(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 188 074 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.11.2012 Patentblatt 2012/47

(21) Anmeldenummer: **08803135.6**

(22) Anmeldetag: **21.08.2008**

(51) Int Cl.:
B21B 37/68 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/060967

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/037064 (26.03.2009 Gazette 2009/13)

(54) **BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINE WALZSTRASSE MIT KRÜMMUNGSERKENNUNG**

METHOD FOR OPERATING A ROLLING MILL TRAIN WITH CURVATURE RECOGNITION

PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT POUR UNE BATTERIE DE LAMINOIRS AVEC DÉTECTION DE COURBURE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **13.09.2007 DE 102007043793**
01.02.2008 DE 102008007247

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.05.2010 Patentblatt 2010/21

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **WEISSHAAR, Bernhard**
91074 Herzogenaurach (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 684 091
DE-A1-102004 043 790
JP-A- 63 123 511
JP-A- 63 171 213

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 188 074 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für eine Walzstraße, die mehrere von einem Band nacheinander durchlaufene Walzgerüste aufweist, wobei das Band - immer relativ zu einer Walzmittellinie gesehen - in jedes der Walzgerüste mit einem bekannten jeweiligen Kopfversatz und einer bekannten jeweiligen einlaufseitigen Kopfsteigung eingefädelt wird, so dass ein Bandkopf des Bandes aus dem jeweiligen Walzgerüst mit dem jeweiligen Kopfversatz, einer jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung und einer jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung ausläuft.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, das Maschinencode aufweist, der von einer Steuereinrichtung einer mehrgerüstigen Walzstraße unmittelbar ausführbar ist und dessen Ausführung durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin einen Datenträger mit einem auf dem Datenträger gespeicherten Computerprogramm der obenstehend beschriebenen Art.

[0004] Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Steuereinrichtung einer mehrgerüstigen Walzstraße, wobei die Steuereinrichtung derart ausgestaltet ist, dass sie die Walzstraße gemäß einem obenstehend beschriebenen Betriebsverfahren betreibt.

[0005] Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung eine Walzstra-βe, wobei die Walzstraße mehrere von einem Band nacheinander durchlaufene Walzgerüste aufweist, wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung der obenstehend beschriebenen Art aufweist, so dass die Walzstraße im Betrieb gemäß einem Betriebsverfahren der obenstehend beschriebenen Art betrieben wird.

[0006] Beim Walzen eines Bandes können zwischen den Bandkanten des Bandes Zugspannungsdifferenzen auftreten. Eine der wesentlichen Ursachen der Zugspannungsdifferenzen ist ein Keil im Bandprofil. Ein Keil im Bandprofil kann verschiedene Ursachen haben. So kann beispielsweise das Band bereits vor dem Walzen ein keiliges Profil aufweisen. Alternativ kann der Keil durch das Walzen im Walzspalt verursacht werden. Für das Einprägen eines keiligen Profils in das Band kommen mehrere Ursachen in Frage. Beispielsweise kann das Band eine keilige Temperaturverteilung aufweisen, das Band außermittig in den Walzspalt eintreten oder der Walzspalt selbst keilig sein. Auch Kombinationen dieser (und anderer) Ursachen sind möglich.

[0007] Im Stand der Technik ist es bekannt, zur Erfassung der im Band auftretenden Spannungsdifferenzen zwischen je zwei Gerüsten einen Schlingenheber anzuordnen, der an beiden seitlichen Armen mit Kraftaufnehmern ausgerüstet ist. Übliche Schlingenheber weisen jedoch nur eine einseitige Kraftmessung auf und liefern daher nur eine Summenkraft, nicht aber eine Differenzkraft zwischen den beiden Bandkanten. Ohne einen Schlingenheber mit beidseitigem Kraftsensor ist die Zugspannungsverteilung im Band daher unbekannt. Es kann daher nicht vorhergesagt werden, in welche Richtung das Band ausschlägt, wenn der Bandfuß des Bandes aus einem der Walzgerüste ausläuft. Insbesondere an den hinteren Gerüsten einer mehrgerüstigen Walzstraße ist jedoch ein Verstellen des Schwenkwerts oder sonstiger Stellglieder des dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordneten Walzgerüsts nicht schnell genug möglich, um ein Anschlagen des Bandfußes an eine Seitenführung der Walzstraße zu verhindern.

[0008] Aus der JP 63 123 511 A ist bekannt, mittels entsprechend ausgestalteter Schlingenheber auch die Zugdifferenz zwischen den beiden Bandkanten zu erfassen und auf diese Weise das Ausschlagen des Bandfußes zu verhindern. Der EP 0 684 091 A1 ist der gleiche Offenbarungsgehalt zu entnehmen.

[0009] Aus der JP 63 171 213 A ist bekannt, mittels einer Kamera die vertikale Höhenlage eines Bandes zwischen zwei Walzgerüsten zu erfassen und zur Meanderregelung zu verwenden.

[0010] Aus der DE 10 2004 043 790 A1 ist bekannt, vor und/oder hinter einem Walzgerüst eine laterale Position und/oder eine laterale Druckkraft zu messen, daraus einen erwarteten Bandsäbel zu ermitteln und das Walzgerüst zur Verringerung des Bandsäbels entsprechend anzusteuern.

[0011] Im Stand der Technik ist weiterhin bekannt, dass ein Steuermann der Walzstraße beim Einfädeln des Bandes den Bandkopf visuell verfolgt und - nach seinem persönlichen Eindruck von Bandlage und Bandwelligkeit - die Anstellung des vom Bandkopf gerade durchlaufenen Walzgerüsts (insbesondere eine Schwenkstellung der Walzen) einstellt.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer ein Keil im Band erkennbar und/oder vermeidbar ist und/oder Zugspannungsdifferenzen zwischen den Bandkanten erkennbar und/oder vermeidbar sind, ohne hierfür einen Schlingenheber mit beidseitiger Krafterfassung zu benötigen.

[0013] Die Aufgabe wird verfahrenstechnisch durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen der Ansprüche 16zw. 7 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind den abhängigen Ansprüchen 2-6,8 - 13 zu entnehmen.

[0014] Erfindungsgemäß ist bei einem Betriebsverfahren der eingangs beschriebenen Art vorgesehen,

- dass die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung anhand der jeweiligen einlaufseitigen Kopfsteigung und einer im jeweiligen Walzgerüst erfolgenden jeweiligen Stichabnahme ermittelt wird,
- dass mittels einer zwischen dem jeweiligen Walzgerüst und dem dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachge-

ordneten Walzgerüst angeordneten jeweiligen Lageerfassungseinrichtung ein jeweiliger Zwischengerüstkopfversatz des Bandkopfes erfasst wird,

- dass anhand des jeweiligen erfassten Zwischengerüstkopfversatzes, des jeweiligen Kopfversatzes und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung des Bandes ermittelt wird,
- dass unter Verwendung der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung ein jeweiliger Steuereingriff für das jeweilige Walzgerüst und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst ermittelt wird und
- dass das jeweilige Walzgerüst und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff angesteuert werden.

[0015] Durch diese Vorgehensweise ist eine Ermittlung der Kopfkrümmung auf besonders einfache und zuverlässige Weise kostengünstig zu realisieren.

[0016] Die Lageerfassungseinrichtung kann hierbei nach Belieben ausgebildet sein, sofern sie die gewünschte Funktionalität aufweist. Beispielsweise kann die jeweilige Lageerfassungseinrichtung als Linienscanner (Infrarotscanner, Diodenzeilenscanner usw.) oder als bildgebende Kamera ausgebildet sein. Auch andere Ausgestaltungen sind möglich. In der Regel sind die Lageerfassungseinrichtungen untereinander gleich ausgebildet. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Es kann auch die Lageerfassungseinrichtung von Zwischengerüstbereich zu Zwischengerüstbereich jeweils individuell ausgebildet sein.

[0017] Im Rahmen der letztgenannten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, also im Falle des Vorhandenseins von Lageerfassungseinrichtungen zwischen je zwei Walzgerüsten, ist es beispielsweise möglich, unmittelbar nach dem Erfassen des Zwischengerüstkopfversatzes des jeweiligen Walzgerüsts den Kopfversatz und die einlaufseitige Kopfsteigung für das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst zu ermitteln, den Steuerbefehl für das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst zu ermitteln und den Steuerbefehl spätestens beim Einlaufen des Bandkopfes in das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst an das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst auszugeben. Der Steuerbefehl wird in diesem Fall derart ermittelt, dass der Kopfversatz, die auslaufseitige Kopfsteigung und/oder die auslaufseitige Kopfkrümmung reduziert werden, so dass das Band - bezogen auf die Walzmittellinie - zentriert wird.

[0018] In einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist jedoch vorgesehen,

- dass der jeweilige Kopfversatz, die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung und die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung gespeichert werden,
- dass nach dem Einfädeln des Bandes in das letzte Walzgerüst der Walzstraße das zwischen den Walzgerüsten befindliche Band zugbeaufschlagt wird,
- dass das Band - immer relativ zur Walzmittellinie gesehen - in jedes der Walzgerüste mit einem bekannten jeweiligen Bandversatz und einer bekannten jeweiligen einlaufseitigen Bandsteigung einläuft und aus dem jeweiligen Walzgerüst mit dem jeweiligen Bandversatz, einer jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung und einer jeweiligen auslaufseitigen Bandkrümmung ausläuft,
- dass die jeweilige auslaufseitige Bandsteigung anhand der jeweiligen einlaufseitigen Bandsteigung und der im jeweiligen Walzgerüst erfolgenden jeweiligen Stichabnahme ermittelt wird,
- dass mittels der dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordneten Lageerfassungseinrichtung ein jeweiliger Zwischengerüstbandversatz des Bandes erfasst wird,
- dass anhand des jeweiligen Bandversatzes, der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes die jeweilige auslaufseitige Bandkrümmung ermittelt wird und
- dass der jeweilige Steuereingriff unter Verwendung auch des jeweiligen Bandversatzes, der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes ermittelt wird.

[0019] Der jeweilige Steuerbefehl kann im Rahmen der letztgenannten Ausgestaltung insbesondere derart ermittelt werden, dass der jeweilige Steuereingriff einem Ausschlagen eines Bandfußes des Bandes beim Auslaufen des Bandfußes aus dem jeweiligen Walzgerüst entgegen wirkt.

[0020] Es ist möglich, dass das jeweilige Walzgerüst und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst zu einem Zeitpunkt entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff angesteuert werden, zu dem das in das jeweilige Walzgerüst einlaufende Band zugbeaufschlagt ist. In diesem Fall ist es prinzipiell gleichwertig, ob das jeweilige Walzgerüst oder das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff angesteuert wird.

[0021] Alternativ ist es möglich, dass das jeweilige Walzgerüst und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst zu einem Zeitpunkt entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff angesteuert werden, zu dem das in das jeweilige Walzgerüst einlaufende Band zugfrei ist. Auch in diesem Fall ist es prinzipiell möglich, das jeweilige Walzgerüst entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff anzusteuern. Vorzugsweise jedoch wird in diesem Fall das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst angesteuert.

[0022] Der Kopfversatz und die einlaufseitige Kopfsteigung des in das erste Walzgerüst einlaufenden Bandes müssen bekannt sein. Beispielsweise ist es möglich, den Kopfversatz und/oder die einlaufseitige Kopfsteigung mittels geeigneter Führungseinrichtungen auf definierte Werte einzustellen, beispielsweise auf Kopfversatz und einlaufseitige Kopfsteigung = 0. Alternativ ist es möglich, dem ersten Walzgerüst eine Lageerfassungseinrichtung vorzuordnen, mittels derer die entsprechenden Werte erfasst werden. Auch eine Kombination der beiden Maßnahmen ist prinzipiell möglich. Beispielsweise kann eine der beiden Größen Kopfversatz und einlaufseitige Kopfsteigung durch eine entsprechende Führungseinrichtung auf einen definierten Wert eingestellt sein, der andere Wert durch eine Lageerfassung des Bandes ermittelt werden.

[0023] Die Krümmung des Bandes zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Walzgerüsten ist durch die erfindungsgemäße Vorgehensweise bekannt. Es ist daher möglich, anhand des Kopfversatzes und der auslaufseitigen Kopfsteigung des Bandkopfes eines bestimmten Walzgerüsts sowie der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung in Verbindung mit dem vorbekannten Abstand zum unmittelbar nachgeordneten Walzgerüst zu ermitteln, mit welchem Kopfversatz und mit welcher einlaufseitigen Kopfsteigung das Band in das unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst einläuft.

[0024] Es ist also möglich, unter Verwendung des jeweiligen Kopfversatzes, der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung des jeweiligen Walzgerüsts den jeweiligen Kopfversatz und die jeweilige einlaufseitige Kopfsteigung für das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst zu ermitteln.

