



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

0 290 637
A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 87106762.5

(51) Int. Cl.⁴: **D21G 1/00 , B21B 37/00**

(22) Anmeldetag: 09.05.87

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.11.88 Patentblatt 88/46

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE

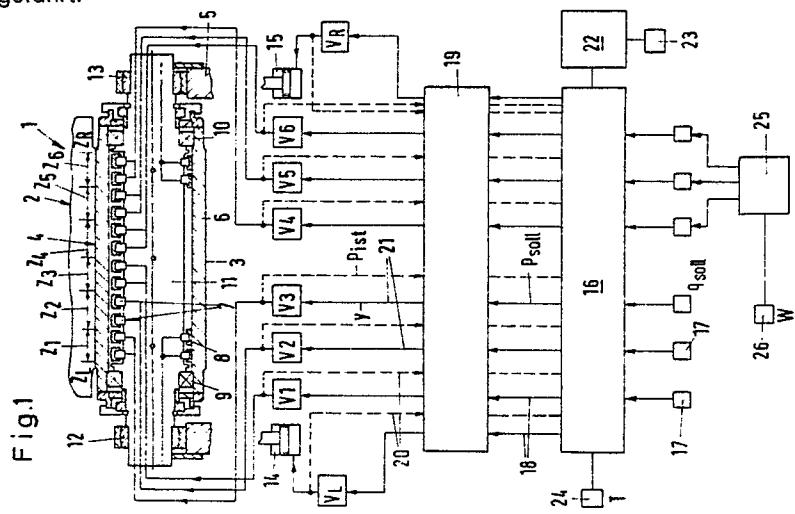
(71) Anmelder: **Kleinewefers GmbH**
Kleinewefersstrasse 25
D-4150 Krefeld 1(DE)

(72) Erfinder: **Van-Haag, Rolf**
Klosterstrasse 14a
D-4173 Kerken(DE)
Erfinder: **Schmidt, Rainer, Dr.**
Schorlemerstrasse 74
D-4430 Steinfurt(DE)

(74) Vertreter: **Knoblauch, Ulrich, Dr.-Ing.**
Kühhornshofweg 10
D-6000 Frankfurt am Main 1(DE)

(54) **Verfahren zum Betrieb einer Walzenmaschine und Steueranordnung zur Durchführung dieses Verfahrens.**

(57) Ein Verfahren zum Betrieb einer Walzenmaschine, insbesondere Kalander oder Glättwerk, mit einer Biegeausgleichswalze legt für jede mit Druck beaufschlagbare Wirkstelle einen Arbeitsdruck fest, so daß ein Lastparameter im Preßspalt einen vorbestimmen Sollwert hat. Zunächst wird eine Druckreaktionsmatrix gebildet, deren Glieder die Änderung des Lastparameters in allen Zonen bei einer Druckänderung an nur jeweils einer Wirkstelle angeben. Dann wird bei einer Sollwertänderung unter Verwendung der Druckreaktionsmatrix schrittweise nacheinander jeweils für die Wirkstelle einer Zone eine die Differenz zwischen Istwert und Sollwert des Lastparameters ganz oder teilweise ausgleichende Druckänderung berechnet. Für alle anderen Zonen wird der sich durch diese Druckänderung ergebende geänderte Istwert des Lastparameters berechnet. Wird ein Toleranzwert unterschritten, kann man den Arbeitsdruck für jede Zone durch die Summe aller Druckänderungen korrigieren. In einer Steueranordnung werden diese Iterations-Rechnungen mit einer programmierten Rechenvorrichtung (16) durchgeführt.



Verfahren zum Betrieb einer Walzenmaschine und Steueranordnung zur Durchführung dieses Verfahrens

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betrieb einer mindestens zwei Walzen aufweisenden Walzenmaschine für die Behandlung von Bahnmaterial in einem Preßspalt, insbesondere Kalander oder Glättwerk für Papier-, Kunststoff- oder Textilbahnen, mit einer Anzahl von mit einstellbarem Druck beaufschlagbaren, je einer Zone des Preßspalts zugeordneten Wirkstellen, darunter Lagerelemente oder Lagerelementgruppen, die den Walzenmantel einer Biegeausgleichswalze auf einem den Mantel durchsetzenden, drehfesten Träger abstützen, bei welchem Verfahren für jede Wirkstelle ein Arbeitsdruck festgelegt wird, der von dem Sollwertprofil eines Lastparameters im Preßspalt abhängt, und bei einer Sollwertänderung in einer Zone eine Druckänderung auch in anderen Zonen zugeordneten Wirkstellen erfolgt, sowie auf eine Steueranordnung für eine Walzenmaschine zur Durchführung des Verfahrens, mit der Drucksteuerventilen in den Zuleitungen zu den Wirkstellen Steuersignale zuführbar sind.

Bei der hier betrachteten Walzenmaschinen wird das Bahnmaterial hauptsächlich durch die im Preßspalt herrschende Streckenlast (Kraft pro Längeneinheit) oder Druckspannung (Kraft pro Flächeneinheit) beeinflußt. Es ist daher von Interesse, für einen Lastparameter, der gleich den vorgenannten Größen ist oder hiervon abhängt, einen Sollwert vorzugeben und im Betrieb dafür zu sorgen, daß dieser Wert wenigstens angenähert aufrecht erhalten wird. Dies stößt aber deshalb auf Schwierigkeiten, weil eine Messung der im Preßspalt auftretenden Kräfte im Betrieb nicht möglich ist.

Es ist daher bereits ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art bekannt (DE-OS 28 25 706), bei dem ein vereinfachtes mechanisches Modell der Walzenmaschine verwendet wird, um die Kraftverteilung im Preßspalt zu ermitteln. Zu diesem Zweck werden die Walzen durch Balken ersetzt. Zwischen zwei den Preßspalt nachbildenden Walzen sind zonenweise verteilt Druckmeßelemente angeordnet. Ihnen ist auf der anderen Balkenseite je ein ein Lagerelement nachbildendes Druckelement zugeordnet. Für jede Zone ist ein Regler vorgesehen, dem einerseits ein einstellbarer Sollwert und andererseits der vom Druckmeßelement gemessene Istwert eines in der betreffenden Zone herrschenden Lastparameters zugeführt wird. Der Regler legt für die betreffende Zone einen Arbeitsdruck fest, der sowohl dem Lagerelement der Originalmaschine als auch dem Druckelement des mechanischen Modells zugeführt wird. Ändert man den Sollwert in einer Zone, hat dies wegen der Steifigkeit der Balken Einfluß in den Nachbarzonen, so daß auch dort mit Hilfe der diesen Zonen zugeordneten Regler eine Nachregelung des Arbeitsdrucks erfolgt.

Kalander, Glättwerke und andere Walzenmaschinen haben eine erhebliche Größe. Die Walzen besitzen eine Länge von mehreren Metern. Es ist außerordentlich schwierig, ein mechanisches Modell zu bauen, das in allen Einzelheiten die Originalmaschine nachzubilden vermag. Hinzu kommt, daß sich wesentliche Daten der Originalmaschine ändern, beispielsweise wenn Walzen mit einem elastischen Bezug abgedreht werden, wodurch sich Gewicht und Steifigkeit ändern, oder wenn überhängende Gewichte variiert werden, beispielsweise wenn eine Leitwalzenanordnung in Folge einer anderen Bahnführung geändert wird. All dies vermag das mechanische Modell nicht zu berücksichtigen.

Est ist ferner ein Verfahren bekannt (DE-PS 31 17 516), bei dem durch eine externe Korrektur des Drucksteuersignals für eine Lagerelementgruppe Hilfs-Korrektursignale ausgelöst werden, welche die Gruppensteuersignale benachbarter Lagerelementgruppen in kompensierender Wirkung beaufschlagen. Hier werden die Verhältnisse im Preßspalt völlig unberücksichtigt gelassen. Zwar führt - wie beim zuvor beschriebenen Stand der Technik - eine Änderung in einer Zone zu einer kompensierenden Änderung in den Nachbarzonen. Die hierfür verwendeten Hilfs-Korrektursignale geben aber keine Gewähr dafür, daß bei einer Veränderung der Streckenlast in einer Zone die Verhältnisse in den anderen Zonen unverändert bleiben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art anzugeben, mit dessen Hilfe es ohne mechanisches Modell möglich ist, die einzelnen Wirkstellen derart mit Druck anzusteuern, daß bei einer Sollwertänderung des Lastparameters in einer Zone der Istwert des Lastparameters in dieser Zone angepaßt werden kann und in den anderen Zonen seinen bisherigen Wert praktisch unverändert beibehält.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Druckreaktionsmatrix gebildet wird, deren Glieder die Änderung des Lastparameters in allen Zonen bei einer Druckänderung an nur jeweils einer Wirkstelle angeben, daß zur Anpassung des Istwerts des Lastparameters an den Sollwert unter Verwendung der Druckreaktionsmatrix schrittweise nacheinander jeweils für die Wirkstelle einer Zone die Differenz zwischen Istwert und Sollwert ganz oder teilweise ausgleichende Druckänderung und für alle anderen Zonen ein durch diese Druckänderung sich ergebender geänderter Istwert berechnet wird, bis eine von den Differenzen abhängige Fehlerfunktion einen Toleranzwert unterschreitet, und daß für jede Zone der

Arbeitsdruck um die Summe aller für diese Zone berechneten Druckänderungen geändert wird.

