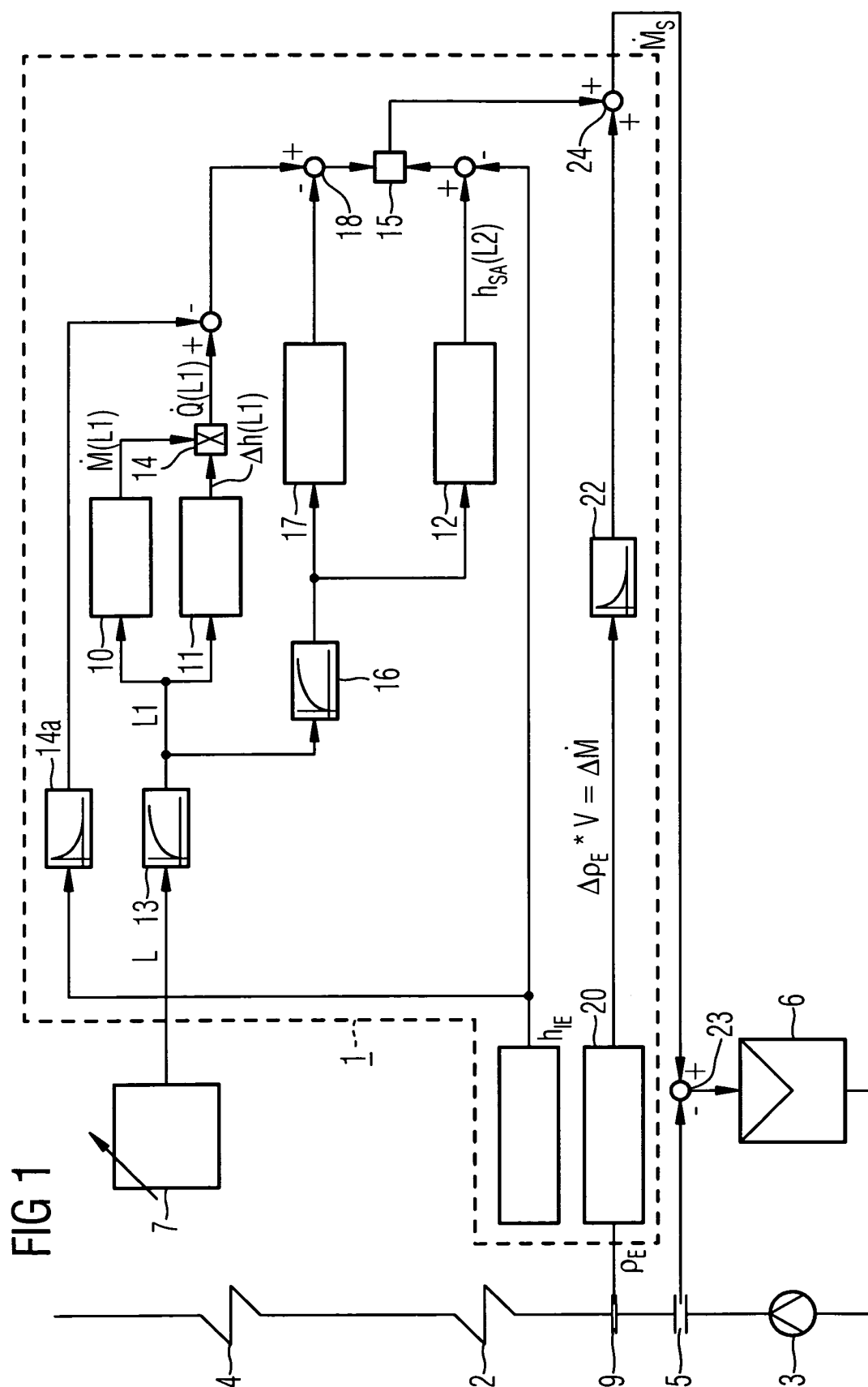
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die zeit-

liche Änderung der mittleren Dichte $\Delta \bar{\rho}$ des Speisewassers im Vorwärmer (2) durch ein Funktionsglied mit Differenzierverhalten gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, bei dem das Eintrittsdichten-Signal einem Totzeitglied mit einer Zeitkonstanten der Durchlaufzeit des Vorwärmers (2) aufgeschaltet, entsprechend einer thermischen Zeitkonstanten des Vorwärmers (2) PT1-verzögert und das so erzeugte Signal dem Austrittsdichtesignal negativ aufgeschaltet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem sowohl die Totzeit als auch die thermische Zeitkonstante des Vorwärmers (2) reziprok zur Last des Dampferzeugers angepasst werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Speisewasserdurchflussregelung (1) bedarfsweise zu- und abschaltbar ist.