[0025] Alternativ zur Erfassung eines Zwischengerüstkopfversatzes und der Ermittlung der auslaufseitigen Kopfkrümmung anhand (unter anderem) des erfassten Zwischengerüstkopfversatzes ist es möglich, dass einem mathematisch-physikalischen Modell der jeweilige Kopfversatz und die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung, Istgrößen des in das jeweilige Walzgerüst einlaufenden Bandes und des aus dem jeweiligen Walzgerüst auslaufenden Bandes sowie Variable und Parameter des jeweiligen Walzgerüsts zugeführt werden und die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung mittels des mathematisch-physikalischen Modells ermittelt wird.

[0026] Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass sie sehr schnell ausführbar ist. Insbesondere ist die auslaufseitige Kopfkrümmung nahezu gleichzeitig mit dem Einlaufen des Bandkopfes in das jeweilige Walzgerüst ermittelbar. Durch diese Vorgehensweise ist es daher insbesondere möglich, dass der jeweilige Steuereingriff unmittelbar nach dem Ermitteln der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung ermittelt wird und das jeweilige Walzgerüst unmittelbar nach dem Ermitteln des jeweiligen Steuereingriffs entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff angesteuert wird.

[0027] Noch besser ist es, die beiden grundsätzlichen erfindungsgemäßen Ausgestaltungen (also Verwenden von Lageerfassungseinrichtungen einerseits und Verwenden eines Modells andererseits) miteinander zu kombinieren. In diesem Fall ist vorgesehen,

[0028] - dass nach dem Ermitteln der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung mittels des mathematisch-physikalischen Modells zusätzlich mittels einer zwischen dem jeweiligen Walzgerüst und dem dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordneten Walzgerüst angeordneten jeweiligen Lageerfasungseinrichtung ein jeweiliger Zwischengerüstkopfversatz des Bandes erfasst wird und

- dass die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung anhand des jeweiligen erfassten Zwischengerüstkopfversatzes, des jeweiligen Kopfversatzes und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung korrigiert wird.

[0029] In einer bevorzugten Ausgestaltung der letztgenannten Vorgehensweise ist vorgesehen, dass das mathematisch-physikalische Modell anhand einer Abweichung der mittels des mathematisch-physikalischen Modells ermittelten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung von der korrigierten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung adaptiert wird. Das mathematisch-physikalische Modell wird also trainiert, so dass die anhand des mathematisch-physikalischen Modells ermittelte auslaufseitige Kopfkrümmung zukünftig gewalzter Bänder immer weniger korrigiert werden muss, das Modell also immer besser an die Realität angepasst wird.

[0030] Wie bereits erwähnt, ist das Ausgeben des ermittelten jeweiligen Steuereingriffs an ein Walzgerüst der Walzstraße zu verschiedenen Zeitpunkten möglich. Insbesondere ist es möglich, dass das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst spätestens beim Einfädeln des Bandes in das dem jeweiligen Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff angesteuert wird.

[0031] Die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung kann konstant sein. Alternativ kann die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung mit dem Abstand vom jeweiligen Walzgerüst variieren, beispielsweise eine lineare Funktion des Abstands sein oder abschnittweise konstant sein.

[0032] Die Aufgabe wird weiterhin programmtechnisch durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 15 und einen Datenträger mit den Merkmalen des Anspruchs 16 gelöst.

[0033] Erfindungsgemäß weist das Computerprogramm Maschinencode auf, der von einer Steuereinrichtung einer mehrgerüstigen Walzstraße unmittelbar ausführbar ist und dessen Ausführung durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren der erfindungsgemä-βen Art betreibt. Der

Datenträger ist dadurch erfindungsgemäß ausgestaltet, dass auf ihm ein derartiges Computerprogramm gespeichert ist.

[0034] Die Aufgabe wird weiterhin einrichtungstechnisch durch eine Steuereinrichtung einer mehrgerüstigen Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 17 und eine Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst.

[0035] Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung derart ausgestaltet, dass sie die Walzstraße gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt. Die Walzstraße weist mehrere von einem Band nacheinander durchlaufene Walzgerüste und eine Steuereinrichtung der zuletzt beschriebenen Art auf, so dass die Walzstraße im Betrieb gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betrieben wird.

[0036] Die Steuereinrichtung ist vorzugsweise als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet, die im Betrieb ein Computerprogramm der obenstehend beschriebenen Art ausführt.

[0037] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

FIG 1 schematisch eine mehrgerüstige Walzstraße,

FIG 2 die Walzstraße von FIG 1 von oben,

FIG 3 ein Ablaufdiagramm,

FIG 4 schematisch ein Walzgerüst sowie das in das Walzgerüst einlaufende und das dem Walzgerüst auslaufende Band,

FIG 5 schematisch einen von zwei Walzgerüsten begrenzten Abschnitt der Walzstraße,

FIG 6 ein Ablaufdiagramm,

FIG 7 und 8 jeweils schematisch einen Teil der Walzstraße von FIG 1,

FIG 9 schematisch eine mögliche Ausgestaltung der Walzstraße von FIG 1,

FIG 10 ein Ablaufdiagramm,

FIG 11 eine Modifikation von FIG 9 und

FIG 12 ein Ablaufdiagramm.

[0038] Gemäß den FIG 1 und 2 weist eine Walzstraße mehrere Walzgerüste 1 auf. Die Walzstraße ist somit als mehrgerüstige Walzstraße ausgebildet. Die Walzgerüste 1 werden im Betrieb der Walzstraße von einem Band 2 nacheinander durchlaufen. Die Walzstraße weist weiterhin eine Steuereinrichtung 3 auf, die im Betrieb der Walzstraße die Walzgerüste 1 und andere Komponenten der Walzstraße steuert. Die Steuereinrichtung 3 ist derart ausgestaltet, dass sie im Betrieb die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird.

[0039] Die Steuereinrichtung 3 kann als festverdrahtete Steuereinrichtung, als programmierbar verdrahtete Steuereinrichtung oder als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet sein. In der Regel ist die Steuereinrichtung 3 als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet, die im Betrieb ein Computerprogramm 4 ausführt. Das Computerprogramm 4 weist in diesem Fall Maschinencode 5 auf, der von der Steuereinrichtung 3 unmittelbar ausführbar ist. Die Ausführung des Maschinencodes 5 durch die Steuereinrichtung 3 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 3 die Walzstraße gemäß dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0040] Die Programmierung der Steuereinrichtung 3 mit dem Computerprogramm 4 kann auf beliebige Weise erfolgen. Beispielsweise kann das Computerprogramm 4 bereits im Rahmen der Herstellung der Steuereinrichtung 3 in der Steuereinrichtung 3 hinterlegt werden. Alternativ ist es beispielsweise möglich, das Computerprogramm 4 der Steuereinrichtung 3 über eine Rechner-Rechner-Verbindung zuzuführen. Bei der Rechner-Rechner-Verbindung kann es sich beispielsweise um eine Anbindung an ein LAN oder an das Internet handeln. Die Rechner-Rechner-Verbindung ist in den FIG 1 und 2 nicht mit dargestellt. Wiederum alternativ ist es möglich, das Computerprogramm 4 auf einem Datenträger 6 zu speichern und das Computerprogramm 4 der Steuereinrichtung 3 über den Datenträger 6 zuzuführen. Rein beispielhaft ist in FIG 1 der Datenträger 6 als CD-ROM dargestellt. Er könnte jedoch alternativ auf andere Art ausgebildet sein, beispielsweise als USB-Memorystick oder als Speicherkarte.

[0041] Das Grundprinzip des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens wird nachfolgend in Verbindung mit FIG 3 näher erläutert.

[0042] Gemäß FIG 3 selektiert die Steuereinrichtung 3 zunächst in einem Schritt S1 das Walzgerüst 1, in welches

das Band 2 als erstes eingefädelt wird. Sodann steuert die Steuereinrichtung 3 in einem Schritt S2 die Walzstraße derart, dass das Band 2 - relativ zu einer Walzmittellinie 7 (vergleiche FIG 2 und 4) gesehen - in das selektierte Walzgerüst 1 mit einem bekannten Kopfversatz V und einer bekannten einlaufseitigen Kopfsteigung SE eingefädelt wird. Auf Grund des Einfädelns in das selektierte Walzgerüst 1 läuft (rein faktisch) ein Bandkopf 8 des Bandes 2 aus dem selektierten Walzgerüst 1 mit dem Kopfversatz V, einer auslaufseitigen Kopfsteigung SA und einer auslaufseitigen Kopfkrümmung K aus.

[0043] Die Umstände, auf Grund derer der Kopfversatz V und die einlaufseitige Kopfsteigung SE für das als erstes durchlaufene Walzgerüst 1 bekannt sind, können verschiedener Natur sein. So ist es beispielsweise möglich, dass entsprechende, in den FIG 1 und 2 nicht dargestellte Führungseinrichtungen vorhanden sind, auf Grund derer der Kopfversatz V und die einlaufseitige Kopfsteigung SE vorbestimmte Werte aufweisen müssen, beispielsweise Kopfversatz V = 0 und einlaufseitige Kopfsteigung SE = 0. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, Erfassungseinrichtungen vorzusehen, mittels derer der Kopfversatz V und/oder die einlaufseitige Kopfsteigung SE vor dem ersten Walzgerüst 1 erfasst und an die Steuereinrichtung 3 übermittelt werden.

[0044] In einem Schritt S3 ermittelt die Steuereinrichtung 3 anhand der einlaufseitigen Kopfsteigung SE und einer im selektierten Walzgerüst 1 erfolgenden Stichabnahme die auslaufseitige Kopfsteigung SA. Insbesondere kann die auslaufseitige Stichabnahme SA gemäß der Beziehung

$$SA = \frac{vE}{vA} \cdot SE \qquad (1)$$

ermittelt werden. vE und vA sind hierbei, bezogen auf das selektierte Walzgerüst 1, die ein- und die auslaufseitige Geschwindigkeit des Bandes 2. Die Geschwindigkeiten vE und vA sind mit der Stichabnahme über die Kontinuitätsgleichung verknüpft.

[0045] Weiterhin ermittelt die Steuereinrichtung 3 in einem Schritt S4 die auslaufseitige Kopfkrümmung K des Bandes 2. Die Ermittlung erfolgt hierbei anhand von Messdaten und weiteren Daten. Sowohl die Messdaten als auch die weiteren Daten sind hierbei auf das momentan selektierte Walzgerüst 1 bezogen. Mögliche Arten der Ermittlung werden später in Verbindung mit möglichen Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung näher erläutert werden.

[0046] In einem Schritt S5 werden der Kopfversatz V, die auslaufseitige Kopfsteigung SA und die auslaufseitige Kopfkrümmung K des Bandkopfes 8 bei dem selektierten Walzgerüst 1 - unter Zuordnung zu diesem Walzgerüst 1 - gespeichert. Der Schritt S5 ist im Rahmen einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung von Bedeutung.

[0047] Es ist möglich, unmittelbar nach dem Ermitteln der auslaufseitigen Kopfkrümmung K einen Steuereingriff S zu ermitteln. Dies ist in einem Schritt S6 dargestellt. Ebenfalls im Schritt S6 ist dargestellt, dass es alternativ möglich ist, den Steuereingriff S zwar nicht unmittelbar, aber vor dem Einfädeln des Bandes 2 in das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 zu ermitteln. In beiden Fällen ist der Schritt S6 jedoch nur optional und daher in FIG 3 nur gestrichelt dargestellt. Wenn er vorhanden ist, wird der Steuereingriff S unter Verwendung der auslaufseitigen Kopfkrümmung K, gegebenenfalls unter zusätzlicher Verwendung der auslaufseitigen Kopfsteigung SA und/oder des Kopfversatzes V, ermittelt. Der Steuereingriff S ist hierbei für das selektierte Walzgerüst 1 und/oder für das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 bestimmt. Gegebenenfalls können auch zwei voneinander verschiedene Steuereingriffe S ermittelt werden, wobei je einer der beiden Steuereingriffe S für das selektierte Walzgerüst 1 und für das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 bestimmt ist.

[0048] Wenn der Schritt S6 vorhanden ist, wird das Walzgerüst 1, für das der im Schritt S6 ermittelte Steuereingriff S bestimmt ist, in einem Schritt S7 entsprechend dem ermittelten Steuereingriff S angesteuert. Der Schritt S7 ist jedoch, da er eine Folge des Schrittes S6 ist, ebenfalls nur optional und daher in FIG 3 nur gestrichelt dargestellt.

[0049] Wenn der ermittelte Steuereingriff S für das selektierte Walzgerüst 1 bestimmt ist, ist bevorzugt, dass der Steuereingriff S unmittelbar nach dem Ermitteln der auslaufseitigen Kopfkrümmung K ermittelt wird und das selektierte Walzgerüst 1 unmittelbar nach dem Ermitteln des Steuereingriffs S entsprechend dem ermittelten Steuereingriff S angesteuert wird. Wenn der Steuereingriff S im Schritt S7 an das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 ausgegeben wird, ist es ausreichend, dass der Steuereingriff S zu irgendeinem Zeitpunkt ermittelt wird, zu dem das Band 2 noch nicht in das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 eingefädelt ist. Denn in diesem Fall ist es ausreichend, dass das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 spätestens beim Einfädeln des Bandes 2 in das dem selektierten Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 entsprechend dem ermittelten Steuerbefehl S angesteuert wird.