Bei diesem Vorgehen wird durch Bildung der Druckreaktionsmatrix ein mathematisches Werkzeug geschaffen, das die zu steuernde Walzenmaschine sehr genau beschreibt. Änderungen an der Maschine (Abdrehen von elastischen Walzen; Austausch von Walzen; Umbau überhängender Gewichte usw.) lassen sich sehr einfach durch Änderung der Matrize oder einzelner Matrizinglieder berücksichtigen.

- 5 Mit der so vorgegebenen Druckreaktionsmatrix wird im Betrieb ein Iterations-Rechenverfahren durchgeführt, bei dem die Auswirkung jeder Druckänderung auf alle Zonen berechnet wird und bei dem die in den einzelnen Zonen auftretenden Fehler so lange durch Druckänderungen rechnerisch beseitigt werden, bis ein Toleranzwert unterschritten wird. Aus allen Druckänderungen kann dann für jede Zone das nunmehr richtige 10 Steuersignal abgeleitet werden, das zu dem gewünschten Sollwertprofil des Lastparameters im Preßspalt führt. Dieses Rechenverfahren erfordert wegen des Vorhandenseins der Druckreaktionsmatrix einen verhältnismäßig geringen Aufwand, so daß man mit kleinen Speichern und Rechnern auskommt. Die Rechenzeit ist so kurz, auch wenn 20 bis 100 Iterationsschritte durchgeführt werden, daß dies ohne Betriebsunterbrechung erfolgen kann.

- 15 Zur Bildung der Druckreaktionsmatrix können vor Betriebsaufnahme die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- a) für jede Zone wird ermittelt, um welchen Betrag sich der Lastparameter ändert, wenn der Druck in einer Wirkstelle um einen Betrag geändert wird, in allen anderen Wirkstellen aber gleich bleibt,
- b) diese Ermittlung wird für eine Druckänderung in allen Wirkstellen wiederholt,
- c) es wird eine Druckreaktionsmatrix gebildet, deren Glieder Quotienten aus Lastparameteränderung und Druckänderung sind, wobei die Zeilen jeweils einer Zone und die Spalten jeweils einer Wirkstelle zugeordnet sind.

- 20 Man erhält systematisch alle wesentlichen Daten der Originalmaschine, soweit sie für die Berechnung eine Rolle spielen. Die Zeilen können sowohl horizontal als auch vertikal verlaufen, für die Spalten gilt das Umgekehrte.

- 25 Die Glieder der Druckreaktionsmatrix können auf verschiedene Art und Weise gewonnen werden. Beispielsweise können sie durch Messungen an der Maschine unter Verwendung von in den Preßspalt einzuführenden, druckabhängig reagierenden Material ermittelt werden. Hierfür kommt unter anderem NCR-Papier in Betracht, das anschließend mit einem Weißgradmeßgerät (z.B. von der Firma Elrepho) ausgewertet wird.

- 30 Eine andere bevorzugte Möglichkeit besteht darin, daß die Glieder der Druckreaktionsmatrix durch Berechnungen unter Verwendung eines mathematischen Modells der Maschine ermittelt werden. In ein solches Modell gehen alle wesentlichen Eigenschaften der Maschine ein, wie Steifheit der Walze bzw. des Trägers und des Walzenmantels, Elastizitätsmodule der harten und bezogenen Walzen, überhängende Gewichte u.dgl.

- 35 Besonders empfehlenswert ist die Berechnung nach der Methode der finiten Elemente, wie sie in der Praxis für zahlreiche Fälle angewendet wird. Es gibt aber auch andere Berechnungsarten, beispielsweise nach der Methode der Übertragungsmatrizen.

- 40 Als besonders günstig hat es sich erwiesen, daß bei der Ermittlung der Glieder der Druckreaktionsmatrix von einem über die Preßspaltlänge konstanten Sollwert des Lastparameters ausgegangen wird, der zonenweise verändert wird. Es herrschen dann für alle Glieder der Matrix vergleichbare Verhältnisse.

- 45 Im Betrieb empfiehlt es sich, zur Anpassung des Istwerts des Lastparameters an den Sollwert die folgenden Schritte durchzuführen:

- d) aus dem der Zone größter Differenz und der zugeordneten Wirkstelle zugehörigen Glied der Reaktionsmatrix wird eine Druckänderung berechnet, die eine der Differenz zwischen Istwert und Sollwert entsprechende Lastparameteränderung bewirkt,
- e) aus dieser Druckänderung wird mit Hilfe der in der gleichen Spalte der Druckreaktionsmatrix stehenden Glieder eine Lastparameteränderung in den übrigen Zonen berechnet,
- f) für jede Zone wird aus der Summe des bisherigen Istwerts des Lastparameters und seiner Änderung ein neuer Istwert gebildet,
- g) für eine zweite Zone wird aus dem dieser Zone und der zugeordneten Wirkstelle zugehörigen Glied der Druckreaktionsmatrix eine Druckänderung berechnet, die eine der Differenz zwischen neuem Istwert und Sollwert entsprechende Lastparameteränderung bewirkt,
- h) aus der letztgenannten Druckänderung wird mit Hilfe der in der gleichen Spalte der Druckreaktionsmatrix stehenden Glieder eine Lastparameteränderung in den übrigen Zonen berechnet,
- i) für jede Zone wird aus der Summe des zuletzt gültigen Istwerts des Lastparameters und seiner Änderung ein neuer Istwert gebildet,

- j) die Schritte g) bis i) werden für weitere Zonen wiederholt, bis eine die Differenz in den einzelnen Zonen berücksichtigende Fehlerfunktion unter einen Toleranzwert sinkt,
- k) für jede Wirkstelle wird aus der Summe des dort vorherrschenden Arbeitsdrucks und aller zugehörigen Druckänderungen ein neuer Arbeitsdruck gebildet, und es werden entsprechende Steuersignale an die Maschine gegeben.

In weiterer Ausgestaltung werden mehrere zweidimensionale Druckreaktionsmatrizen für verschiedene Betriebszustände der Maschine gebildet und wahlweise in Abhängigkeit vom Betriebszustand für die Berechnung benutzt. Dies trägt der Tatsache Rechnung, daß sich die Verhältnisse innerhalb der Maschine nicht linear ändern, so daß man die Optimale Genauigkeit nur erhält, wenn man für verschiedene Betriebszustände auch unterschiedliche Matrizen bei der Berechnung benutzt. Die Auswahl der Matrizen kann automatisch oder durch den Maschinenführer erfolgen.

So können beispielsweise Druckreaktionsmatrizen für mindestens zwei unterschiedliche Sollwertbereich des Lastparameters, für mindestens zwei unterschiedliche Durchmesser von mindestens einer Walze oder für mehrere Mitteltemperaturen der Walzenoberflächen vorgesehen sein. Unterschiedliche Matrizen können auch für unterschiedliche Walzengewichte beim Walzenaustausch, für unterschiedliche überhängende Gewicht, für unterschiedliche Walzenhärten, Bettungsziffern oder auch Bahneigenschaften vorgesehen werden.

Bei einer weiteren Ausgestaltung sind die folgenden zusätzlichen Schritte vorgesehen:

- l) für jede Zone wird ermittelt, um welche Beträge sich der Lastparameter ändert, wenn die Temperatur in dieser Zone sich um mehrere vorbestimmte Werte ändert,
- m) die temperaturabhängige Lastparameteränderung wird jeweils als Korrekturglied in der Differenz zwischen Istwert und Sollwert des Lastparameters berücksichtigt.

Auf diese Weise wird einem unterschiedlichen Temperatureinfluß und der damit verbundenen Durchmesseränderung der Walzen Rechnung getragen. Wenn die Temperatur in einer Zone steigt, kann in der Regel der zugehörigen Wirkstelle zugeführte Druck herabgesetzt werden.

In diesem Zusammenhang ist es zweckmäßig, wenn die Temperatur über die Länge der Walze gemessen und in Abhängigkeit hiervon die entsprechende Druckreaktionsmatrix bzw. das temperaturabhängige Korrekturglied automatisch gewählt wird.

Beim Vorhandensein von mindestens zwei Biegeausgleichswalzen sollte eine Reaktionsmatrix mit Gliedern für alle Zonen und Wirkstellen aller Biegeausgleichswalzen gebildet werden. Damit wird die Tatsache berücksichtigt, daß bei der Änderung des Drucks an der Wirkstelle einer Walze nicht nur die übrigen Zonen dieser Walze, sondern auch alle Zonen jeder weiteren Walze eine Veränderung des Lastparameters erfahren.

Wenn die Biegeausgleichswalze äußere Hydraulikzylinder als zusätzliche Wirkstellen aufweist, empfiehlt es sich, ihnen jeweils eine Randzone für die Ermittlung der Lastparameteränderung zuzuordnen. Auf diese Weise kann auch der Druck für diese äußeren Hydraulikzylinder im Sinne einer Anpassung an den gewünschten Sollwert des Lastparameters im Preßspalt berechnet werden.

Eine besonders schnelle Berechnung ergibt sich, wenn die Druckänderung jeweils für die Wirkstelle derjenigen Zone durchgeführt wird, in welcher die größte Differenz zwischen Istwert und Sollwert des Lastparameters besteht. Dies ergibt die kleinste Zahl der erforderlichen Iterationsschritte.