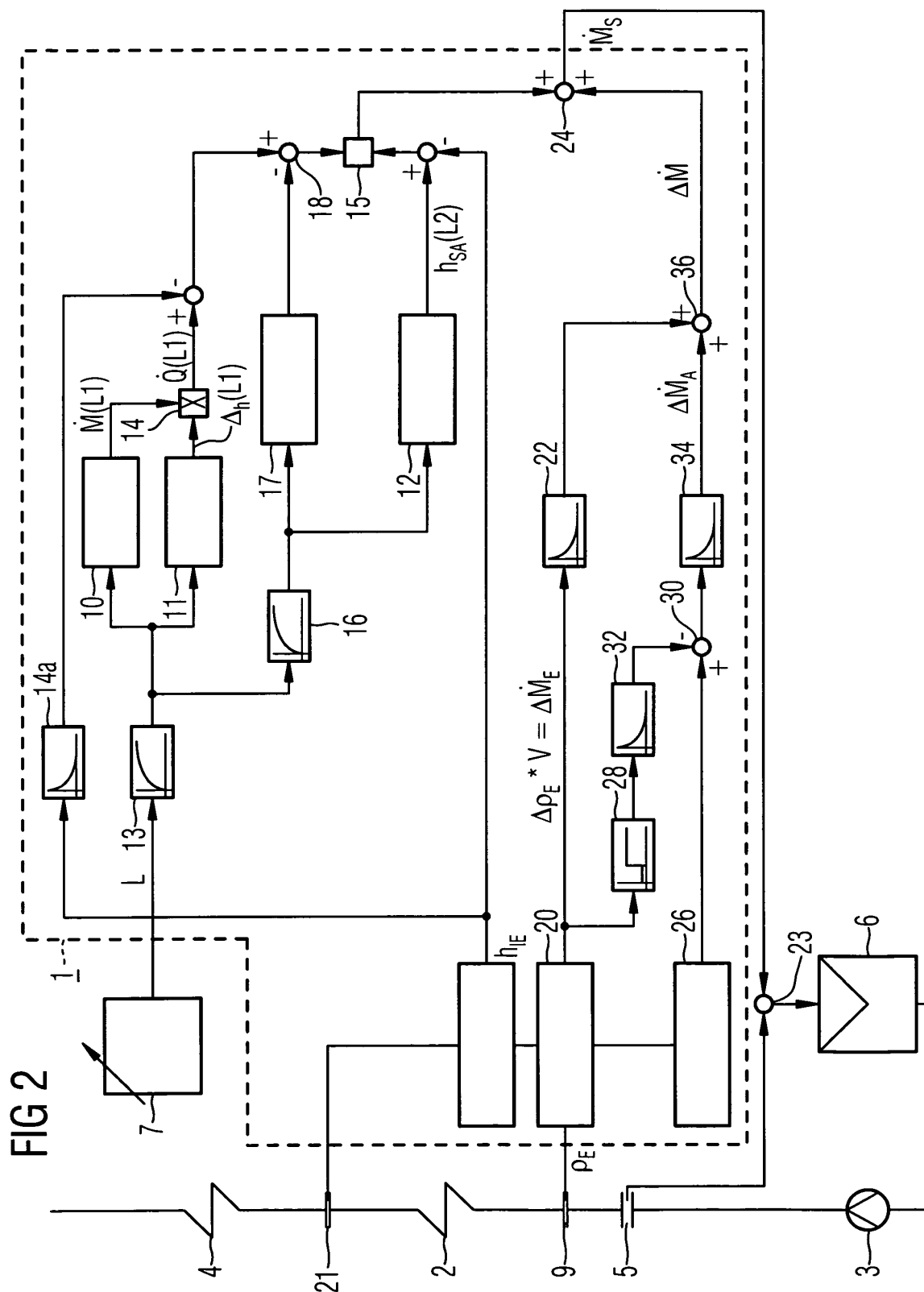


FIG 3A