[0050] In einem Schritt S8 prüft die Steuereinrichtung 3, ob das momentan selektierte Walzgerüst 1 das letzte Walzgerüst 1 der Walzstraße 1 ist. Wenn dies nicht der Fall ist, selektiert die Steuereinrichtung 3 in einem Schritt S9 das nächste Walzgerüst 1 und ermittelt für dieses Walzgerüst 1 den Kopfversatz V und die einlaufseitige Kopfsteigung SE. Denn es gilt (für kleine auslaufseitige Kopfkrümmungen K, was in der Praxis der Fall ist) die Beziehung

$$V''(x) = \frac{K}{2} \cdot x^2 + SA \cdot x + V \qquad (2)$$

für den Versatz V" des Bandkopfes 8 von der Walzmittellinie 7 als Funktion des Abstands x vom jeweiligen Walzgerüst 1. Mit den Werten KA, SA und V des vorhergehenden Walzgerüsts 1 und dem bekannten Gerüstabstand G kann daher ohne weiteres der Kopfversatz V für das neu selektierte Walzgerüst 1 ermittelt werden. Die korrespondierende einlaufseitige Kopfsteigung SE für das neu selektierte Walzgerüst 1 ergibt sich auf analoge Weise anhand der Beziehung

$$SE = K \cdot x + SA \qquad (3)$$

wobei das Bezugszeichen "SE" in Gleichung 3 auf das neu selektierte Walzgerüst 1 bezogen ist und die Bezugzeichen "K" und "SA" auf das unmittelbar vorgeordnete Walzgerüst 1 bezogen sind. Für x muss wie zuvor der Gerüstabstand G eingesetzt werden.

[0051] Nach dem Abarbeiten des Schrittes S9 geht die Steuereinrichtung 3 zum Schritt S2 zurück.

[0052] Wenn im Schritt S8 entschieden wurde, dass bereits das letzte Walzgerüst 1 selektiert ist, geht die Steuereinrichtung zu einem Schritt S10 über. Im Schritt S10 wird das Band 2, zumindest soweit es sich zwischen den Walzgerüsten 1 befindet, zugbeaufschlagt. Sodann wird in einem Schritt S11 das Walzen fortgesetzt.

[0053] Während des Walzens läuft das Band 2 - immer relativ zur Walzmittellinie 7 gesehen - in jedes der Walzgerüste 1 mit einem jeweiligen Bandversatz V' und einer jeweiligen einlaufseitigen Bandsteigung SE' ein. Weiterhin läuft das Band 2 aus jedem der Walzgerüste 1 mit dem jeweiligen Bandversatz V', einer jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung SA' und einer jeweiligen auslaufseitigen Bandkrümmung K' aus. Die Bandversätze V', die Bandsteigungen SE', SA' und die auslaufseitigen Bandkrümmungen K' müssen hierbei nicht dieselben Werte sein wie die Werte, die zuvor für den Bandkopf 8 ermittelt wurden. Dennoch ist es so, dass die Werte bekannt sind. Auch können sie sich zeitlich ändern. Dennoch sind die Werte ermittelbar.

[0054] Denn die einlaufseitigen Werte V', SE' für das erste Walzgerüst 1 sind bekannt. In Verbindung mit der Stichabnahme können daher die auslaufseitigen Werte SA', K' für das erste Walzgerüst 1 ermittelt werden. Mit Bekanntsein der auslaufseitigen Werte SA', K' eines jeweiligen Walzgerüsts 1 können jedoch - analog zu den obigen Gleichungen 2 und 3 - die einlaufseitigen Werte V', SE' für das jeweils unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 ermittelt werden. Insbesondere ist es daher möglich, in einem Schritt S12 für jedes der Walzgerüste 1 zunächst die einlaufseitigen Werte (Bandversatz V' und einlaufseitige Bandsteigung SE') zu erfassen bzw. zu ermitteln, sodann anhand der jeweiligen einlaufseitigen Bandsteigung SE' und der im jeweiligen Walzgerüst 1 erfolgenden jeweiligen Stichabnahme die jeweilige auslaufseitige Bandsteigung SA' zu ermitteln. Weiterhin ist es möglich, analog zur jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung K die jeweilige auslaufseitige Bandkrümmung K' zu ermitteln.

[0055] Zur zuverlässigen Durchführung des Schrittes S12 ist es sinnvoll, die jeweiligen auslaufseitigen Krümmungen K, K' auf möglichst zuverlässige Art und Weise zu ermitteln. Vorzugsweise ist daher entsprechend FIG 5 vorgesehen, dass zwischen je zwei Walzgerüsten 1 - vorzugsweise im Bereich eines Schlingenhebers 9 - jeweils eine Lageerfassungseinrichtung 10 angeordnet ist. Mittels der Lageerfassungseinrichtungen 10 kann - jeweils bezogen auf das unmittelbar vorgeordnete Walzgerüst 1 - ein jeweiliger Zwischengerüstkopfversatz VZ des Bandkopfes 8 erfasst werden. Anhand des jeweiligen Zwischengerüstkopfversatzes VZ, des jeweiligen Kopfversatzes V und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung SA des Bandkopfes 8 bei dem der jeweiligen Lagererfassungseinrichtung 10 unmittelbar vorgeordneten Walzgerüst 1 kann in diesem Fall die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung K anhand der Beziehung

$$VZ = \frac{K}{2} L^2 + SA \cdot L + V \qquad (4)$$

ermittelt werden. L ist hierbei der Abstand der jeweiligen Lageerfassungseinrichtung 10 zum unmittelbar vorgeordneten Walzgerüst 1. In analoger Weise kann auch während des Walzens des Bandes 2, also während das Band 2 zugbeaufschlagt ist, ein Zwischengerüstbandversatz VZ' und anhand des Zwischengerüstbandversatzes VZ' in Verbindung mit

der auslaufseitigen Bandsteigung SA' und dem Bandversatz V' des Bandes 2 beim unmittelbar vorgeordneten Walzgerüst 1 die korrespondierende auslaufseitige Bandkrümmung K' ermittelt werden. Schematisch ist diese Vorgehensweise in FIG 6 dargestellt, in denen die Schritte S4 und S12 von FIG 3 entsprechend dargestellt sind.

[0056] In einem Schritt S13 erfolgt - alternativ oder zusätzlich zur Ermittlung gemäß dem Schritt S6 - bezüglich jedes der Walzgerüste 1 die Ermittlung eines jeweiligen Steuereingriffs S. In einem Schritt S14 erfolgt sodann die hiermit korrespondierende Ansteuerung des jeweiligen Walzgerüsts 1 und/oder des dem jeweiligen Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordneten Walzgerüsts 1.

[0057] Die Ermittlung des jeweiligen Steuereingriffs S erfolgt im Rahmen des Schrittes S13 unter Verwendung auch des jeweiligen Bandversatzes V', der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung SA' und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes VZ'. Der jeweilige Steuereingriff S wird im Rahmen des Schrittes S13 also sowohl unter Verwendung der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung K, der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung SA und des jeweiligen Kopfversatzes V als auch unter Verwendung des jeweiligen Bandversatzes V', der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung SA' und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes VZ' ermittelt. Gleichwertig zur Verwendung des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes VZ' ist hierbei eine Verwendung der jeweiligen auslaufseitigen Bandkrümmung K', weil diese beiden Größen ohne weiteres ineinander umrechenbar sind.

[0058] Insbesondere ist es möglich, anhand der jeweiligen Kopf-Grö-βen V, SA, K eine ursprüngliche Bandlinie zu ermitteln, anhand der jeweiligen Band-Größen V', SA', K' eine momentane Bandlinie zu ermitteln und die Differenz dieser beiden Linien als Spannungszustand im Band 2 zu interpretieren. Diese Kenntnis kann im Rahmen des Schrittes S13 dazu genutzt werden, den jeweiligen Steuereingriff S derart zu ermitteln, dass der jeweilige Steuereingriff S einem Ausschlagen eines Bandfußes 11 des Bandes 2 beim Auslaufen des Bandfußes 11 aus dem jeweiligen Walzgerüst 1 entgegen wirkt.

[0059] Beispielsweise ist es möglich, wie in FIG 7 dargestellt, das jeweilige Walzgerüst 1 und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 zu einem Zeitpunkt entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff S anzusteuern, zu dem das in das jeweilige Walzgerüst 1 einlaufende Band 2 (noch) zugbeaufschlagt ist. Alternativ ist es möglich, wie in FIG 8 dargestellt, das jeweilige Walzgerüst 1 und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 zu einem Zeitpunkt entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff S anzusteuern, zu dem das in das jeweilige Walzgerüst 1 einlaufende Band (bereits) zugfrei ist.

[0060] In beiden Fällen, also sowohl in der Ausgestaltung gemäß FIG 7 als auch in der Ausgestaltung gemäß FIG 8, muss der jeweilige Steuereingriff S selbstverständlich zuvor von der Steuereinrichtung 3 ermittelt worden sein. Vorzugsweise wird der jeweilige Steuereingriff S hierbei unmittelbar zuvor ermittelt. Alternativ ist es jedoch möglich, den jeweiligen Steuereingriff S mit einem bestimmten zeitlichen Abstand vor dem Ansteuern des jeweiligen Walzgerüsts 1 und/oder des dem jeweiligen Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordneten Walzgerüsts 1 zu ermitteln.

[0061] Obenstehend wurde eine Vorgehensweise erläutert, bei der die auslaufseitige Kopfkrümmung K bzw. die auslaufseitige Bandkrümmung K' einmal ermittelt wurden und innerhalb eines Walzstraßenabschnitts (also zwischen je zwei unmittelbar benachbarten Walzgerüsten 1) als konstant angenommen wurden. Es sind jedoch auch andere Vorgehensweisen möglich.

[0062] Beispielsweise ist es möglich, pro Walzstraßenabschnitt zwei oder mehr Lageerfassungseinrichtungen 10 vorzusehen. Die Anordnung der Lageerfassungseinrichtungen 10 ist in diesem Fall optimal, wenn die Lageerfassungseinrichtungen 10 gleichmäßig voneinander beabstandet sind. Beispielsweise kann in der Mitte zwischen je zwei unmittelbar benachbarten Walzgerüsten 1 jeweils eine Lageerfassungseinrichtung 10 angeordnet sein, eine weitere Lageerfassungseinrichtung 10 unmittelbar vor dem dem jeweiligen Walzgerüst 1 unmittelbar nachgeordneten Walzgerüst 1. In der Praxis kann es jedoch aus übergeordneten Gründen erforderlich sein, von dieser - im Sinne der Messgenauigkeit optimalen - Anordnung abzuweichen.

[0063] Wenn zwei oder mehr Lageerfassungseinrichtungen 10 pro Walzstraßenabschnitt vorgesehen sind, ist es möglich, den Kurvenverlauf des Bandes 2 zwischen je zwei unmittelbar benachbarten Walzgerüsten 1 nicht nur durch ein Polynom zweiten Grades (d. h. mit konstanter Krümmung K bzw. K') anzunähern, sondern mittels eines Polynoms beispielsweise dritten Grades (d. h. mit in Bandlaufrichtung gesehen linear variierender Krümmung K bzw. K').

[0064] Unabhängig davon, ob die Krümmungen K und K' zwischen je zwei unmittelbar benachbarten Walzgerüsten 1 konstant oder eine Funktion des Ortes x in Bandlaufrichtung sind, ist insbesondere die an sich bekannte Bernoulli-Euler-Theorie des Biegebalkens anwendbar, um anhand der lokalen Krümmungen K und K' auf eine Zugspannungsdifferenz $\Delta\sigma$ von Bandkante 12 zu Bandkante 12 zu schließen. Denn es gilt für die Zugspannungsdifferenz $\Delta\sigma$

$$\Delta\sigma = \frac{6M(x)}{b^2 h} \qquad (5)$$

b ist hierbei die Bandbreite, h die Banddicke. M entspricht dem lokalen Biegemoment. Das lokale Biegemoment M seinerseits ist mit den Krümmungen K und K' durch die Beziehung

$$K'(x) - K(x) = \frac{M(x)}{EI} \tag{6}$$

verknüpft. E ist hierbei der Elastizitätsmodul des Bandes 2, gegebenenfalls bei der momentanen Bandtemperatur, I ist das axiale Flächenmoment des Bandquerschnitts in Banddickenrichtung. Das axiale Flächenmoment I ist hierbei durch die Beziehung

$$I = \frac{hb^3}{12} \tag{7}$$

bestimmt.

[0065] FIG 9 zeigt eine Möglichkeit, die auslaufseitigen Krümmungen K, K' zu ermitteln, ohne eine Lageerfassungseinrichtung 10 gemäß FIG 5 zu benötigen. Gemäß FIG 9 ist innerhalb der Steuereinrichtung 3 ein mathematisch-physikalisches Modell 13 implementiert. Dem mathematisch-physikalischen Modell 13 werden gemäß FIG 10 in einem Schritte S21 für jedes Walzgerüst 1 der jeweilige Kopfversatz V und die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung SA zugeführt. Weiterhin werden dem mathematisch-physikalischen Modell 13 im Schritt S21 Istgrößen des in das jeweilige Walzgerüst 1 einlaufenden Bandes 2 und des aus dem jeweiligen Walzgerüst 1 auslaufenden Bandes 2 zugeführt. Schließlich werden dem mathematisch-physikalischen Modell 13 im Schritt S21 Variable und Parameter des jeweiligen Walzgerüsts 1 zugeführt. Mittels des mathematisch-physikalischen Modells 13 wird sodann in einem Schritt S22 die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung K, K' ermittelt.