Die Berechnungsschritte sollten mindestens so oft wiederholt werden als Zonen vorhanden sind. In der Regel wird aber wenigstens die doppelte Zahl der Iterationsschritte durchlaufen, ehe der Toleranzwert unterschritten wird.

Wichtig ist es in vielen Fällen, daß die Berechnungsschritte wenigstens einmal für die Zone wiederholt werden, mit der bei der Berechnung begonnen worden ist. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß die Druckänderungen, die zur Fehlerbeseitigung in den anderen Zonen durchgeführt worden sind, ihrerseits Rückwirkungen auf die erste Zone haben, die nur durch eine Korrektur des dortigen Drucks ausgeglichen werden können.

Als besonders geeignet für die Fehlerfunktion hat sich die Quadratwurzel der Summe der Fehlerquadrate für alle Zonen erwiesen. Diese Funktion stellt sicher, daß in allen Zonen die Abweichung des berechneten neuen Istwerts des Lastparameters vom zugehörigen Sollwert besonders klein ist.

Das bis hierher beschriebene Verfahren kann auch in einen übergeordneten Regelkreis eingebunden sein. Insbesondere kann das Sollwertprofil in Abhängigkeit von einem Bahndaten-Regelkreis änderbar sein.

Eine Steueranordnung für eine Walzenmaschine zur Durchführung des Verfahrens, mit der Drucksteuerventilen in den Zuleitungen zu den Wirkstellen Steuersignale zuführbar sind, ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch eine Rechenvorrichtung, der Eingabevorrichtungen und Speicher für die den Zonen zugeordneten Sollwerte des Lastparameters und für die Glieder mindestens einer Druckreaktionsmatrix sowie Ausgänge für die Steuersignale zugeordnet sind, und die auf die Durchführung der Berechnungs-

schrifte zur Anpassung des Istwerts an den Sollwert programmiert ist. Die Rechenvorrichtung braucht lediglich mit den entsprechenden Daten versorgt zu werden und kann dann aufgrund ihrer Programmierung die Steuersignale für die einzelnen Wirkstellen abgeben.

Zweckmäßigerweise ist zwischen Rechenvorrichtung und Drucksteuerventile eine Steuervorrichtung geschaltet, die plötzliche Änderungen der von der Rechenvorrichtung abgegebenen Steuersignale in eine Rampenfunktion umsetzt. Die Rampenfunktion sorgt für eine allmähliche Änderung des Lastparameter-Istwerts im Preßspalt. Damit ist sichergestellt, daß keine unerwünschten Schwingungen o.dgl. auftreten.

Des weiteren ist es günstig, daß eine Temperaturmeßvorrichtung vorgesehen ist, die die Walzentemperatur in den einzelnen Zonen zu messen vermag, und daß die Rechenvorrichtung einen Eingang für die Temperaturmeßwerte hat. Diese Meßvorrichtung kann für jede Zone eine Einzelmeßstelle aufweisen oder aber einen Meßfühler, der längs der Walze hin und her bewegt wird.

In weiterer Ausgestaltung empfiehlt sich eine Bahndatenmeßvorrichtung, die Istwerte von Bahndaten mindestens an mehreren Stellen quer über die Bahnbreite zu messen vermag, und ein den Zonensollwert-Eingabevorrichtungen vorgesetzter Umsetzer, der aufgrund der Bahndaten die Zonensollwerte festlegt. Auf diese Weise kann die Rechenvorrichtung in einen übergeordneten Regelkreis oder eine Steuerung eingebunden werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand in der Zeichnung dargestellter, bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Biegeausgleichswalze mit zugehöriger Steueranordnung,

Fig. 2 einen Kalander mit einer solchen Biegeausgleichswalze,

Fig. 3 einen Kalander mit zwei Biegeausgleichswalzen,

Fig. 4 einen Superkalander mit zwölf Walzen, davon zwei Biegeausgleichswalzen,

Fig. 5 ein zweidimensionales Modell für den Superkalander der Fig. 4 zwecks Berechnung nach der finite Elementmethode und

Fig. 6 die Darstellung der Fig. 5 bei Druckbelastung der einzelnen Wirkstellen.

Bei der Walzenmaschine 1 nach den Fig. 1 und 2 wirken eine Oberwalze 2 und eine Unterwalze 3 zusammen, die zwischen sich einen Preßspalt 4 bilden. Die Oberwalze 2 ist im Gestell 5 ortsfest gelagert. Die Unterwalze 3 besitzt einen Mantel 6, der unter Zwischenschaltung von dem Preßspalt 4 zugewandten Primär-Lagerelementen 7 und auf der Gegenseite angeordneten Sekundär-Lagerelementen 8 sowie über an den Enden befindlichen Wälzlagern 9 und 10 auf einem den Mantel durchsetzenden Träger 11 abgestützt ist. Sowohl die Oberwalze 2 als auch die Unterwalze 3 kann mit einem elastischen Bezug versehen werden. Der Träger ist an seinen freien Enden drehfest in kalottenartigen Lagern 12 und 13 drehfest gehalten, die mit Hilfe von Hydraulikzylindern 14 bzw. 15 in der Wirkebene nach oben gedrückt werden können.

Den Hydraulikzylindern 14 und 15 wird Druckflüssigkeit über Drucksteuerventile V_L bzw. V_R zugeführt. Die Primär-Lagerelemente 7 sind paarweise zu Gruppen zusammengefaßt, die Druckflüssigkeit über Drucksteuerventile V_1 bis V_6 zugeführt erhalten. Ähnliche Ventile können auch für die Paare von Sekundär-Lagerelementen 8 vorgesehen sein. Die genannten Hydraulikzylinder 14 und 15 sowie die Gruppen von Primär-Lagerelementen 7 werden nachstehend als mit einstellbarem Druck beaufschlagbare "Wirkstellen" bezeichnet. Jeder Wirkstelle ist im Preßspalt eine bestimmte Zone zugeordnet, nämlich dem Hydraulikzylinder 14 die eine Randzone Z_L und dem anderen Hydraulikzylinder 15 die Randzone Z_R . Die dazwischen befindlichen Zonen Z_1 bis Z_6 entsprechen jeweils den darunter dargestellten Gruppen von Primär-Lagerelementen 7. Die Sekundär-Lagerelemente 8 dienen lediglich der Einspannung des Walzenmantels und werden mit konstantem Druck versorgt. Nur wenn sie im Betrieb mit veränderbarem Druck beschickt werden sollten, sind sie als "Wirkstellen" im vorgenannten Sinne anzusehen und wären dann den Zonen Z_1 und Z_6 zugeordnet.

Zur Festlegung der Steuersignale, welche den genannten Drucksteuerventilen zugeführt werden, um den von ihnen abzugebenden Druck festzulegen, ist eine programmierbare Rechenvorrichtung 16 vorgesehen, die über Eingabestellen 17 mit Sollwerten q_{soll} für einen im Preßspalt 4 herrschenden Lastparameter, insbesondere die Streckenlast oder Druckspannung, versehen ist. Über eine Datenleitung 18 gibt die Rechenvorrichtung 16 Steuersignale p_{soll} ab, welche dem den einzelnen Wirkstellen zuzuführenden Druck entsprechen. Diese Steuersignale werden einer speicherprogrammierbaren Steuerung 19 zugeführt, die diese Steuersignale mit den Druck-Istwerten p_{ist} vergleicht, die über die Leitungen 20 zugeführt werden, und dann entsprechende Betätigungssignale y über Leitungen 21 an die Ventile abgibt. Außerdem sorgt die Steuerung 19 dafür, daß bei plötzlichen Änderungen des Druck-Sollwerts p_{soll} die über die Leitungen 21 abgegebenen Betätigungssignale nach einer Rampenfunktion verlaufen, also nur eine allmähliche Änderung eintritt.

An die Rechenvorrichtung 16 ist ein Speicher 22 angeschlossen, der einerseits die Sollwerte des Lastparameters in den einzelnen Zonen und andererseits mehrere Druckreaktionsmatrizen aufnimmt, wie

später noch im einzelnen erläutert wird. Letztere werden über die Eingabestelle 23 eingeführt.

Ferner ist die Rechenvorrichtung 16 mit einem Temperaturfühler 24 verbunden, der in bekannter Weise die Oberflächentemperatur T der einen Walze, insbesondere der bezogenen Walze 2, an verschiedenen Stellen ihrer Länge mißt, wie dies beispielsweise aus DE-PS 31 31 799 bekannt ist.

5 Der Sollwert q_{soll} des Lastparameters kann an den Eingabestellen 17 von Hand eingestellt werden, wie dies links in Fig. 1 veranschaulicht ist. Die Sollwertvorgabe kann aber auch von einem vorgesetzten Umsetzer 25 kommen, dem eine - ebenfalls aus DE-PS 31 31 799 bekannte - Meßvorrichtung 26 über die Breite der Bahn gemessene Bahndaten w, wie Bahndicke, Glanz, Glätte o.dgl., zuführt. Bekanntlich können diese Bahndaten durch eine Änderung der Streckenlast in entsprechenden Zonen beeinflußt werden.