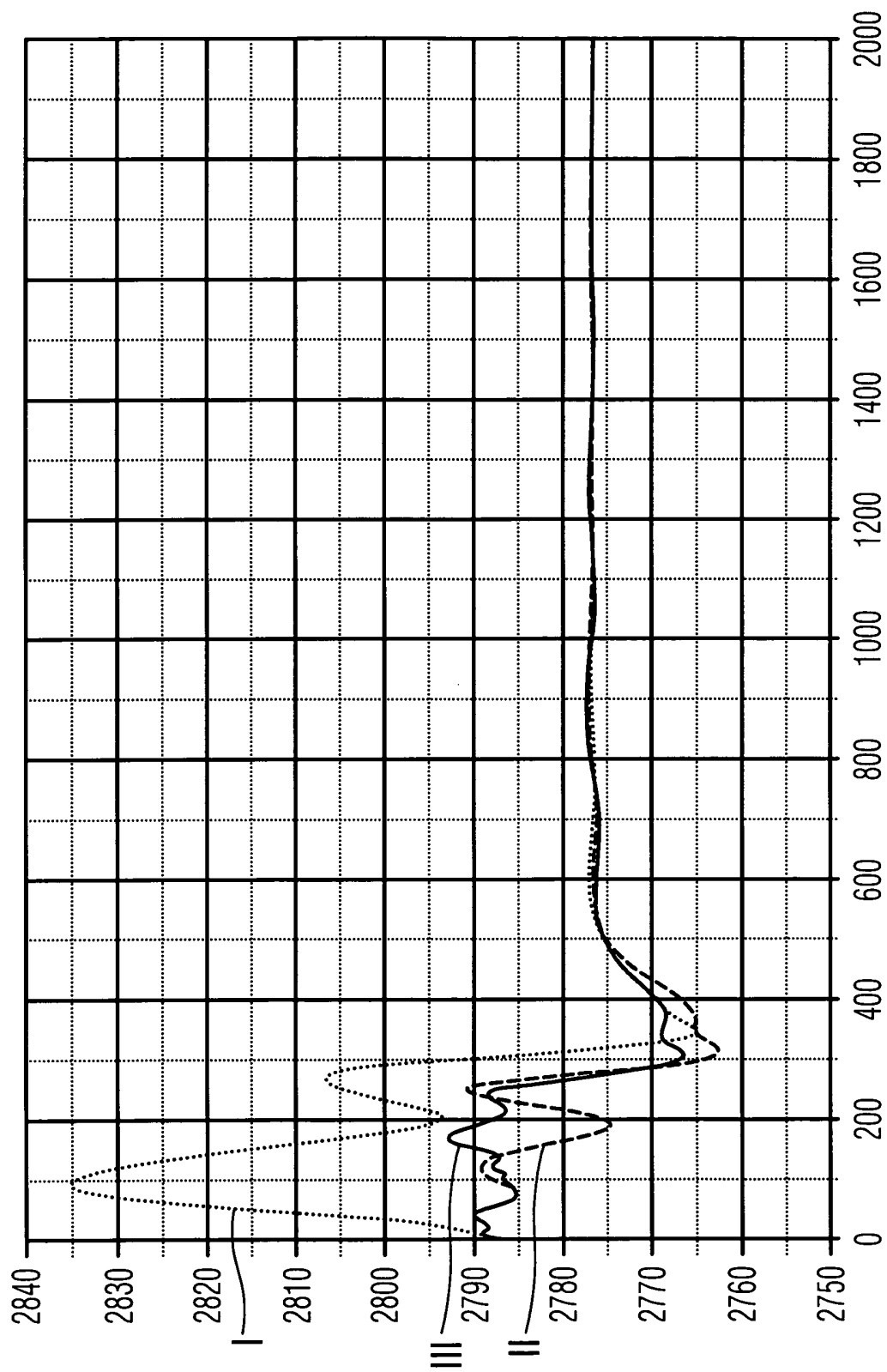


FIG 3B

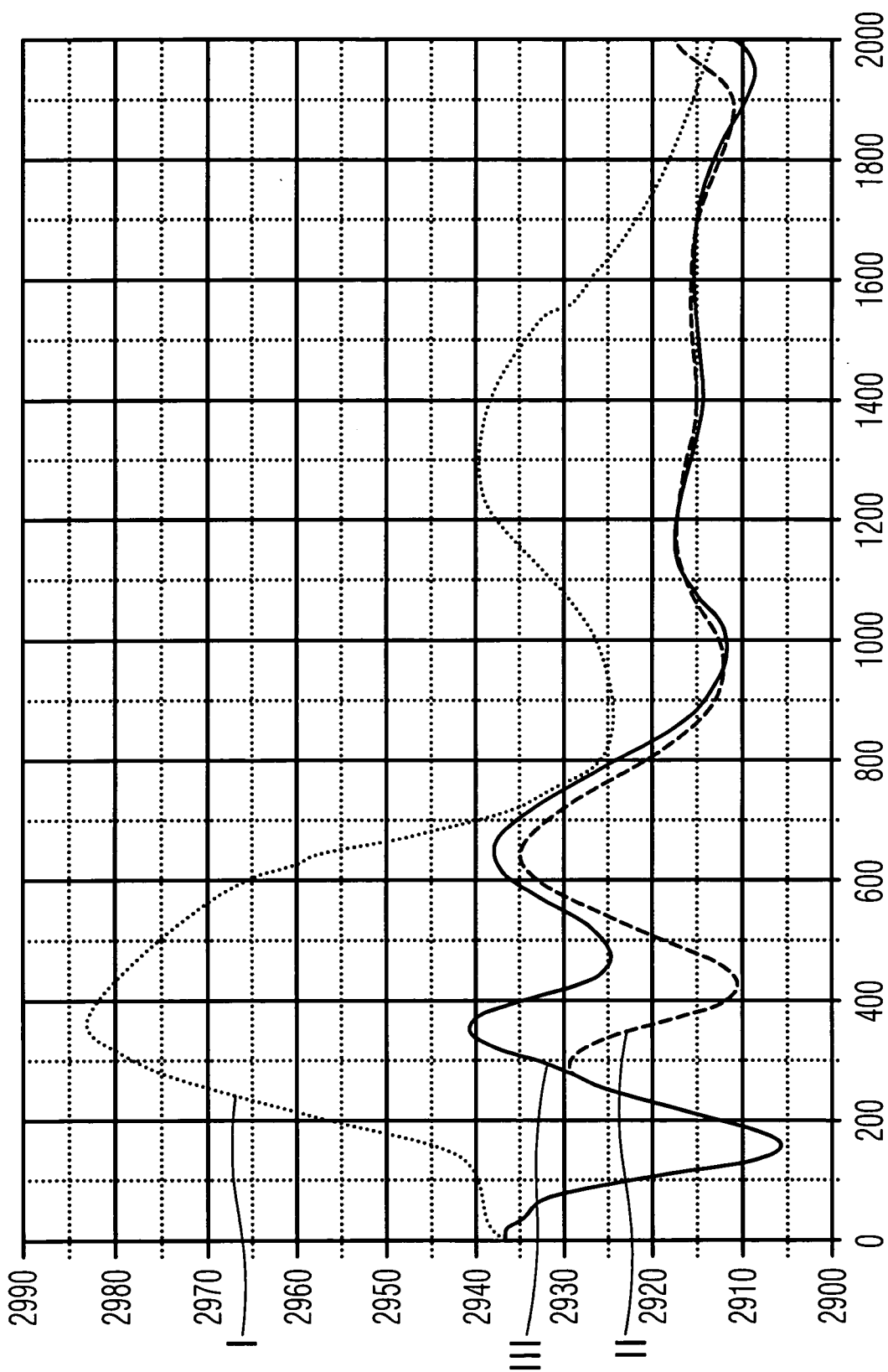