[0066] Das mathematisch-physikalische Modell 13 basiert zum einen auf dem Ansatz, dass die auslaufseitige Kopfkrümmung K des Bandes 2 hinter jedem der Walzgerüste 1 der Beziehung

$$K = \frac{2\Delta vA}{b \cdot vA} \tag{8}$$

folgt. ΔvA ist hierbei die Geschwindigkeitsdifferenz, mit der die Bandkanten 12 aus dem jeweiligen Walzgerüst 1 auslaufen.

[0067] Analoges gilt im Weiteren auch für andere Δ-Größen. So ist beispielsweise vE die Geschwindigkeit, mit der die Mitte des Bandes 2 in das jeweils betrachtete Walzgerüst 1 einläuft, ΔvE die Geschwindigkeitsdifferenz, mit der die Bandkanten 12 in das jeweils betrachtete Walzgerüst 1 einlaufen.

[0068] Weiterhin gilt - sowohl lokal über die Bandbreite b gesehen als auch global - die Kontinuitätsgleichung

$$vA \cdot hA = vE \cdot hE \tag{9}$$

hA und hE sind hierbei, bezogen auf das jeweilige Walzgerüst 1, die auslauf- bzw. die einlaufseitige Banddicke.

[0069] Aufgelöst nach der auslaufseitigen Geschwindigkeit vA folgt aus Gleichung 9 die linearisierte Gleichung für die lateralen Geschwindigkeitsdifferenzen um die Bandmitte über die Bandbreite b zu

$$\Delta vA = \frac{vE \cdot hE}{hA} \cdot \left(\frac{\Delta vE}{vE} + \frac{\Delta hE}{hE} - \frac{\Delta hA}{hA} \right) \qquad (10)$$

[0070] Die einlaufseitigen Größen (d. h. die Größen mit dem Endbuchstaben "E" sind hierbei ausnahmslos bekannt, und zwar für das zuerst durchlaufene Walzgerüst 1 a priori, für die anderen Walzgerüste 1 durch entsprechendes Errechnen anhand des mathematisch-physikalischen Modells 13. Auch die (mittlere) auslaufseitige Banddicke hA ist - auf Grund der bekannten Stichabnahme - bekannt. Die auslaufseitige Banddickendifferenz ΔhA ergibt sich durch Gleichsetzen der beiden Beziehungen

$$FW + \Delta FW = FW + (\Delta hA - \Delta s) \cdot cG + FW \cdot \frac{\Delta cG}{cG} \qquad (11)$$

und

$$FW + \Delta FW = FW + \frac{\partial FW}{\partial hE} \cdot \Delta hE + \frac{\partial FW}{\partial hA} \cdot \Delta hA + \frac{\partial FW}{\partial \sigma E} \cdot \Delta \sigma E + \frac{\partial FW}{\partial \sigma A} \cdot \Delta \sigma A + \frac{\partial FW}{\partial kF} \cdot \Delta kF + \frac{\partial FW}{\partial kF} \cdot \frac{\partial kF}{\partial T} \cdot \Delta T + \frac{\partial FW}{\partial \mu} \cdot \Delta \mu + \frac{\partial FW}{\partial y} \cdot \Delta y \qquad (12)$$

zu

$$\Delta hA = \frac{\Delta s + \frac{FW}{cG^2} \Delta CG + \frac{1}{cG} \left(\frac{\partial FW}{\partial hE} \Delta hE + \frac{\partial FW}{\partial \sigma E} \Delta \sigma E + \frac{\partial FW}{\partial \sigma A} \Delta \sigma A + \ldots + \frac{\partial FW}{\partial y} \Delta y \right)}{1 - \frac{1}{cG} \cdot \frac{\partial FW}{\partial hA}} \qquad (13)$$

[0071] In den Gleichungen 11 bis 13 bedeuten hierbei FW die Walzkraft, s den Walzspalt, cG die Gerüststeifigkeit, kF die Formänderungsfestigkeit, T die Temperatur des Bandes 2, μ den Reibungsbeiwert im Walzspalt und y die Außermittigkeit (entspricht dem Kopfversatz V), mit der das Band 2 das jeweils betrachtete Walzgerüst 1 durchläuft.

[0072] Die entsprechenden Eingangsgrößen des mathematisch-physikalischen Modells 13 müssen der Steuereinrichtung 3 hierbei bekannt sein. Dies ist in der Praxis jedoch üblicherweise der Fall, so dass die auslaufseitige Höhendifferenz ΔhA ermittelt werden kann.

[0073] Die obenstehend in Verbindung mit FIG 9 beschriebene Vorgehensweise arbeitet sehr schnell. Insbesondere steht die auslaufseitige Kopfkrümmung K praktisch sofort zur Verfügung. Es ist daher prinzipiell möglich, ebenso schnell zu reagieren. Insbesondere ist es möglich, wie prinzipiell bereits erwähnt und in FIG 10 nochmals dargestellt, den jeweiligen Steuereingriff S unmittelbar nach dem Ermitteln der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung K zu ermitteln und das jeweilige Walzgerüst 1 unmittelbar nach dem Ermitteln des jeweiligen Steuereingriffs S entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff S anzusteuern. In diesem Fall erfolgt oftmals eine Reaktion des jeweiligen Walzgerüsts 1, bevor der Bandkopf 8 in das unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 eingelaufen ist. Prinzipiell wäre es jedoch möglich, das Ansteuern des jeweiligen Walzgerüsts 1 zurückzustellen, bis der Bandkopf 8 in das unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst 1 eingelaufen ist.

[0074] Bei der Vorgehensweise gemäß FIG 10 weist das Band 2 eine abschnittweise konstante Kopfkrümmung K auf. Die Länge der einzelnen Abschnitte, innerhalb derer das Band 2 eine konstante Kopfkrümmung K aufweist, sind jedoch in der Regel erheblich kleiner als der Abstand G der Walzgerüste 1 voneinander. Die Ermittlung des Kopfversatzes V" als Funktion der Position des Bandes 2 in der Walzstraße ist daher nicht mehr so einfach möglich, wie zuvor be-

schrieben. Sie ist jedoch immer noch möglich, da die einzelnen Abschnitte stetig aneinander angrenzen.

[0075] Es ist möglich, die Vorgehensweise der FIG 9 und 10 isoliert auszuführen, also ohne Lageerfassungseinrichtungen 10 zwischen den Walzgerüsten 1 vorzusehen. Vorzugsweise wird jedoch die Vorgehensweise der FIG 9 und 10 gemäß FIG 11 in Verbindung mit den Lageerfassungseinrichtungen 10 durchgeführt. In diesem Fall ist es gemäß FIG 12 möglich, zusätzlich zu den Schritten S21 und S22 von FIG 10

- zunächst in einem Schritt S26 mittels der jeweiligen Lageerfassungseinrichtung 10 den jeweiligen Zwischengerüstkopfversatz VZ zu erfassen und
- sodann in einem Schritt S27 die anhand des mathematisch-physikalischen Modells 13 ermittelte auslaufseitige Kopfkrümmung K anhand des jeweiligen erfassten Zwischengerüstkopfversatzes VZ, des jeweiligen Kopfversatzes V und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung SA zu korrigieren.

[0076] In der Regel wird hierbei im Rahmen des Schrittes S27 die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung K entsprechend den zuletzt genannten Größen (Kopfversatz V, auslaufseitige Kopfsteigung SA und Zwischengerüstkopfversatz VZ) neu berechnet. Die neu berechnete auslaufseitige Kopfkrümmung K ersetzt sodann die zuvor anhand des mathematisch-physikalischen Modells 13 ermittelte auslaufseitige Kopfkrümmung K. Alternativ ist eine zumindest wesentliche Annäherung, beispielsweise um 70, 75 oder 80 %, möglich.

[0077] Zusätzlich zum Schritt S27 kann weiterhin ein Schritt S28 vorhanden sein. Im Schritt S28 wird das mathematisch-physikalische Modell 13 anhand einer Abweichung der mittels des mathematisch-physikalischen Modells 13 ermittelten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung K von der korrigierten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung K adaptiert. Das mathematisch-physikalische Modell 13 als solches wird also an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst, so dass für zu einem späteren Zeitpunkt gewalzte Bänder 2 eine bessere Ermittlung der auslaufseitigen Kopfkrümmung K durch das mathematisch-physikalische Modell 13 erfolgt.

[0078] Wie bereits erwähnt, ist es bei Verwendung des mathematisch-physikalischen Modells 13 möglich, den jeweiligen Steuereingriff S sehr schnell zu ermitteln und das jeweilige Walzgerüst 1 sehr schnell entsprechend dem jeweiligen Steuereingriff S anzusteuern. Im Rahmen der Vorgehensweise gemäß den FIG 11 und 12 ist es daher erforderlich, unter Berücksichtigung der anhand des mathematisch-physikalischen Modells 13 jeweils ermittelten Steuereingriffe S und der dadurch bewirkten Änderungen der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung K eine effektive (mittlere) Kopfkrümmung KM des Bandes 2 zu ermitteln und die effektive mittlere Kopfkrümmung KM dem Vergleich des Schrittes S27 bzw. der Adaption des Schrittes S28 zu Grunde zu legen. Beispielsweise ist es möglich, zyklisch jeweils anhand des mathematisch-physikalischen Modells 13 eine jeweilige Kopfkrümmung K zu ermitteln und sodann - beispielsweise mittels der Beziehung

$$KM = (1-\alpha)K(i-1) + \alpha K(i) \qquad (14)$$

- die effektive mittlere Kopfkrümmung KM zu ermitteln. In der obigen Gleichung 14 steht hierbei i für den jeweiligen Abtastzyklus. α ist ein geeignet bestimmter Wichtungsfaktor, der zwischen Null und Eins liegt. Der Wichtungsfaktor α kann zeitlich konstant oder zeitlich variabel sein. Wenn er zeitlich variabel ist, nimmt er vorzugsweise im Lauf der Zeit ab.

[0079] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere arbeitet sie zuverlässig und ist auf einfache Weise implementierbar und sogar bei bestehenden Walzstraßen nachrüstbar.

[0080] Die obige Beschreibung dient ausschließlich der Erläuterung der vorliegenden Erfindung. Der Schutzumfang der vorliegenden Erfindung soll hingegen ausschließlich durch die beigefügten Ansprüche bestimmt sein.

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Walzstraße, die mehrere von einem Band (2) nacheinander durchlaufene Walzgerüste (1) aufweist,

   - wobei das Band (2) - immer relativ zu einer Walzmittellinie (7) gesehen - in jedes der Walzgerüste (1) mit einem bekannten jeweiligen Kopfversatz (V) und einer bekannten jeweiligen einlaufseitigen Kopfsteigung (SE) eingefädelt wird, so dass ein Bandkopf (8) des Bandes (2) aus dem jeweiligen Walzgerüst (1) mit dem jeweiligen Kopfversatz (V), einer jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung (SA) und einer jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) ausläuft,

- wobei die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung (SA) anhand der jeweiligen einlaufseitigen Kopfsteigung (SE) und einer im jeweiligen Walzgerüst (1) erfolgenden jeweiligen Stichabnahme ermittelt wird,
- wobei mittels einer zwischen dem jeweiligen Walzgerüst (1) und dem dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordneten Walzgerüst (1) angeordneten jeweiligen Lageerfassungseinrichtung (10) ein jeweiliger Zwischengerüstkopfversatz (VZ) des Bandkopfes (8) erfasst wird,
- wobei anhand des jeweiligen erfassten Zwischengerüstkopfversatzes (VZ), des jeweiligen Kopfversatzes (V) und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung (SA) die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung (K) des Bandes (2) ermittelt wird,
- wobei unter Verwendung der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) ein jeweiliger Steuereingriff (S) für das jeweilige Walzgerüst (1) und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) ermittelt wird,
- wobei das jeweilige Walzgerüst (1) und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff (S) angesteuert werden.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der jeweilige Kopfversatz (V), die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung (SA) und die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung (K) gespeichert werden,
- **dass** nach dem Einfädeln des Bandes (2) in das letzte Walzgerüst (1) der Walzstraße das zwischen den Walzgerüsten (1) befindliche Band (2) zugbeaufschlagt wird,
- **dass** das Band (2) - immer relativ zur Walzmittellinie (7) gesehen - in jedes der Walzgerüste (1) mit einem bekannten jeweiligen Bandversatz (V') und einer bekannten jeweiligen einlaufseitigen Bandsteigung (SE') einläuft und aus dem jeweiligen Walzgerüst (1) mit dem jeweiligen Bandversatz (V'), einer jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung (SA') und einer jeweiligen auslaufseitigen Bandkrümmung (K') ausläuft,
- **dass** die jeweilige auslaufseitige Bandsteigung (SA') anhand der jeweiligen einlaufseitigen Bandsteigung (SE') und der im jeweiligen Walzgerüst (1) erfolgenden jeweiligen Stichabnahme ermittelt wird,
- **dass** mittels der dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordneten Lageerfassungseinrichtung (10) ein jeweiliger Zwischengerüstbandversatz (VZ') des Bandes (2) erfasst wird,
- **dass** anhand des jeweiligen Bandversatzes (V'), der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung (SA') und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes (VZ') die jeweilige auslaufseitige Bandkrümmung (K') ermittelt wird und
- **dass** der jeweilige Steuereingriff (S) unter Verwendung auch des jeweiligen Bandversatzes (V'), der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung (SA') und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes (VZ') ermittelt wird.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der jeweilige Steuereingriff (S) derart ermittelt wird, dass der jeweilige Steuereingriff (S) einem Ausschlagen eines Bandfußes (11) des Bandes (2) beim Auslaufen des Bandfußes (11) aus dem jeweiligen Walzgerüst (1) entgegen wirkt.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass das jeweilige Walzgerüst (1) und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) zu einem Zeitpunkt entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff (S) angesteuert werden, zu dem das in das jeweilige Walzgerüst (1) einlaufende Band (2) zugbeaufschlagt ist.