10 Während beim bisher beschriebenen Ausführungsbeispiel lediglich ein Preßspalt 4 vorhanden ist, zeigt Fig. 3 einen Walzenmaschine 101, bei der eine Mittelwalze 102 fest im Gestell 105 gelagert ist. Eine Unterwalze 103 kann in ähnlicher Weise wie diejenige der Fig. 1 und 2 nach oben gepreßt werden, während eine Oberwalze 127 spiegelbildlich gegen die Mittelwalze 102 gepreßt werden kann. Somit stehen zwei Preßspalte 104 und 128 zur Verfügung.

15 Bei der Ausführungsform nach Fig. 4 ist ein Superkalander 201 veranschaulicht, bei dem zwischen einer unteren Biegeausgleichswalze 203 und einer oberen Biegeausgleichswalze 227 sechs bezogene Walzen 229 bis 234 und vier harte Walzen 235 bis 238 angeordnet sind. Die untere Walze 203 entspricht der Walze 3 in Fig. 1 mit dem Unterschied, daß die Lager 12 und 13 für den Träger 11 im Betrieb gestellfest gehalten werden. Die Walze 227 entspricht einer auf den Kopf gestellten Walze 3 der Fig. 1 mit dem Unterschied, daß die Kopplung des Walzenmantels 6 mit dem Träger 11 durch die Wälzlager 9 und 10 entfällt und der Mantel 6 sich also als Ganzes relativ zum Träger 11 radial verschieben kann.

20 Bei allen zuvor beschriebenen Walzenmaschinen ist man bestrebt, im Preßspalt den Istwert des Lastparameters, wie Streckenlast oder Druckspannung, gleich einem gewünschten Sollwertprofil zu halten und ihn zonenweise nachzuführen, wenn Sollwertänderungen aufgrund der Bahnbeobachtung oder -messung erfolgen. Da solche Walzensysteme bei einer Zonenkorrektur nicht nur unmittelbar dort reagieren, wo man eine Verstellung vorgenommen hat, ist eine Ansteuerung notwendig, die die Wirkstellendrücke so verstellt, daß die gewünschten Effekte auch wirklich dort auftreten, wo man sie wünscht. Erfindungsgemäß sind hierfür zwei Maßnahmen vorgesehen, nämlich

- 25 a) Festlegung einer Druckreaktionsmatrix für die betreffende Walzenmaschine und
30 b) Berechnung der erforderlichen Steuersignale unter Verwendung dieser Matrix.

a) Festlegung einer Druckreaktionsmatrix

35 Zur Erstellung einer solchen Druckreaktionsmatrix wird, wie dies im Zusammenhang mit den Fig. 5 und 6 erläutert ist, ein Finite-Element-Modell der Walzenmaschine erstellt. Die Finite-Element-Methode ist ein numerisches Berechnungsverfahren, mit welchem komplexe Probleme in kleine Einzelprobleme (Elemente) zerlegt werden, die einer Lösung zugänglich sind. Je nach der gewünschten Genauigkeit der Berechnung kann eine Zerlegung eines Walzensystems in dreidimensionale Elemente oder in zweidimensionale Elemente erfolgen. Eine dreidimensionale Beschreibung gibt die Struktur genauer wieder, führt aber zu einer aufwendigeren Rechnung. Ein zweidimensionales Berechnungsmodell für den Superkalander der Fig. 4 ist in den Fig. 5 und 6 dargestellt.

40 Die horizontalen Linien entsprechen von oben nach unten der Walzenschale 6 der Oberwalze 227, der bezogenen Walze 229, der Hartwalze 235, der bezogenen Walze 230, der Hartwalze 236, der bezogenen Walze 231, der Hartwalze 237, der bezogenen Walze 232, der bezogenen Walze 233, der Hartwalze 238, der bezogenen Walze 234 und dem Walzenmantel 6 der Unterwalze 203. Letzterer wird durch seine Wälzlager 9 und 10 an den angegebenen Stellen abgestützt. Die horizontalen Linien a entsprechen also den Walzen bzw. Walzenschalen. Die vertikalen Verbindungen b sind Kontaktlemente, die das elastische Verhalten der Walzenbezüge - oder bei Glättwerken des Bahnmaterials - simulieren. Der Einfluß der Lagerelemente 7 und 8 sowie der Hydraulikzylinder 14 und 15 wird durch Kräfte an den entsprechenden Angriffsstellen dargestellt. Die Unterteilung in einzelne Felder ist derart, daß wenigstens für jede der Zonen ein finites Element vorhanden ist, so daß für die Lastaufbringung eine zonenweise Zuordnung exakt möglich ist. Jede Walze wird hinsichtlich ihrer Steifigkeit und ihres Gewichts in die Berechnung einbezogen, wobei Außendurchmesser, Innendurchmesser, Elastizitätsmodul, Querzahl und Dichte eingegeben werden können. Ebenso wird das Kompressionsverhalten der elastischen Bezüge je nach Material und Durchmesserpaa rung für die Kontaktlemente b eingegeben. Die überhängenden Gewichte durch Lager, Leitwalzen, Schutzwinkel usw. werden als Kräfte an den Walzenlagerstellen aufgebracht.

45 Das zweidimensionale Modell der Fig. 5 verändert sich unter Belastung, wie dies in Fig. 6 in stark

vergrößerter Verformung angedeutet ist. Man sieht, daß sich insbesondere die Kompressionselemente stark verkleinert haben. Im Bereich der beiden benachbarten bezogenen Walzen 232 und 233 ist eine erhebliche Kompression festzustellen.

Zunächst werden die Wirkstellendrücke so berechnet, daß sich im unteren Preßspalt eine konstante Grund-Streckenlast ergibt. Dies kann man für verschiedene Belastungsniveaus durchführen. Mit dem so gewonnenen Kennlinienfeld können somit Gleichstreckenlasten im Kalander eingestellt werden.

Um den Kalander zonenweise steuern zu können, benötigt man die Information, wie das Walzensystem bei einer Veränderung in einer Zone reagiert. Hierzu wird ausgehend vom konstanten Sollwert des Lastparameters der Druck jeder einzelnen Wirkstelle um einen bestimmten Betrag verändert. An bestimmten Referenzpunkten, insbesondere in der Mitte der Zonen Z_1 bis Z_6 und am Rand der Zonen Z_L und Z_R , wird die Änderung des Lastparameters festgestellt. Faßt man diese Änderungen in einer Matrix zusammen, so erhält man die sogenannte Druckreaktionsmatrix R_{ij} des Kalanders, wie sie im Formelanhang unter (1) dargestellt ist. Δp bedeutet die Druckänderung, Δq die Änderung des Lastparameters, die Zahlen 1, 2 ... i, j ... n bedeuten die Numerierung der Zonen bzw. Wirkstellen. Die Zeilen entsprechen jeweils einer Zone, die Spalten jeweils einer Wirkstelle.

Bei dem Superkalander der Fig. 4 und bei einem Kompaktkalander gemäß Fig. 3, wo je zwei Biegeausgleichswalzen gegeneinander arbeiten, hat die Druckreaktionsmatrix R_{ij} eine der doppelten Zonenzahl entsprechende Zeilen- und Spaltenzahl, weil jede Änderung des Drucks in einer Wirkstelle der einen Biegeausgleichswalze nicht nur Einfluß auf die anderen Zone dieser Walze hat, sondern auch auf alle Zonen der anderen Biegeausgleichswalze. Ändert man z.B. in der oberen Biegeausgleichswalze den Arbeitsdruck einer Wirkstelle, so verändert sich auch die Streckenlast im Spalt der unteren Biegeausgleichswalze.

Wenn auch Hydraulikzylinder eine Rolle spielen, sind in der Matrize $R_{ij}^{L,R}(T_m)$ zusätzlich Randzonen zu berücksichtigen, wie dies in (2) veranschaulicht ist.

Es wurde schon erwähnt, daß verschiedene Matrizen für verschiedene Belastungszustände aufgestellt werden können. (2) zeigt, daß auch für verschiedene Temperaturmittelwerte T_m unterschiedliche Matrizen ermittelt werden können. Außerdem müssen Änderungen vorgenommen werden, wenn Eingriffe in die Maschine erfolgen, beispielsweise durch Abdrehen von Walzen oder durch Ändern der überhängenden Gewichte.

30

b) Berechnung der Steuersignale

Es sei angenommen, daß der Istwert des Lastparameters in den einzelnen Zonen gleich dem vorgegebenen Sollwert q_{soll} ist, wenn entsprechende Arbeitsdrücke p_{lo} , p_{hi} vorhanden sind. Nunmehr komme der Befehl, den Sollwert in einer Zone i um den Wert Δq_i zu ändern. Dieser Sollwertänderung entspricht eine Druckänderung Δp_i an der zugehörigen Wirkstelle gemäß der Formel (3), wobei hier die Laufzahl $n = 1$ ist. Bei der Verstellung in der Zone i entstehen aber Aweichungen, z.B. in der Zone j, k usw., wie dies die Formeln (4) angeben. Nun kann in jeder Zone ein neuer Istwert des Lastparameters gemäß den Formeln (5) berechnet werden. In der Zone, in der der Istwert die größte Abweichung vom Sollwert hat, wird die Differenz durch eine weitere Druckänderung rechnerisch ausgeglichen. Diese schrittweise Berechnung wird so lange wiederholt, bis der Fehler F^n gemäß der Funktion (6) kleiner als ein bestimmter Toleranzwert ist.