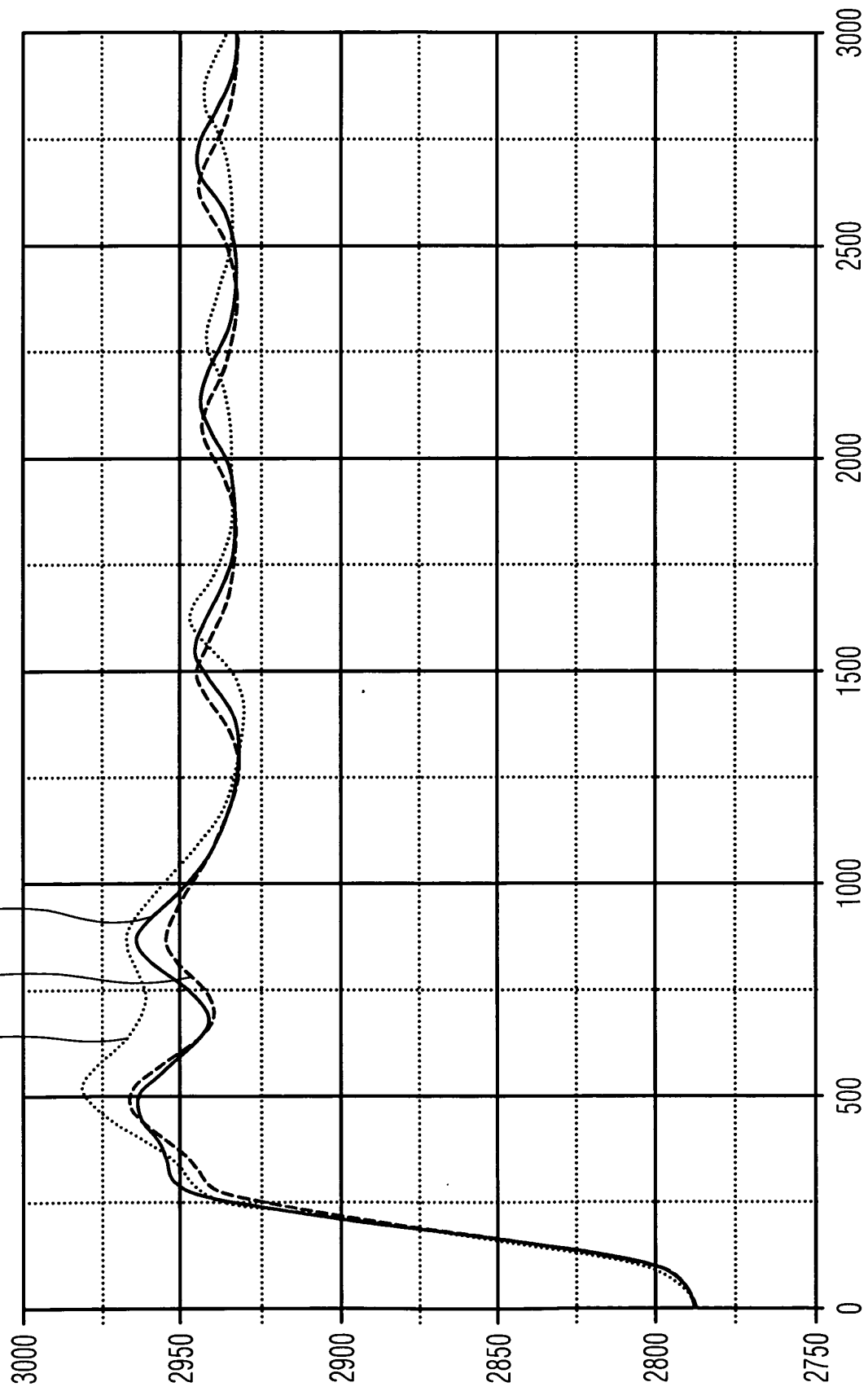