5. Betriebsverfahren nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass das jeweilige Walzgerüst (1) und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) zu einem Zeitpunkt entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff (S) angesteuert werden, zu dem das in das jeweilige Walzgerüst (1) einlaufende Band (2) zugfrei ist.

6. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
dass unter Verwendung des jeweiligen Kopfversatzes (V), der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung (SA) und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) des jeweiligen Walzgerüsts (1) der jeweilige Kopfversatz (V) und die jeweilige einlaufseitige Kopfsteigung (SE) für das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) ermittelt werden.

7. Betriebsverfahren für eine Walzstraße, die mehrere von einem Band (2) nacheinander durchlaufene Walzgerüste (1) aufweist,

- wobei das Band (2) - immer relativ zu einer Walzmittellinie (7) gesehen - in jedes der Walzgerüste (1) mit einem bekannten jeweiligen Kopfversatz (V) und einer bekannten jeweiligen einlaufseitigen Kopfsteigung (SE) eingefädelt wird, so dass ein Bandkopf (8) des Bandes (2) aus dem jeweiligen Walzgerüst (1) mit dem jeweiligen Kopfversatz (V), einer jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung (SA) und einer jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) ausläuft,
- wobei die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung (SA) anhand der jeweiligen einlaufseitigen Kopfsteigung (SE) und einer im jeweiligen Walzgerüst (1) erfolgenden jeweiligen Stichabnahme ermittelt wird,
- wobei einem mathematisch-physikalischen Modell (13) der jeweilige Kopfversatz (V) und die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung (SA), Istgrößen des in das jeweilige Walzgerüst (1) einlaufenden Bandes (2) und des aus dem jeweiligen Walzgerüst (1) auslaufenden Bandes (2) sowie Variable und Parameter des jeweiligen Walzgerüsts (1) zugeführt werden und die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung (K) mittels des mathematisch-physikalischen Modells (13) ermittelt wird,
- wobei unter Verwendung der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) ein jeweiliger Steuereingriff (S) für das jeweilige Walzgerüst (1) und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) ermittelt wird,
- wobei das jeweilige Walzgerüst (1) und/oder das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff (S) angesteuert werden.

8. Betriebsverfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** nach dem Ermitteln der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) mittels des mathematisch-physikalischen Modells (13) zusätzlich mittels einer zwischen dem jeweiligen Walzgerüst (1) und dem dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordneten Walzgerüst (1) angeordneten jeweiligen Lageerfasungseinrichtung (10) ein jeweiliger Zwischengerüstkopfversatz (VZ) des Bandes (2) erfasst wird und
- **dass** die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung (K) anhand des jeweiligen erfassten Zwischengerüstkopfversatzes (VZ), des jeweiligen Kopfversatzes (V) und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung (SA) korrigiert wird.

9. Betriebsverfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass das mathematisch-physikalische Modell (13) anhand einer Abweichung der mittels des mathematisch-physikalischen Modells (13) ermittelten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) von der korrigierten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) adaptiert wird.

10. Betriebsverfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass der jeweilige Steuereingriff (S) unmittelbar nach dem Ermitteln der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung (K) ermittelt wird und dass das jeweilige Walzgerüst (1) unmittelbar nach dem Ermitteln des jeweiligen Steuereingriffs (S) entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff (S) angesteuert wird.

11. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3 oder nach Anspruch 7, 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) spätestens beim Einfädeln des Bandes (2) in das dem jeweiligen Walzgerüst (1) unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst (1) entsprechend dem ermittelten jeweiligen Steuereingriff (S) angesteuert wird.

12. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung (K) konstant ist.

13. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung (K) mit einem Abstand (x) vom jeweiligen Walzgerüst (1) variiert.

14. Computerprogramm, das Maschinencode (5) aufweist, der von einer Steuereinrichtung (3) einer mehrgerüstigen Walzstraße unmittelbar ausführbar ist und dessen Ausführung durch die Steuereinrichtung (3) bewirkt, dass die

Steuereinrichtung (3) die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

15. Datenträger mit einem auf dem Datenträger gespeicherten Computerprogramm (4) nach Anspruch 14.

16. Steuereinrichtung einer mehrgerüstigen Walzstraße, wobei die Steuereinrichtung derart ausgestaltet ist, dass sie die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 betreibt.

17. Steuereinrichtung nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass sie als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet ist, die im Betrieb ein Computerprogramm (4) nach Anspruch 14 ausführt.

18. Walzstraße,

- wobei die Walzstraße mehrere von einem Band (2) nacheinander durchlaufene Walzgerüste (1) aufweist,
- wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung (3) nach Anspruch 16 oder 17 aufweist, so dass die Walzstraße im Betrieb gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 betrieben wird.

Claims

1. Operating method for a rolling train that has a plurality of rolling stands (1) through which a strip (2) runs successively,

- the strip (2) - always as seen relative to a rolling center line (7) - being threaded into each of the rolling stands (1) with a known respective head displacement (V) and a known respective inlet side head pitch (SE), such that a strip head (8) of the strip (2) is outlet from the respective rolling stand (1) with the respective head displacement (V), a respective outlet side head pitch (SA) and a respective outlet side head curvature (K),
- the respective outlet side head pitch (SA) being determined with the aid of the respective inlet side head pitch (SE) and a respective pass reduction taking place in the respective rolling stand (1),
- a respective intermediate stand head displacement (VZ) of the strip head (8) being acquired by means of a respective position acquisition device (10) arranged between the respective rolling stand (1) and the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1),
- the respective outlet side head curvature (K) of the strip (2) being determined with the aid of the respective acquired intermediate stand head displacement (VZ), the respective head displacement (V) and the respective outlet side head pitch (SA),
- the respective outlet side head curvature (K) being used to determine a respective control intervention (S) for the respective rolling stand (1), and/or for the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1), and
- the respective rolling stand (1) and/or the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1) being driven in accordance with the determined respective control intervention (S).

2. Operating method according to Claim 1,
characterized

- **in that** the respective head displacement (V), the respective outlet side head pitch (SA) and the respective outlet side head curvature (K) are stored,
- **in that** after the threading of the strip (2) into the last rolling stand (1) of the rolling train the strip (2) located between the rolling stands (1) is subjected to tension,
- **in that** the strip (2) - always as seen relative to the rolling center line (7) - is inlet into each of the rolling stands (1) with a known respective strip displacement (V') and a known respective inlet side strip pitch (SE'), and is outlet from the respective rolling stand (1) with the respective strip displacement (V'), a respective outlet side strip pitch (SA') and a respective outlet side strip curvature (K'),
- **in that** the respective outlet side strip pitch (SA') is determined with the aid of the respective inlet side strip pitch (SE') and the respective pass reduction taking place in the respective rolling stand (1),
- **in that** a respective intermediate stand strip displacement (VZ') of the strip (2) is acquired by means of the position acquisition device (10) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1),
- **in that** the respective outlet side strip curvature (K') is determined with the aid of the respective strip displacement (V'), the respective outlet side strip pitch (SA') and the respective intermediate stand strip displacement

(VZ'), and
- **in that** the respective strip displacement (V'), the respective outlet side strip pitch (SA') and the respective intermediate stand strip displacement (VZ') are also used to determine the respective control intervention (S).

3. Operating method according to Claim 2,
characterized
in that the respective control intervention (S) is determined in such a way that the respective control intervention (S) counteracts a deflection of a strip foot (11) of the strip (2) as the strip foot (11) is outlet from the respective rolling stand (1).

4. Operating method according to Claim 2 or 3,
characterized
in that the respective rolling stand (1) and/or the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1) are/is driven at an instant corresponding to the determined respective control intervention (S) at which the strip (2) being inlet into the respective rolling stand (1) is subjected to tension.

5. Operating method according to Claim 2 or 3,
characterized
in that the respective rolling stand (1) and/or the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1) are/is driven at an instant corresponding to the determined respective control intervention (S) at which the strip (2) being inlet into the respective rolling stand (1) is free from tension.

6. Operating method according to one of the above claims, **characterized**
in that the respective head displacement (V), the respective outlet side head pitch (SA) and the respective outlet side head curvature (K) of the respective rolling stand (1) are used to determine the respective head displacement (V) and the respective inlet side head pitch (SE) for the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1).

7. Operating method for a rolling train that has a plurality of rolling stands (1) through which a strip (2) runs successively,

- the strip (2) - always as seen relative to a rolling center line (7) - being threaded into each of the rolling stands (1) with a known respective head displacement (V) and a known respective inlet side head pitch (SE), such that a strip head (8) of the strip (2) is outlet from the respective rolling stand (1) with the respective head displacement (V), a respective outlet side head pitch (SA) and a respective outlet side head curvature (K),
- the respective outlet side head pitch (SA) being determined with the aid of the respective inlet side head pitch (SE) and a respective pass reduction taking place in the respective rolling stand (1),
- a mathematical-physical model (13) being fed the respective head displacement (V) and the respective outlet side head pitch (SA), actual quantities of the strip (2) being inlet into the respective rolling stand (1) and of the strip (2) being outlet from the respective rolling stand (1), as well as variables and parameters of the respective rolling stand (1), and the respective outlet side head curvature (K) being determined by means of the mathematical-physical model (13),
- the respective outlet side head curvature (K) being used to determine a respective control intervention (S) for the respective rolling stand (1), and/or for the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1), and
- the respective rolling stand (1) and/or the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1) being driven in accordance with the determined respective control intervention (S).

8. Operating method according to Claim 7,
characterized

- **in that** after the determination of the respective outlet side head curvature (K) by means of the mathematical-physical model (13) a respective intermediate stand head displacement (VZ) of the strip (2) is additionally acquired by means of a respective position acquisition device (10) arranged between the respective rolling stand (1) and the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1), and
- **in that** the respective outlet side head curvature (K) is corrected with the aid of the respective acquired intermediate stand head displacement (VZ), the respective head displacement (V) and the respective outlet side head pitch (SA).

9. Operating method according to Claim 8,
characterized
in that the mathematical-physical model (13) is adapted with the aid of a deviation of the respective outlet side head curvature (K) determined by means of the mathematical-physical model (13) from the corrected respective outlet side head curvature (K).

10. Operating method according to Claim 7, 8 or 9, **characterized**
in that the respective control intervention (S) is determined directly after the determination of the respective outlet side head curvature (K), and in that directly after the determination of the respective control intervention (S) the respective rolling stand (1) is driven in accordance with the determined respective control intervention (S).

11. Operating method according to Claim 1, 2 or 3, or according to Claim 7, 8 or 9,
characterized
in that the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1) is driven in accordance with the determined respective control intervention (S) at the latest as the strip (2) is being threaded into the rolling stand (1) arranged directly downstream of the respective rolling stand (1).

12. Operating method according to one of Claims 1 to 11, **characterized**
in that the respective outlet side head curvature (K) is constant.

13. Operating method according to one of Claims 1 to 11, **characterized**
in that the respective outlet side head curvature (K) varies with a distance (x) from the respective rolling stand (1).

14. Computer program that has machine code (5) which can be executed directly by a control device (3) of a multistand rolling train, and the execution of which via the control device (3) has the effect that the control device (3) operates the rolling train in accordance with an operating method according to one of the above claims.

15. Data medium having a computer program (4) according to Claim 14 stored on the data medium.

16. Control device of a multistand rolling train, the control device being configured in such a way that it operates the rolling train in accordance with an operating method according to one of Claims 1 to 13.

17. Control device according to Claim 16,
characterized
in that it is designed as a software programmable control device that in operation executes a computer program (4) according to Claim 14.