Die Drücke p_i , p_j für die einzelnen Wirkstellen, die als Steuersignal p_{soll} an die Maschine gegeben werden, berechnen sich gemäß den Formeln (7) aus dem ursprünglichen Arbeitsdruck und der Summe aller bei den Iterationsschritten berechneten Druckänderungen. Die Fehlerfunktion F^n entspricht der Quadratwurzel der Summe der Fehlerquadrate der Lastparameter in den einzelnen Zonen.

Die Iterations-Annäherung läßt sich auch anwenden, wenn der Kalander in Betrieb genommen werden soll. Dann wird der Istwert des Lastparameters in den Spalten der Reaktionsmatrix gleich der Grundstreckenlast gesetzt. Die Rechenvorrichtung 16 prüft, in welcher Zone die größte Abweichung zwischen Sollwert und Istwert vorhanden ist. Diese Zone wird in einem Schritt voll ausgeregelt, worauf das Rechenschema wie beschrieben abläuft.

In manchen Fällen ist es zweckmäßig, die Differenz nicht vollständig, sondern beispielsweise nur um 80 % auszuregeln, wenn hierdurch der Toleranzwert rascher unterschritten werden kann.

Wie bereits erwähnt, kann der Sollwert durch Bahndaten w mit Hilfe des Umsetzers 25 vorgegeben werden, so daß der beschriebene Vorgang von der Bahn geführt oder sogar in einen übergeordneten Regelkreis eingebunden ist.

Die für den jeweiligen Berechnungsvorgang richtige Reaktionsmatrix kann die Rechenvorrichtung auch

automatisch auswählen. Denn aus dem Sollwertprofil läßt sich die Mittelbelastung entnehmen, der eine der Matrizen am nächsten kommt. In gleicher Weise kann mit Hilfe des Temperaturfühlers 24 auch die der Temperatur gemäßige Druckreaktionsmatrix ausgewählt werden.

Bei einer Änderung der Walzentemperatur verändert sich deren Durchmesser und, bei kunststoffbezo-

genen Walzen, auch die Härte (Elastizitätsmodul) der Walzenoberfläche. Dies kann zu einer Veränderung der Streckenlastverteilung führen. Ändert sich das gesamte Temperaturniveau, kann man dies durch eine andere Druckreaktionsmatrix berücksichtigen. Ändert sich aber die Temperatur in Längsrichtung der Walze, so ergeben sich unerwünschte Veränderungen des Lastparameters. Ist beispielsweise in einer Zone die Streckenlast gegenüber den anderen Zonen erhöht, so erwärmt sich in dieser Zone der Walzenbezug durch die vergrößerte Walkarbeit, was eine Durchmesservergrößerung nach sich zieht. Hierdurch steigt die Streckenlast weiter an, bis schließlich der gewünschte Sollwert des Lastparameters nicht mehr eingehalten werden kann. Unter Berücksichtigung der Messung der Walzentemperatur T kann durch die Steuerung eine solche Korrektur vorgenommen werden, daß trotz der Erwärmung des Bezuges der gewünschte Sollwert eingestellt bleibt.

Zu diesem Zweck werden Temperatur-Reaktionsmatrizen $D_{ij}(T_m)$ für verschiedene Mitteltemperaturen erstellt, die jeweils die Änderung Δq des Lastparameters in einer Zone für verschiedene Temperaturänderungen $\Delta T_1, \Delta T_2 \dots$ berücksichtigt, wie dies in (8) dargestellt ist. Hierbei entspricht die Numerierung der Parameteränderungen und der Temperaturänderungen der Zonennumerierung.

Diese Regelung arbeitet wie folgt: Aus den Temperaturmessungen wird der Mittelwert berechnet, der für das betreffende Temperaturniveau steht. Mit der mittleren Walzentemperatur wird jetzt die Temperaturabweichung in jeder Zone bestimmt, wie dies in (9) angegeben ist. Mit diesen Temperaturdifferenzen können nun mit Hilfe der Temperatur-Reaktionsmatrix $D_{ij}(T_m)$ die Parameteränderungen im Preßspalt nach Formel (10) berechnet werden. Der Istwert des Lastparameters in jeder Zone ergibt sich daher aus der momentanen Druckeinstellung in den Wirkstellen und aus der Temperaturverteilung, wie dies (11) angibt. Dieser von der Temperatur abhängige Anteil des Lastparameters ist beim Vergleich des Istwerts des Lastparameters mit dem Sollwert zu berücksichtigen, beispielsweise im Rahmen der Formeln (12) oder (13). Mit dem so vorgegebenen Sollwert können dann die internen Iterationsschritte zur Berechnung der Druckeinstellung durchgeführt werden.

Als Rechenvorrichtung 16 kommt beispielsweise ein Gerät IBM 7535 der Firma IBM oder ein Gerät DEC 11/53 der Digital Equipment Corporation in Betracht. Als Speicher 22 reicht ein handelsüblicher Speicher von 500 kB. Als speicherprogrammierbare Steuerung 19 kommen beispielsweise die Geräte S 5-150 U der Firma Siemens oder das Gerät A 500 der Firma AEG in Betracht.

35

40

45

50

55

5

Formelanhang

$$\begin{aligned}
 & 10 \quad R_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta q_1}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_2} & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_3} & \dots & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_n} \\ \frac{\Delta q_2}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_2}{\Delta p_2} & \frac{\Delta q_2}{\Delta p_3} & \dots & \frac{\Delta q_2}{\Delta p_n} \\ \dots & \dots & \dots & \frac{\Delta q_i}{\Delta p_j} & \dots & \frac{\Delta q_i}{\Delta p_n} \\ \frac{\Delta q_n}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_2} & \dots & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_j} & \dots & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_n} \end{bmatrix} \\
 & 15 \\
 & 20 \\
 & 25 \\
 & 30
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & 35 \quad R_{ij}^{LR}(T_m) = \begin{bmatrix} \frac{\Delta q_L}{\Delta p_L} & \frac{\Delta q_L}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_L}{\Delta p_2} & \dots & \frac{\Delta q_L}{\Delta p_n} & \frac{\Delta q_L}{\Delta p_R} \\ \frac{\Delta q_1}{\Delta p_L} & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_2} & \dots & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_n} & \frac{\Delta q_1}{\Delta p_R} \\ \dots & \dots & \dots & \frac{\Delta q_i}{\Delta p_j} & \dots & \dots \\ \frac{\Delta q_n}{\Delta p_L} & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_2} & \dots & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_n} & \frac{\Delta q_n}{\Delta p_R} \\ \frac{\Delta q_R}{\Delta p_L} & \frac{\Delta q_R}{\Delta p_1} & \frac{\Delta q_R}{\Delta p_2} & \dots & \frac{\Delta q_R}{\Delta p_n} & \frac{\Delta q_R}{\Delta p_R} \end{bmatrix} \\
 & 40 \\
 & 45 \\
 & 50 \\
 & 55
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\Delta p_i^n = \frac{1}{\left[\frac{\Delta q_i}{\Delta p_i} \right]} (q_{i,soll} - q_{i,ist}^n) \quad (3)$$

$$\Delta q_j^n = \left[\frac{\Delta q_j}{\Delta p_i} \right] \Delta p_i^n \quad (4)$$

$$\Delta q_k^n = \left[\frac{\Delta q_k}{\Delta p_i} \right] \Delta p_i^n$$

$$q_{i,ist}^n = q_{i,ist}^{n-1} + \Delta q_i^n \quad (5)$$

$$q_{j,ist}^n = q_{j,ist}^{n-1} + \Delta q_j^n$$

$$F^n = \sqrt{(q_{1,ist}^n - q_{1,soll})^2 + (q_{2,ist}^n - q_{2,soll})^2 + \dots + (q_{n,ist}^n - q_{n,soll})^2} \quad (6)$$

$$p_i = p_{io} + \sum_{m=1}^n \Delta p_i^m \quad (7)$$

$$p_j = p_{jo} + \sum_{m=1}^n \Delta p_j^m$$

$$D_{ij}(T_m) = \begin{bmatrix} \frac{\Delta q_1}{\Delta T_1} & \frac{\Delta q_1}{\Delta T_2} & \frac{\Delta q_1}{\Delta T_3} & \dots & \dots & \frac{\Delta q_1}{\Delta T_n} \\ \frac{\Delta q_2}{\Delta T_1} & \frac{\Delta q_2}{\Delta T_2} & \frac{\Delta q_2}{\Delta T_3} & \dots & \dots & \frac{\Delta q_2}{\Delta T_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \frac{\Delta q_i}{\Delta T_j} & \vdots & \vdots \\ \frac{\Delta q_n}{\Delta T_1} & \frac{\Delta q_n}{\Delta T_2} & \frac{\Delta q_n}{\Delta T_3} & \dots & \dots & \frac{\Delta q_n}{\Delta T_n} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\Delta T_i = T_i - T_m \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

$$\Delta q_{i,ist}(\Delta T) = D_{ij}(T_m) \cdot \Delta T_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