FIG 3C





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 01 6248

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	US 3 196 844 A (JEAN-TH SULZER) 27. Juli 1965 (1965-07-27) * Spalte 2, Zeile 3 - Zeile 41 * * Spalte 3, Zeile 35 - Spalte 4, Zeile 24 * * Spalte 4, Zeile 41 - Spalte 5, Zeile 53 * * Ansprüche; Abbildungen 2,4 *	1-8	F22B35/10
A,D	EP 0 639 253 A (SIEMENS AG) 22. Februar 1995 (1995-02-22) * das ganze Dokument *	1-8	
A	US 2 337 851 A (JUNKINS RAYMOND D) 28. Dezember 1943 (1943-12-28) * Seite 2, Spalte 1, Zeile 10 - Zeile 53 * * Seite 3, Spalte 1, Zeile 47 - Seite 3, Spalte 2, Zeile 19 * * Seite 4, Spalte 1, Zeile 43 - Seite 5, Spalte 2, Zeile 2 * * Abbildungen 1,3-6 *	1-8	
A	US 3 774 396 A (BORSI L ET AL) 27. November 1973 (1973-11-27) * das ganze Dokument *	1-8	F22B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Januar 2005	Prüfer Zerf, G
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 04 01 6248

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.

18-01-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3196844 A	27-07-1965	CH 376129 A FR 1277779 A GB 950212 A	31-03-1964 01-12-1961 19-02-1964
EP 0639253 A	22-02-1995	DE 4217626 A1 EP 0639253 A1 DE 59304751 D1 JP 7502803 T KR 251011 B1 CN 1086299 A ,B WO 9322599 A1 DK 639253 T3 JP 2563099 B2 US 5529021 A	02-12-1993 22-02-1995 23-01-1997 23-03-1995 15-04-2000 04-05-1994 11-11-1993 16-06-1997 11-12-1996 25-06-1996
US 2337851 A	28-12-1943	KEINE	
US 3774396 A	27-11-1973	DE 2118028 A1 AT 317929 B BE 782175 A1 CA 959562 A1 FI 52398 B FR 2133672 A5 GB 1387716 A IT 957176 B ZA 7202332 A	15-03-1973 25-09-1974 16-10-1972 17-12-1974 02-05-1977 01-12-1972 19-03-1975 10-10-1973 27-12-1972

EPO FORM P0461

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