18. Rolling train,

- in which the rolling train has a plurality of rolling stands (1) through which a strip (2) runs successively, and
- in which the rolling train has a control device (3) according to Claim 16 or 17 such that when in operation the rolling train is operated in accordance with an operating method according to one of Claims 1 to 13.

Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner un train de laminoir, qui a plusieurs cages (1) de laminoir parcourues les unes après les autres par un feuillard (2),

- dans lequel le feuillard (2) - considéré toujours par rapport à une ligne (7) médiane de laminage - est enfilé dans chacune des cages (1) de laminoir avec un décalage (V) de tête respectif connu et une pente (SE) de tête du côté de l'entrée respective connue, de sorte qu'une tête (8) du feuillard (2) sorte de la cage (1) de laminoir respective en ayant le décalage (V) de tête respectif, une pente (SA) de tête du côté de la sortie respective et une courbure (K) de tête du côté de la sortie respective,
- dans lequel la pente (SA) de tête du côté de la sortie respective est déterminée au moyen de la pente (SE) de tête du côté de l'entrée respective et d'une réduction aux passes respectives s'effectuant dans une cage (1) de laminoir respective,
- dans lequel au moyen d'un dispositif (10) de détection de position respectif, disposé entre la cage (1) de

laminoir respective et la cage (1) de laminoir disposée directement après la cage (1) de laminoir respective, un décalage (VZ) de cage intermédiaire respectif de la tête (8) du feuillard est détecté,
- dans lequel, au moyen du décalage (VZ) de tête de cage intermédiaire détecté respectivement du décalage (V) de tête respectif et de la pente (SA) de tête du côté de la sortie respective, la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective du feuillard (2) est déterminée,
- dans lequel, en utilisant la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective, une intervention (S) de commande respective de la cage (1) de laminoir respective et/ou de la cage (1) de laminoir disposée immédiatement après la cage (1) de laminoir respective, est déterminée,
- dans lequel la cage (1) de laminoir respective et/ou la cage (1) de laminoir disposée immédiatement après la cage (1) de laminoir respective, sont commandées conformément à l'intervention (S) de commande respective déterminée.

2. Procédé suivant la revendication 1,
caractérisé

- **en ce que** le décalage (V) de tête respectif, la pente
(SA) de tête du côté de la sortie respective et la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective sont mémorisés,
- **en ce que**, après avoir enfilé le feuillard (1) dans la dernière cage (1) de laminoir du train de laminoir, le feuillard (1) se trouvant entre les cages (1) de laminoir est sollicité en traction,
- **en ce que** le feuillard (2) - considéré toujours par rapport à la ligne (7) médiane de laminage - pénètre dans chacune des cages (1) de laminoir en ayant un décalage (V') de feuillard respectif connu et une pente (SE') de feuillard du côté de l'entrée respective connue et sort de la cage (1) de laminoir respective en ayant le décalage (V') de laminoir respectif, une pente (SA') de feuillard du côté de la sortie respective et une courbure (K') de feuillard du côté de la sortie respective,
- **en ce que** la pente (SA') de feuillard du côté de la sortie respective est déterminée au moyen de la pente (SE') de feuillard du côté de l'entrée respective et de la réduction aux passes respectives s'effectuant dans la cage (1) de laminoir respective,
- **en ce que**, au moyen du dispositif (10) de détection de position monté directement après la cage (1) de laminoir respective, un décalage (VZ') de cage intermédiaire du feuillard (2) est détecté,
- **en ce que**, au moyen du décalage (V') de feuillard respectif de la pente (SA') de feuillard du côté de la sortie respective et du décalage (VZ') de feuillard de cage intermédiaire, la courbure (K') de feuillard du côté de la sortie respective est déterminée et
- **en ce que** l'intervention (S) de commande respective est déterminée en utilisant aussi le décalage (V') de feuillard respectif, la pente (SA') de feuillard du côté de la sortie respective et le décalage (VZ') de feuillard de cage intermédiaire respectif.

3. Procédé suivant la revendication 2,
caractérisé
en ce que l'on détermine l'intervention (S) de commande respective, de manière à ce que l'intervention (S) de commande respective s'oppose à une déviation d'un pied (11) du feuillard (2), lorsque le pied (11) du feuillard sort de la cage (1) de laminoir respective.

4. Procédé suivant la revendication 2 ou 3,
caractérisé
en ce que la cage (1) de laminoir respective et/ou la cage (1) de laminoir disposée directement après la cage (1) de laminoir respective, sont commandées à un instant correspondant à l'intervention (S) de commande respective déterminée où le feuillard (2) entrant dans la cage (1) de laminoir respective est sollicité en traction.

5. Procédé suivant la revendication 2 ou 3,
caractérisé
en ce que la cage (1) de laminoir respective et/ou la cage (1) de laminoir disposée directement après la cage (1) de laminoir respective, sont commandées à un instant correspondant à l'intervention (S) de commande respective déterminée où le feuillard (2) entrant dans la cage (1) de laminoir respective n'a pas de traction.

6. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé**
en ce qu'en utilisant le décalage (V) de tête respectif, la pente (SA) de tête du côté de la sortie respective et la courbure (K) du côté de la sortie respective de la cage (1) de laminoir respective, le décalage (V) de tête respective

et la pente (SE) de tête du côté de l'entrée respective sont déterminés pour la cage (1) de laminoir disposée immédiatement après la cage (1) de laminoir respective.

7. Procédé pour faire fonctionner un train de laminoir, qui a plusieurs cages (1) de laminoir parcourues les unes après les autres par un feuillard (2),

- dans lequel le feuillard (2) - considéré toujours par rapport à une ligne (7) médiane de laminage - est enfilé dans chacune des cages (1) de laminoir avec un décalage (V) de tête respectif connu et une pente (SE) de tête du côté de l'entrée respective connue, de sorte qu'une tête (8) du feuillard (2) sorte de la cage (1) de laminoir respective en ayant le décalage (V) de tête respectif, une pente (SA) de tête du côté de la sortie respective et une courbure (K) de tête du côté de la sortie respective,
- dans lequel la pente (SA) de tête du côté de la sortie respective est déterminée au moyen de la pente (SE) de tête du côté de l'entrée respective et d'une réduction aux passes respectives s'effectuant dans une cage (1) de laminoir respective,
- dans lequel on envoie à un modèle (13) physico-mathématique, le décalage (V) de tête respectif et la pente (SA) de tête du côté de la sortie respective, des grandeurs réelles du feuillard (2) entrant dans la cage (1) de laminoir respective et du feuillard (2) sortant de la cage (1) de laminoir respective, ainsi que des variables et des paramètres de la cage (1) de laminoir respective et l'on détermine la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective au moyen du modèle (13) physico-mathématique,
- dans lequel, en utilisant la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective, une intervention (S) de commande respective de la cage (1) de laminoir respective et/ou de la cage (1) de laminoir disposée immédiatement après la cage (1) de laminoir respective est déterminée,
- dans lequel la cage (1) de laminoir respective et/ou la cage (1) de laminoir disposée immédiatement après la cage (1) de laminoir respective sont commandées conformément à l'intervention (S) de commande respective déterminée.

8. Procédé suivant la revendication 7,
caractérisé

- **en ce que**, après la détermination de la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective au moyen du modèle (13) physico-mathématique, on détecte supplémentairement au moyen d'un dispositif (10) de détection de position respectif, disposé entre la cage (1) de laminoir respective et la cage (1) de laminoir disposée directement après la cage (1) de laminoir respective, un décalage (VZ) de tête de cage intermédiaire du feuillard (2) et
- **en ce que** la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective est corrigée au moyen du décalage (VZ) de tête de cage intermédiaire détecté respectif, du décalage (V) de tête respectif et de la pente (SA) de tête du côté de la sortie respective.

9. Procédé suivant la revendication 8,
caractérisé
en ce que l'on adapte le modèle (13) physico-mathématique au moyen d'un écart à la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective corrigée de la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective déterminée au moyen du modèle (13) physico-mathématique.

10. Procédé suivant la revendication 7, 8 ou 9,
caractérisé
en ce que l'on détermine l'intervention (S) de commande respective, directement après la détermination de la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective, et en ce que l'on commande la cage (1) de laminoir respective, directement après la détermination de l'intervention (S) de commande respective conformément à l'intervention (S) de commande respective déterminée.

11. Procédé suivant la revendication 1, 2 ou 3 ou revendication 7, 8 ou 9,
caractérisé
en ce que l'on commande, conformément à l'intervention (S) de commande respective déterminée, la cage (1) de laminoir respective disposée directement après la cage (1) de laminoir respective au plus tard, lorsque le feuillard (2) est enfilé dans la cage (1) de laminoir disposée directement après la cage (1) de laminoir respective.

12. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé**

en ce que la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective est constante.

13. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé**
en ce que la courbure (K) de tête du côté de la sortie respective varie avec une distance (x) de la cage (1) de laminoir respective.

14. Programme informatique, qui a un code (5) machine, qui peut être exécuté directement par un dispositif (3) de commande d'un train de laminoir à plusieurs cage et dont l'exécution est provoquée par le dispositif (3) de commande, en ce que le dispositif (3) de commande fait fonctionner le train de laminoir suivant un procédé de fonctionnement suivant l'une des revendications précédentes.

15. Support de données ayant un programme (4) informatique suivant la revendication 14 mémorisé sur le support de données.

16. Dispositif de commande d'un train de laminoir à plusieurs cages, le dispositif de commande étant tel qu'il fait fonctionner le train de laminoir suivant un procédé de fonctionnement suivant l'une des revendications 1 à 13.

17. Dispositif de commande suivant la revendication 16, **caractérisé**
en ce qu'il est constitué en dispositif de commande pouvant être programmé par logiciel, qui exécute en fonctionnement un programme (4) informatique suivant la revendication 14.

18. Train de laminoir,

- dans lequel le train de laminoir a plusieurs cages (1) de laminoir parcourues les unes après les autres par un feuillard (2),
- dans lequel le train de laminoir a un dispositif (3) de commande suivant la revendication 16 ou 17, de sorte que le train de laminoir fonctionne en fonctionnement suivant un procédé de fonctionnement suivant l'une des revendications 1 à 13.