$$q_{i,ist} = q_{i,ist}(p) + \Delta q_{i,ist}(\Delta T) \quad (11)$$

$$\Delta q_{i,soll}(p) = q_{i,ist} - q_{i,soll} \quad (12)$$

$$q_{i,soll}(p) = q_{i,soll} - \Delta q_{i,soll}(p) \quad (13)$$

Ansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer mindestens zwei Walzen aufweisenden Walzenmaschine für die Behandlung von Bahnmaterial in einem Preßspalt, insbesondere Kalander oder Glättwerk für Papier-, Kunststoff- oder Textilbahnen, mit einer Anzahl von mit einstellbarem Druck beaufschlagbaren, je einer Zone des Preßspalts zugeordneten Wirkstellen, darunter Lagerelemente oder Lagerelementgruppen, die den Walzenmantel einer Biegeausgleichswalze auf einem den Mantel durchsetzenden, drehfesten Träger abstützen, bei welchem Verfahren für jede Wirkstelle ein Arbeitsdruck festgelegt wird, der von dem Sollwertprofil eines Lastparameters abhängt, und bei einer Sollwertänderung in einer Zone eine Druckänderung auch in anderen Zonen zugeordneten Wirkstellen erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß eine Druckreaktionsmatrix gebildet wird, deren Glieder die Änderung des Lastparameters in allen Zonen bei einer Druckänderung an nur jeweils einer Wirkstelle angeben, daß zur Anpassung des Istwerts des Lastparameters an den Sollwert unter Verwendung der Druckreaktionsmatrix schrittweise nacheinander jeweils für die Wirkstelle einer Zone eine die Differenz zwischen Istwert und Sollwert ganz oder teilweise ausgleichende Druckänderung und für alle anderen Zonen ein durch diese Druckänderung sich ergebender geänderter Istwert berechnet wird, bis eine von den Differenzen abhängige Fehlerfunktion einen Toleranzwert unterschreitet, und daß für jede Zone der Arbeitsdruck um die Summe aller für diese Zone berechneten Druckänderungen geändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor Betriebsaufnahme die folgenden Schritte durchgeführt werden:
 - a) für jede Zone wird ermittelt, um welchen Betrag sich der Lastparameter ändert, wenn der Druck in einer Wirkstelle um einen Betrag geändert wird, in allen anderen Wirkstellen aber gleich bleibt,
 - b) diese Ermittlung wird für eine Druckänderung in allen Wirkstellen wiederholt,
 - c) es wird eine Druckreaktionsmatrix gebildet, deren Glieder Quotienten aus Lastparameteränderung und Druckänderung sind, wobei die Zeilen jeweils einer Zone und die Spalten jeweils einer Wirkstelle zugeordnet sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Glieder der Druckreaktionsmatrix durch Messungen an der Maschine unter Verwendung von in den Preßspalt einzuführenden, druckabhängig reagierendem Material ermittelt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Glieder der Druckreaktionsmatrix durch Berechnungen unter Verwendung eines mathematischen Modells der Maschine ermittelt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung nach der Methode der finiten Elemente erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung der Glieder der Druckreaktionsmatrix von einem über die Preßspaltlänge konstanten Sollwert des Lastparameters ausgegangen wird, der zonenweise verändert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Betrieb zur Anpassung des Istwerts des Lastparameters an den Sollwert die folgenden Schritte durchgeführt werden:
 - d) aus dem der Zone größter Differenz und der zugeordneten Wirkstelle zugehörigen Glied der Reaktionsmatrix wird eine Druckänderung berechnet, die eine der Differenz zwischen Istwert und Sollwert entsprechende Lastparameteränderung bewirkt,
 - e) aus dieser Druckänderung wird mit Hilfe der in der gleichen Spalte der Druckreaktionsmatrix stehenden Glieder eine Lastparameteränderung in den übrigen Zonen berechnet,
 - f) für jede Zone wird aus der Summe des bisherigen Istwerts des Lastparameters und seiner Änderung ein neuer Istwert gebildet,
 - g) für eine zweite Zone wird aus dem dieser Zone und der zugeordneten Wirkstelle zugehörigen Glied der Druckreaktionsmatrix eine Druckänderung berechnet, die eine der Differenz zwischen neuem Istwert und Sollwert entsprechende Lastparameteränderung bewirkt,
 - h) aus der letztgenannten Druckänderung wird mit Hilfe der in der gleichen Spalte der Druckreaktionsmatrix stehenden Glieder eine Lastparameteränderung in den übrigen Zonen berechnet,
 - i) für jede Zone wird aus der Summe des zuletzt gültigen Istwerts des Lastparameters und seiner Änderung ein neuer Istwert gebildet,
 - j) die Schritte g) bis i) werden für weitere Zonen wiederholt, bis eine die Differenz in den einzelnen Zonen berücksichtigende Fehlerfunktion unter einen Toleranzwert sinkt,
 - k) für jede Wirkstelle wird aus der Summe des dort vorherrschenden Arbeitsdrucks und aller zugehörigen Druckänderungen ein neuer Arbeitsdruck gebildet, und es werden entsprechende Steuersignale an die Maschine gegeben.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere zweidimensional Druckreaktionsmatrizen für verschiedene Betriebszustände der Maschine gebildet und wahlweise in Abhängigkeit vom Betriebszustand für die Berechnung benutzt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß Druckreaktionsmatrizen für mindestens 5 zwei unterschiedliche Sollwertbereiche des Lastparameters vorgesehen sind.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß Druckreaktionsmatrizen für mindestens zwei unterschiedliche Durchmesser von mindestens einer Walze vorgesehen sind.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Druckreaktionsmatrizen für mehrere Mitteltemperaturen der Walzenoberflächen vorgesehen sind.
- 10 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch folgende zusätzliche Schritte:
 i) für jede Zone wird ermittelt, um welche Beträge sich der Lastparameter ändert, wenn die Temperatur in dieser Zone sich um mehrere vorbestimmte Werte ändert,
 m) die temperaturabhängige Lastparameteränderung wird jeweils als Korrekturglied in der Differenz zwischen Istwert und Sollwert des Lastparameters berücksichtigt.
- 15 13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur über die Länge der Walze gemessen und in Abhängigkeit hiervon die entsprechende Druckreaktionsmatrix bzw. das temperaturabhängige Korrekturglied automatisch gewählt wird.
14. Verfahren für eine Walzenmaschine mit mindestens zwei Biegeausgleichswalzen nach einem der Ansprüche 1 bis 13, durch gekennzeichnet, daß eine Reaktionsmatrix mit Gliedern für alle Zonen und 20 Wirkstellen aller Biegeausgleichswalzen gebildet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Biegeausgleichswalze äußere Hydraulikzylinder als zusätzliche Wirkstellen aufweist und ihnen jeweils eine Randzone für die Ermittlung der Lastparameteränderung zugeordnet ist.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckänderung 25 jeweils für die Wirkstelle derjenigen Zone durchgeführt wird, in welcher die größte Differenz zwischen Istwert und Sollwert des Lastparameters besteht.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnungsschritte mindestens so oft wiederholt werden als Zonen vorhanden sind.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnungsschritte 30 wenigstens einmal für die Zone wiederholt werden, mit der bei der Berechnung begonnen worden ist.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Fehlerfunktion durch die Quadratwurzel der Summe der Fehlerquadrate für alle Zonen gebildet ist.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Sollwertprofil in 35 Abhängigkeit von einem Bahndaten-Regelkreis änderbar ist.
21. Steueranordnung für eine Walzenmaschine zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 20, mit der Drucksteuerventilen in den Zuleitungen zu den Wirkstellen Steuersignale zuführbar sind, gekennzeichnet durch eine Rechenvorrichtung (16), der Eingabevorrichtungen (17, 23) und Speicher (22) für die den Zonen zugeordneten Sollwerte (q_{soll}) des Lastparameters und für die Glieder 40 mindestens einer Druckreaktionsmatrix sowie Ausgänge (18) für die Steuersignale (p_{soll}) zugeordnet sind, und die auf die Durchführung der Berechnungsschritte zur Anpassung des Istwerts an den Sollwert programmiert ist.
22. Steueranordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Rechenvorrichtung (16) und Drucksteuerventile (V) eine Steuervorrichtung (19) geschaltet ist, die plötzliche Änderungen der 45 von der Rechenvorrichtung abgegebenen Steuersignale (p_{soll}) in eine Rampenfunktion umsetzt.
23. Steueranordnung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß eine Temperaturmeßvorrichtung (24) vorgesehen ist, die die Walzentemperatur in den einzelnen Zonen zu messen vermag, und daß die Rechenvorrichtung (16) einen Eingang für die Temperaturmeßwerte (T) hat.
24. Steueranordnung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, gekennzeichnet durch eine Bahndatenmeßvorrichtung (26), die Istwerte von Bahndaten (w) mindestens an mehreren Stellen quer über die Bahnbreite 50 zu messen vermag und durch einen den Zonensollwert-Eingabevorrichtungen (17) vorgeschalteten Umsetzer (25), der aufgrund der Bahndaten die Zonensollwerte festlegt.

Fig.1

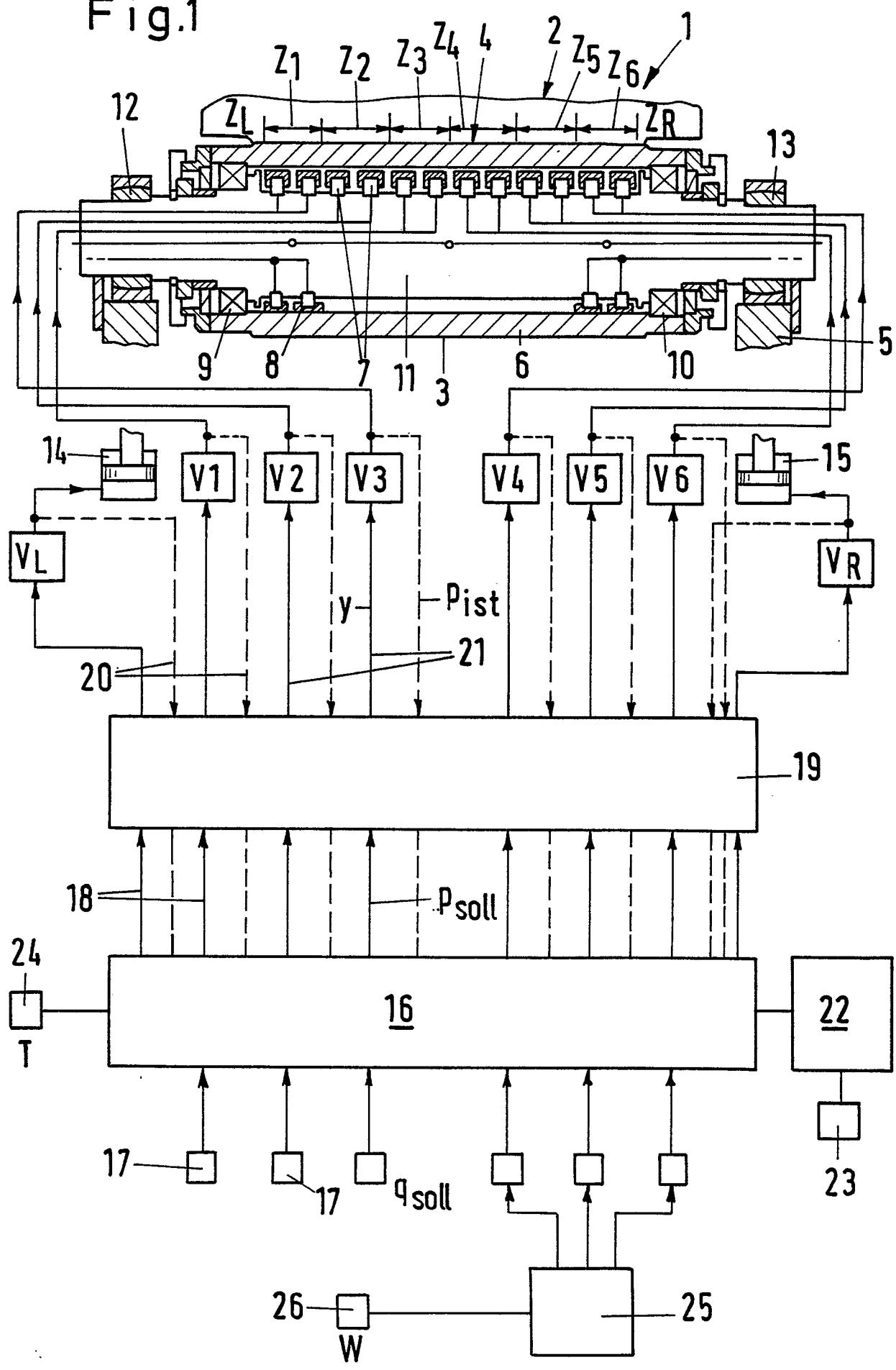


Fig.3

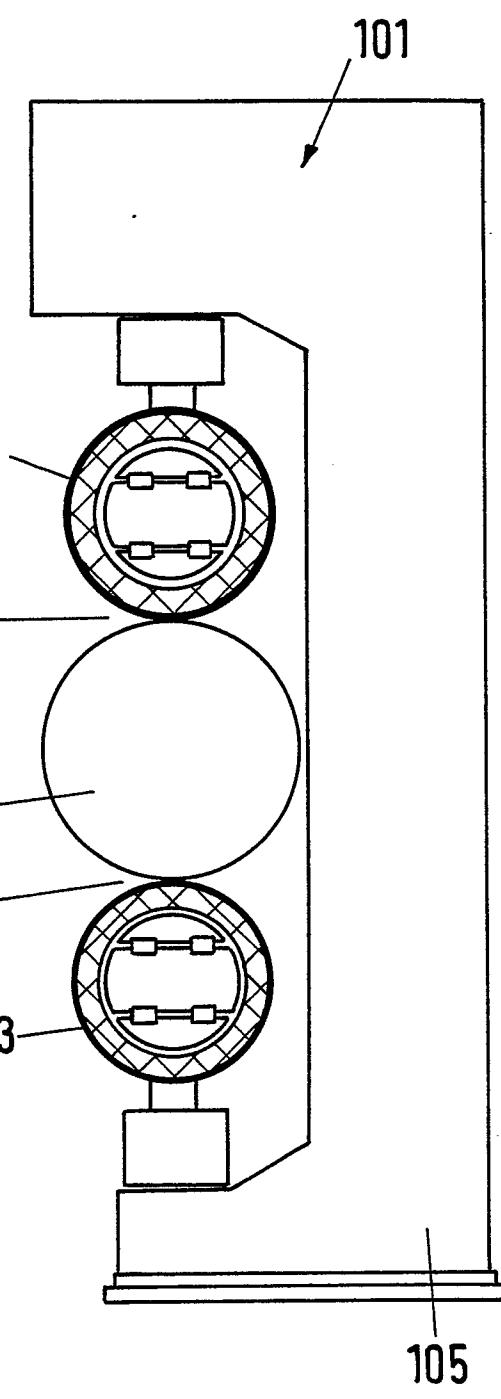


Fig.2

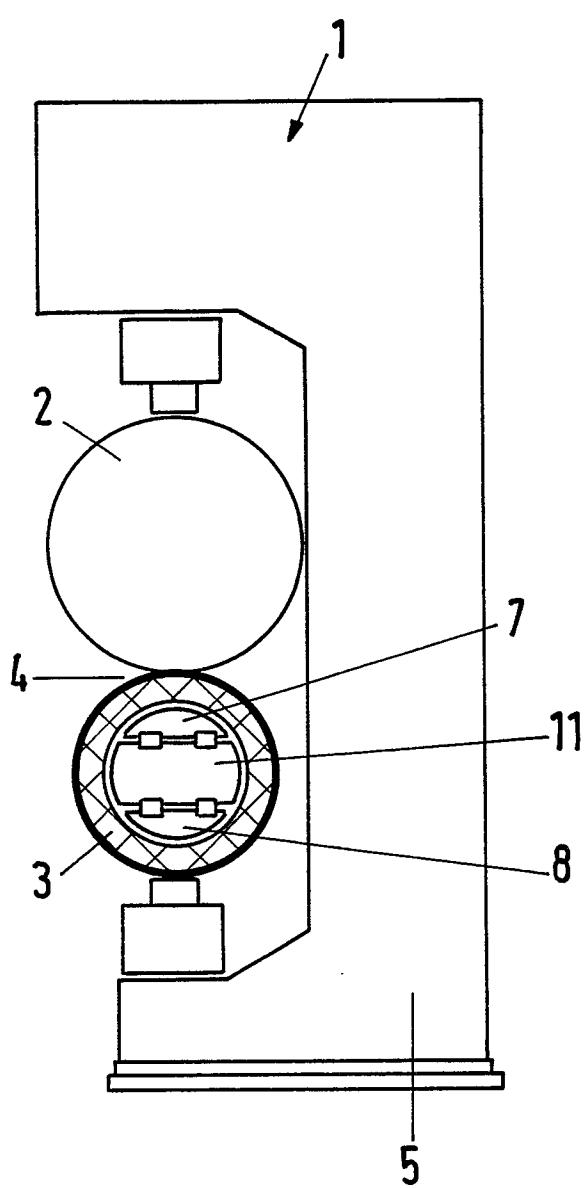
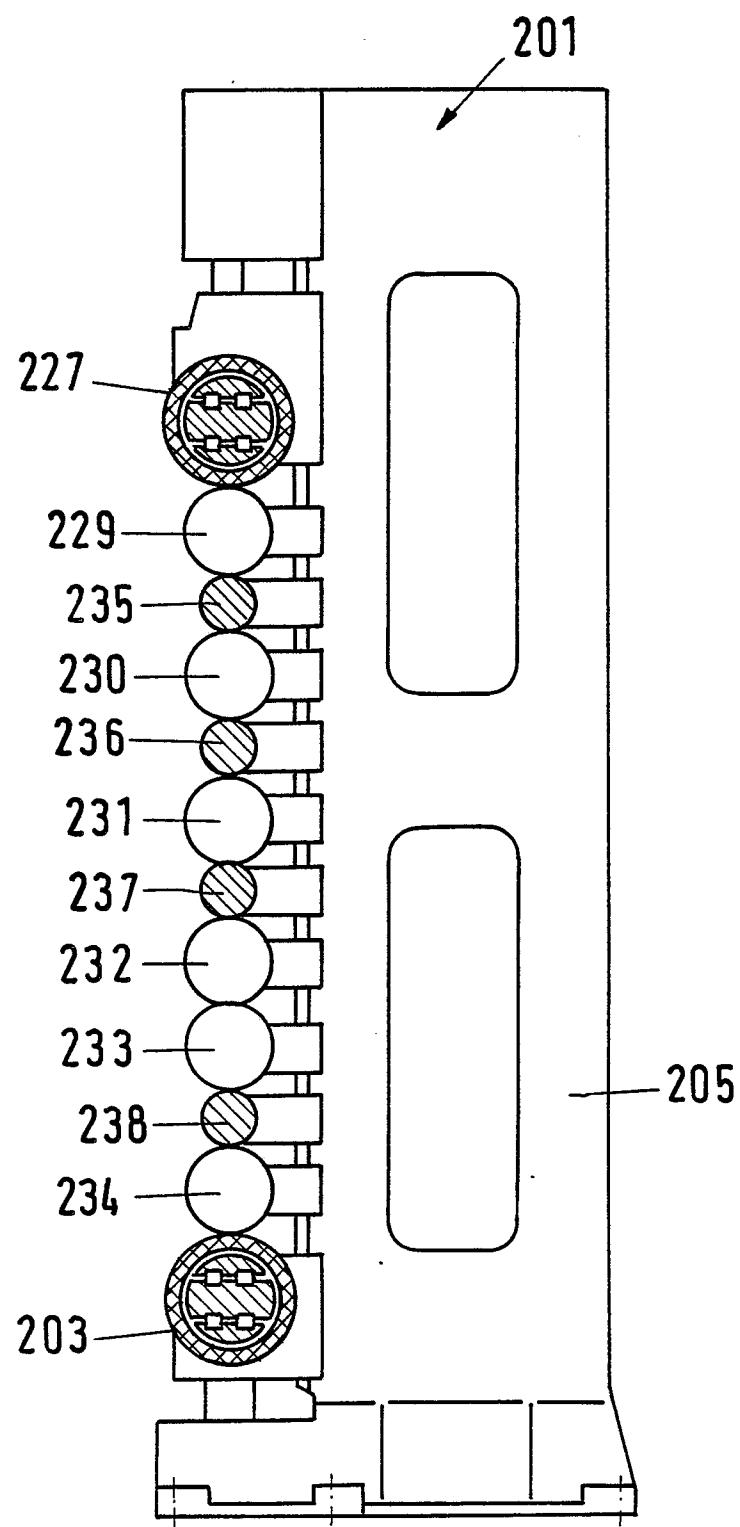