FIG 1

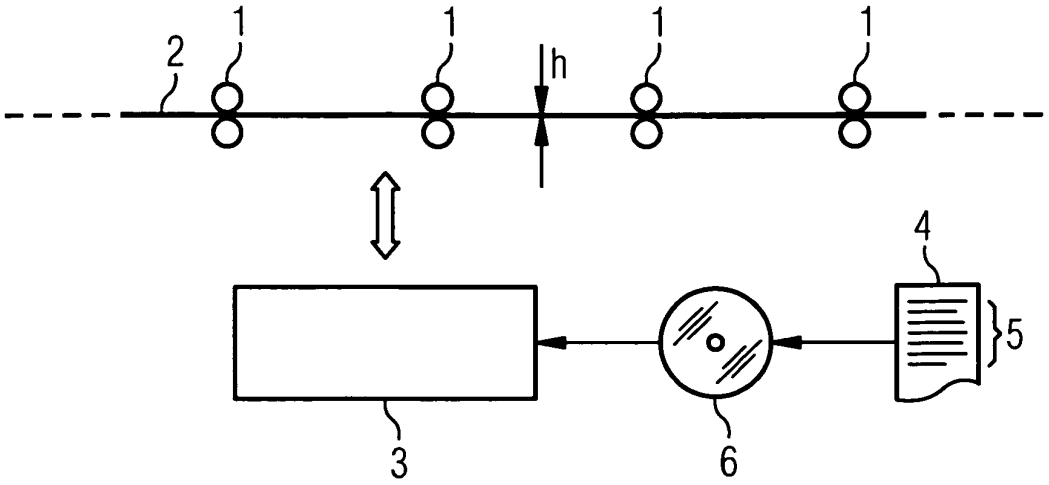


FIG 2

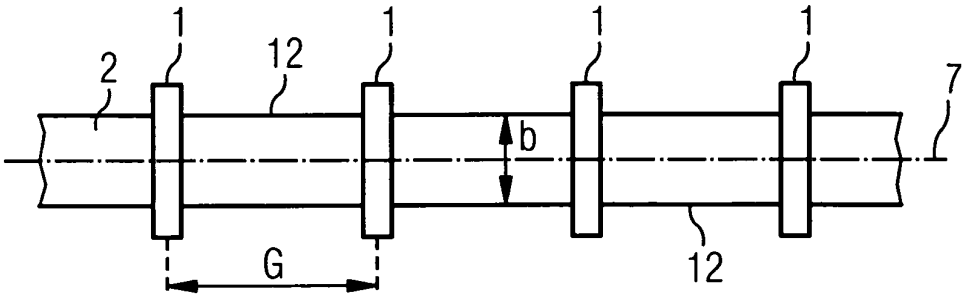


FIG 3

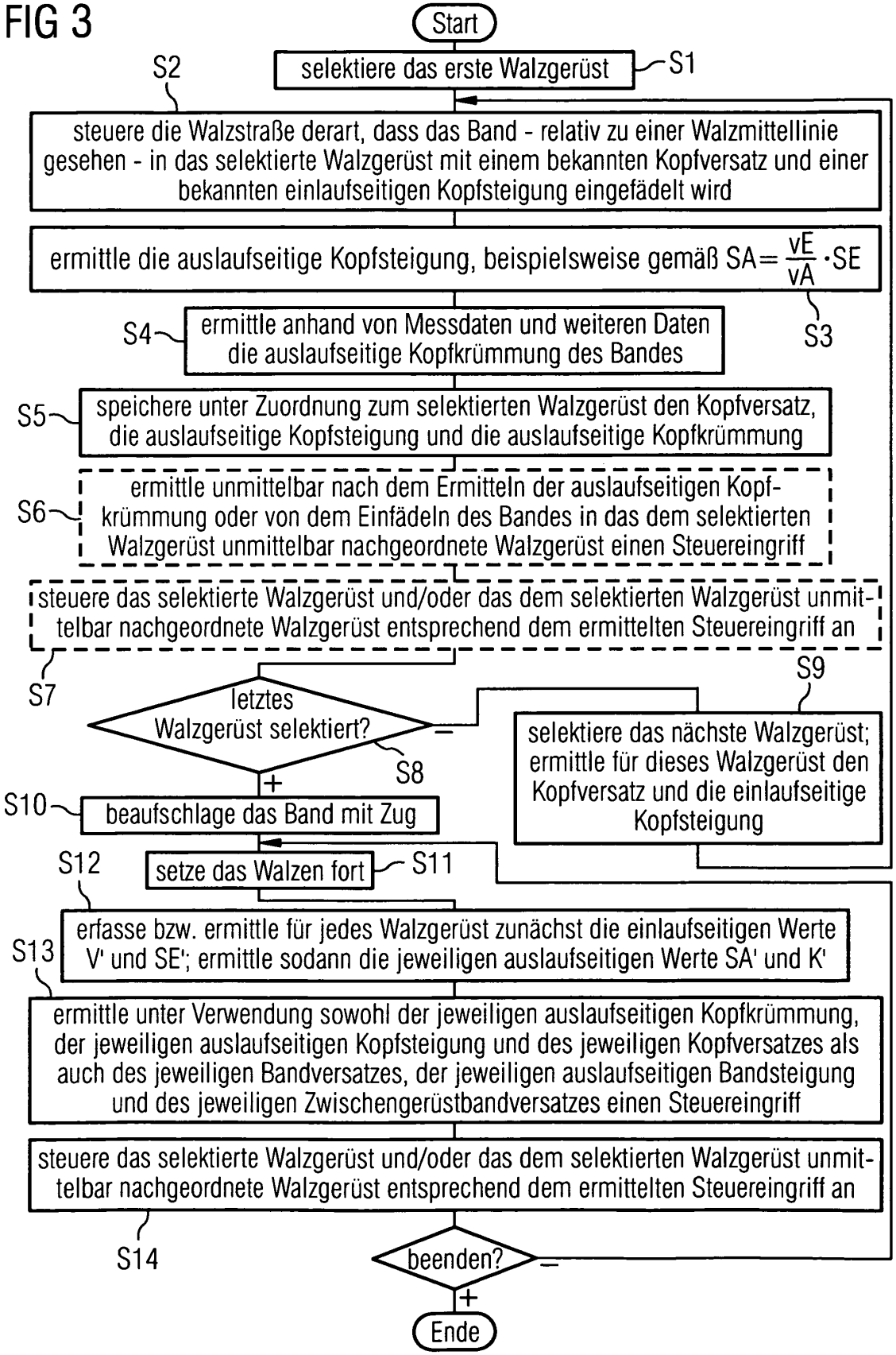

Start
selektiere das erste Walzgerüst
S1
S2
steuere die Walzstraße derart, dass das Band - relativ zu einer Walzmittellinie gesehen - in das selektierte Walzgerüst mit einem bekannten Kopfversatz und einer bekannten einlaufseitigen Kopfsteigung eingefädelt wird
ermittle die auslaufseitige Kopfsteigung, beispielsweise gemäß SA= vE/vA ·SE
S3
S4
ermittle anhand von Messdaten und weiteren Daten die auslaufseitige Kopfkrümmung des Bandes
S5
speichere unter Zuordnung zum selektierten Walzgerüst den Kopfversatz, die auslaufseitige Kopfsteigung und die auslaufseitige Kopfkrümmung
S6
ermittle unmittelbar nach dem Ermitteln der auslaufseitigen Kopfkrümmung oder von dem Einfädeln des Bandes in das dem selektierten Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst einen Steuereingriff
steuere das selektierte Walzgerüst und/oder das dem selektierten Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst entsprechend dem ermittelten Steuereingriff an
S7
letztes Walzgerüst selektiert?
S8
=
+
S9
selektiere das nächste Walzgerüst; ermittle für dieses Walzgerüst den Kopfversatz und die einlaufseitige Kopfsteigung
S10
beaufschlage das Band mit Zug
S11
setze das Walzen fort
S12
S13
erfasse bzw. ermittle für jedes Walzgerüst zunächst die einlaufseitigen Werte V' und SE'; ermittle sodann die jeweiligen auslaufseitigen Werte SA' und K'
ermittle unter Verwendung sowohl der jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung, der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung und des jeweiligen Kopfversatzes als auch des jeweiligen Bandversatzes, der jeweiligen auslaufseitigen Bandsteigung und des jeweiligen Zwischengerüstbandversatzes einen Steuereingriff
steuere das selektierte Walzgerüst und/oder das dem selektierten Walzgerüst unmittelbar nachgeordnete Walzgerüst entsprechend dem ermittelten Steuereingriff an
S14
beenden?
=
+
Ende

FIG 4

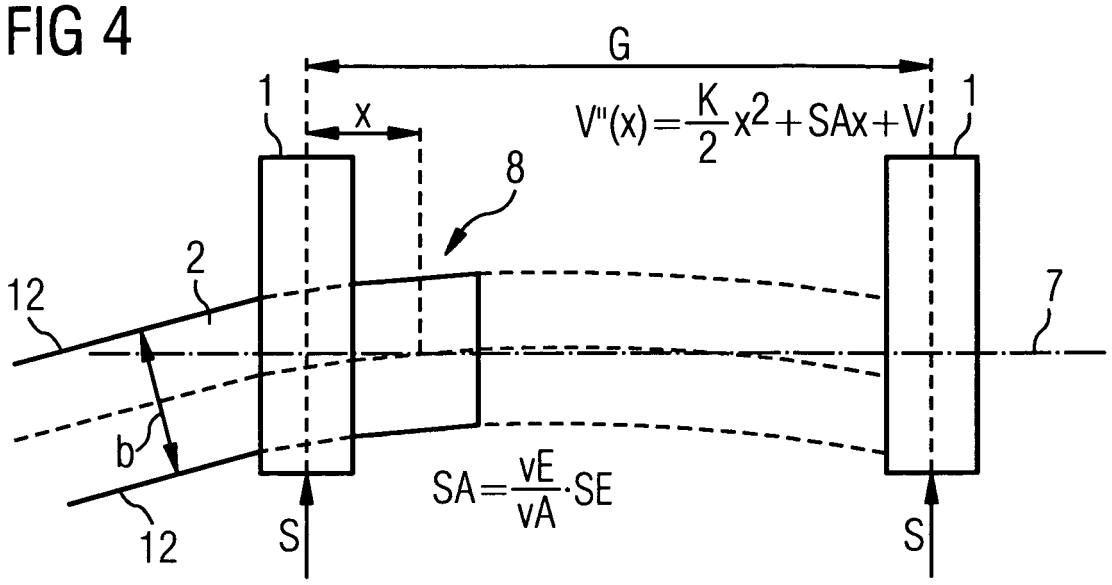

G
1
x
V''(x)=K/2 x2+SAx+V'
1
8
2
12
7
b
SA=vE/vA·SE
12
S
S

FIG 5

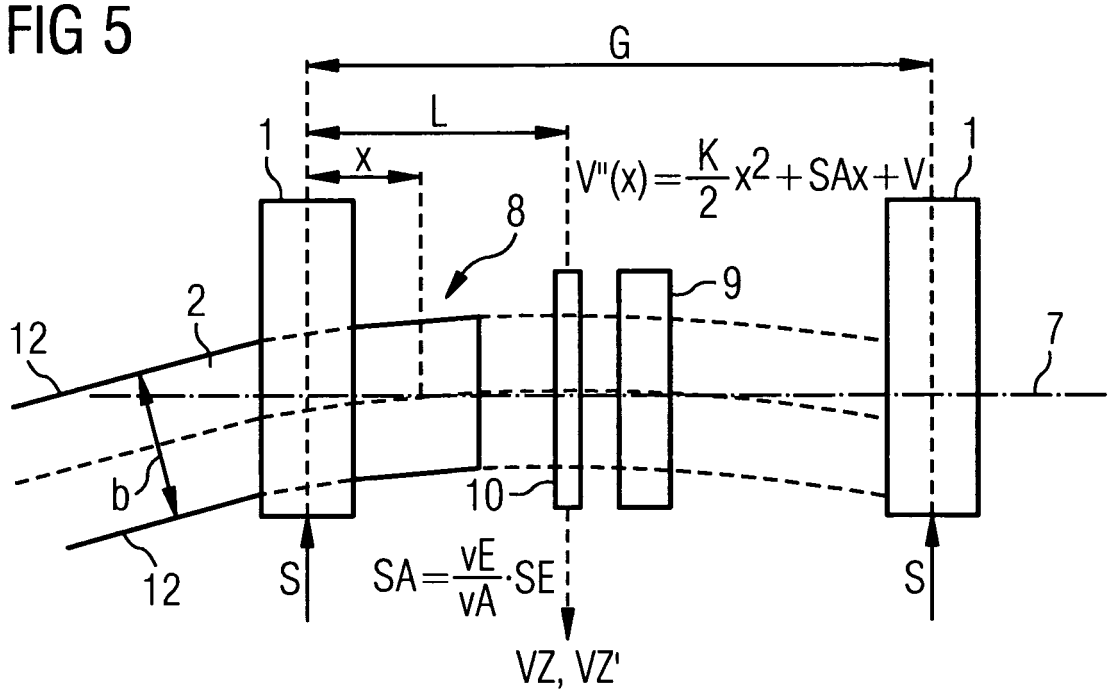

G
L
1
x
V''(x)=K/2 x2+SAx+V'
1
8
9
2
12
7
b
10
12
S
SA=vE/vA·SE
S
VZ, VZ'