Fig.4



0 290 637

Fig.5

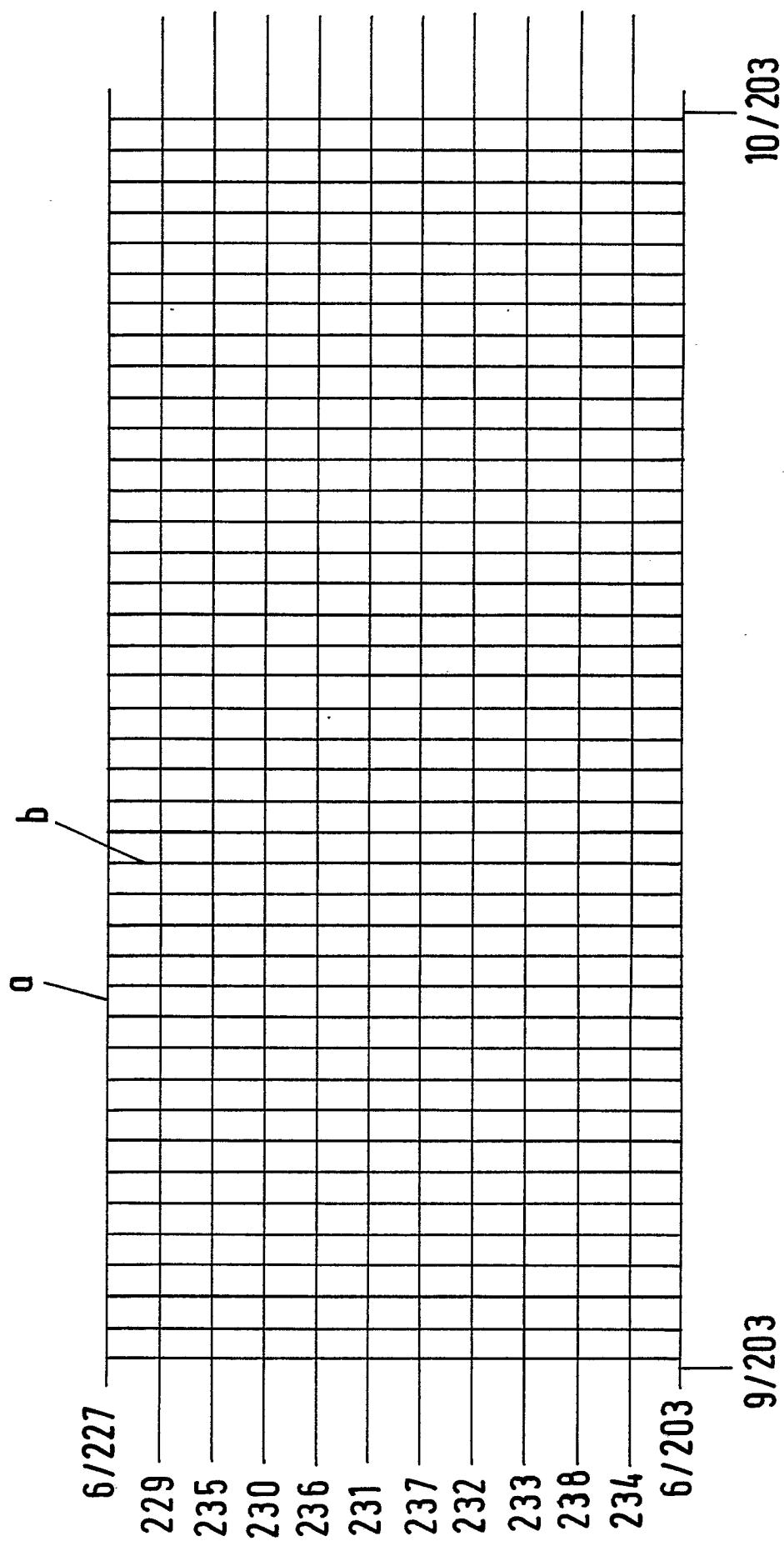
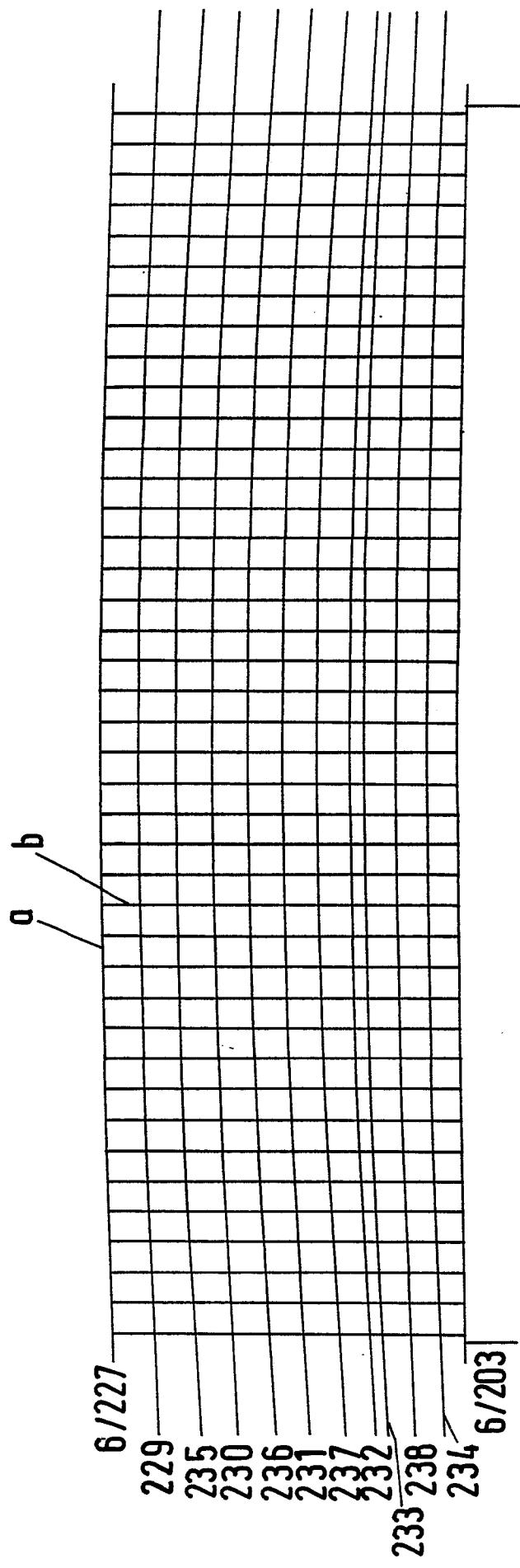


Fig. 6





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 87 10 6762

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
A	GB-A-2 156 101 (KUSTERS) * Insgesamt * ---	1	D 21 G 1/00 B 21 B 37/00
A	DE-A-3 117 516 (ESCHER WYSS) ---		
A	EP-A-0 140 776 (CLECIM) ---		
A	GB-A-2 105 497 (KLEINEWEFERS) -----		
RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)			
D 21 G D 21 F B 31 B			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	12-01-1988	DE RIJCK F.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze		
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		
A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument		
O : nichtschriftliche Offenbarung	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument		
P : Zwischenliteratur		
& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			