FIG 6

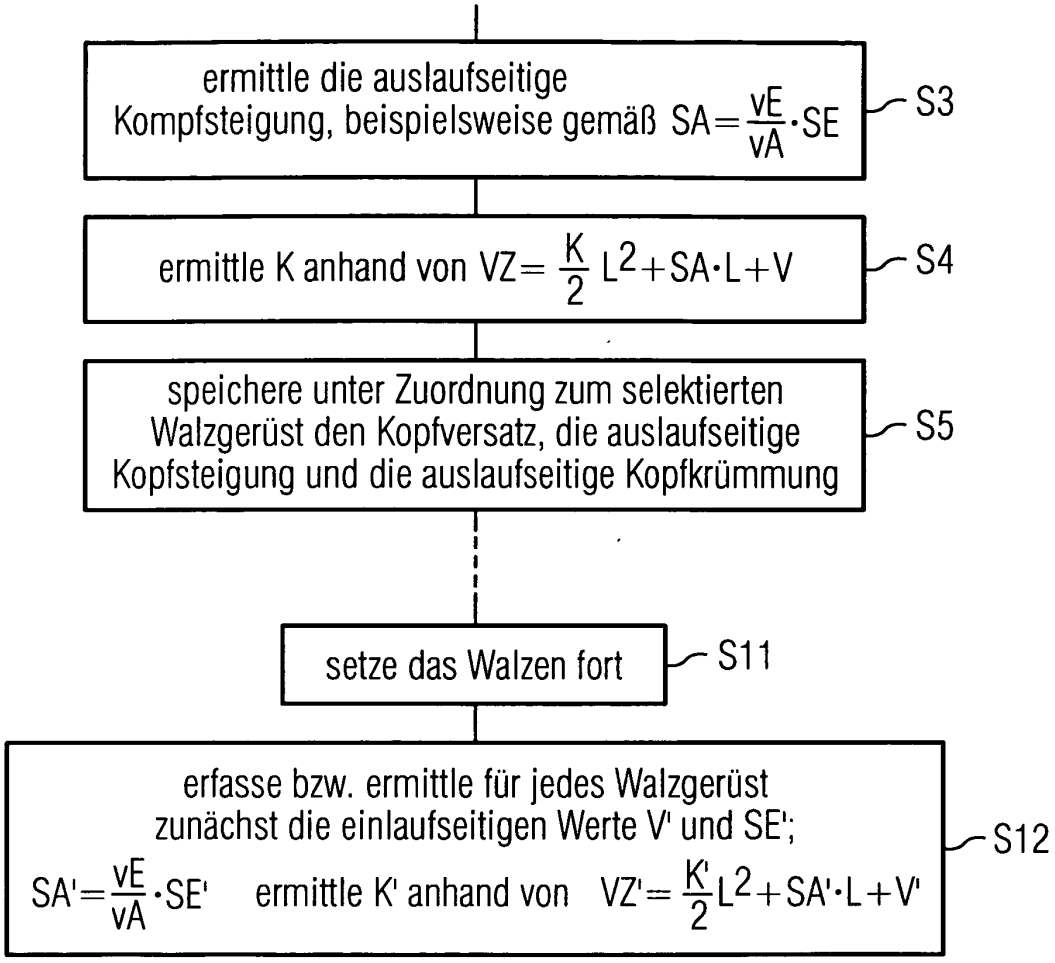


FIG 7

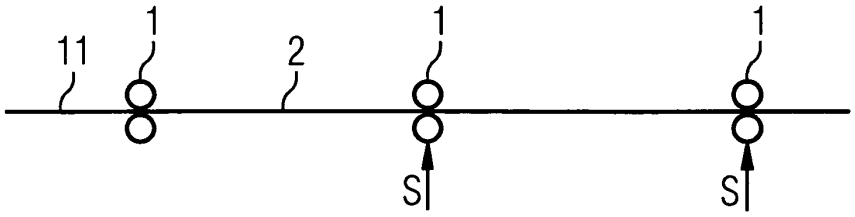


FIG 8

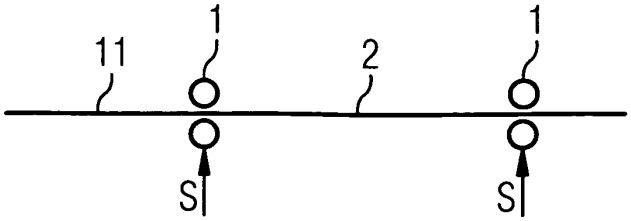


FIG 9

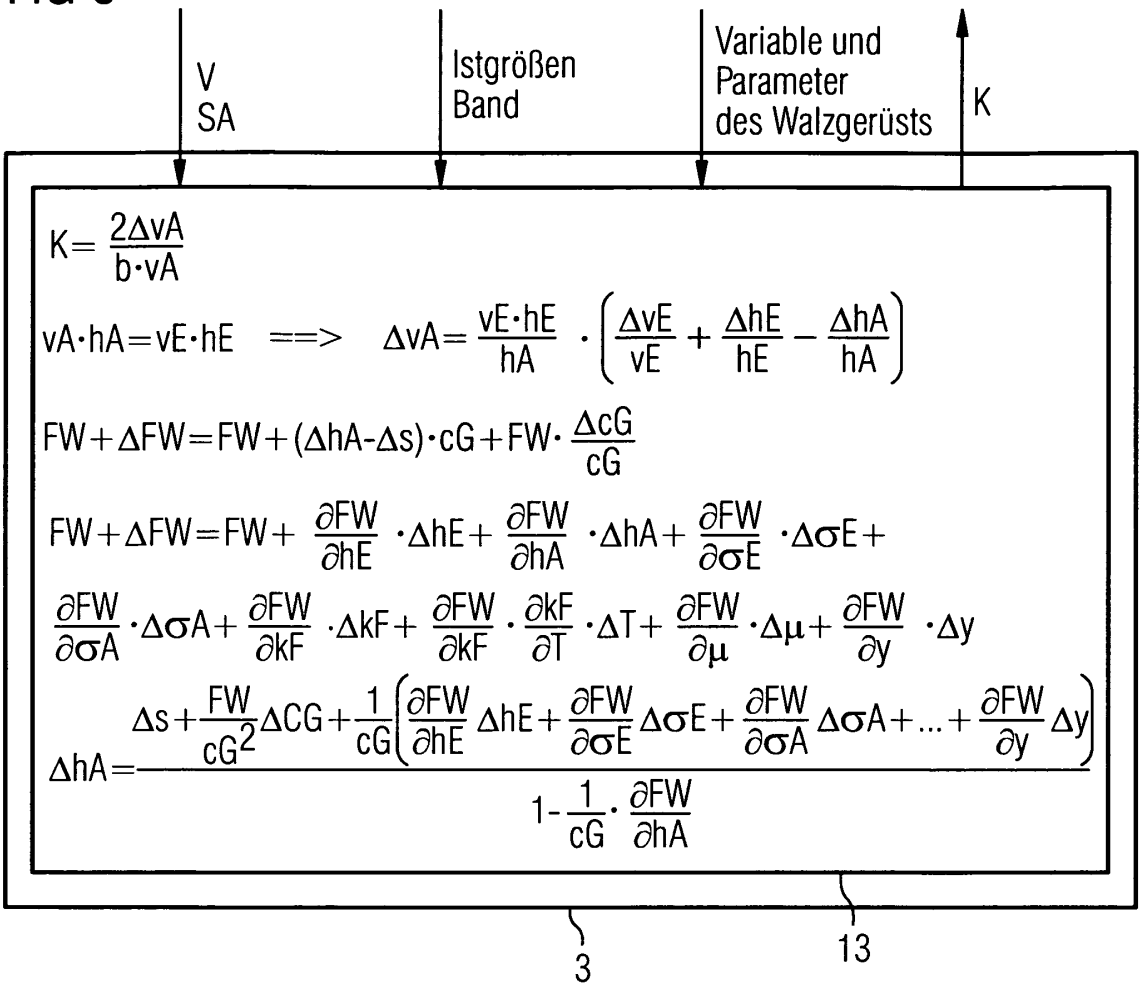

V
SA
Istgrößen
Band
Variable und
Parameter
des Walzgerüsts
K
$K = \frac{2\Delta vA}{b \cdot vA}$
$vA \cdot hA = vE \cdot hE \quad ==> \quad \Delta vA = \frac{vE \cdot hE}{hA} \cdot \left(\frac{\Delta vE}{vE} + \frac{\Delta hE}{hE} - \frac{\Delta hA}{hA} \right)$
$FW + \Delta FW = FW + (\Delta hA - \Delta s) \cdot cG + FW \cdot \frac{\Delta cG}{cG}$
$FW + \Delta FW = FW + \frac{\partial FW}{\partial hE} \cdot \Delta hE + \frac{\partial FW}{\partial hA} \cdot \Delta hA + \frac{\partial FW}{\partial \sigma E} \cdot \Delta \sigma E +$
$\frac{\partial FW}{\partial \sigma A} \cdot \Delta \sigma A + \frac{\partial FW}{\partial kF} \cdot \Delta kF + \frac{\partial FW}{\partial kF} \cdot \frac{\partial kF}{\partial T} \cdot \Delta T + \frac{\partial FW}{\partial \mu} \cdot \Delta \mu + \frac{\partial FW}{\partial y} \cdot \Delta y$
$\Delta hA = \frac{\Delta s + \frac{FW}{cG^2} \Delta CG + \frac{1}{cG} \left(\frac{\partial FW}{\partial hE} \Delta hE + \frac{\partial FW}{\partial \sigma E} \Delta \sigma E + \frac{\partial FW}{\partial \sigma A} \Delta \sigma A + \ldots + \frac{\partial FW}{\partial y} \Delta y \right)}{1 - \frac{1}{cG} \cdot \frac{\partial FW}{\partial hA}}$
3
13

FIG 10

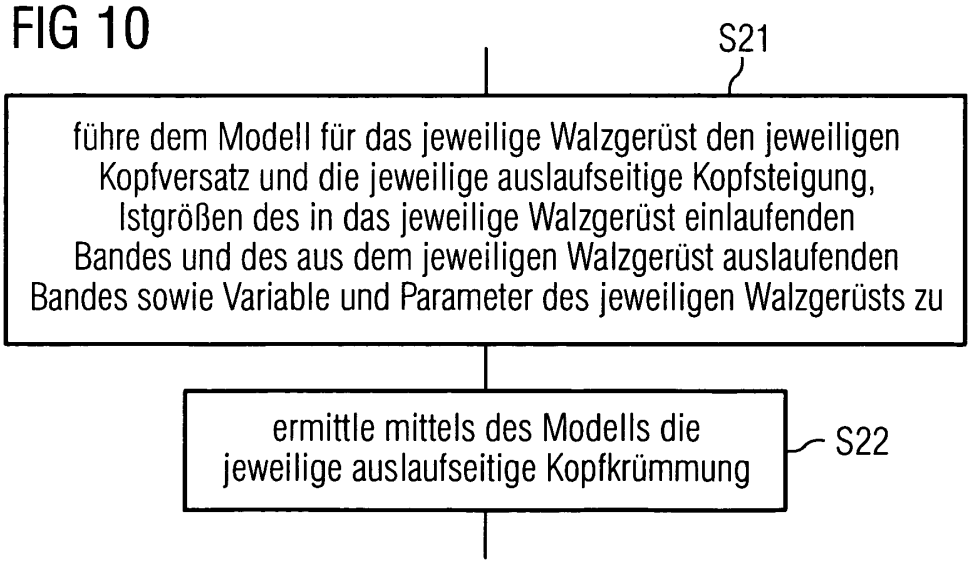

S21
führe dem Modell für das jeweilige Walzgerüst den jeweiligen Kopfversatz und die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung, Istgrößen des in das jeweilige Walzgerüst einlaufenden Bandes und des aus dem jeweiligen Walzgerüst auslaufenden Bandes sowie Variable und Parameter des jeweiligen Walzgerüsts zu
ermittle mittels des Modells die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung
S22

FIG 11

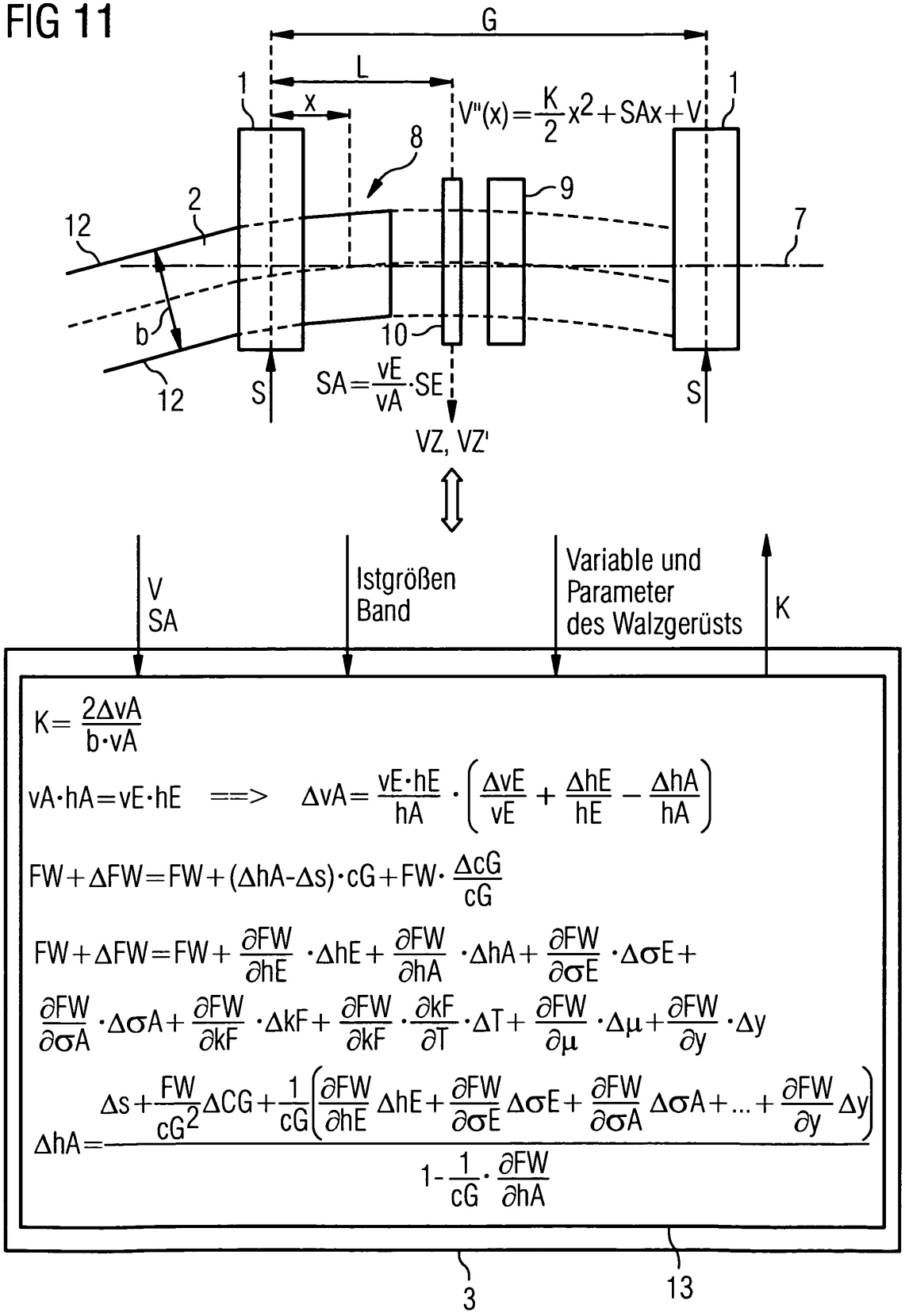
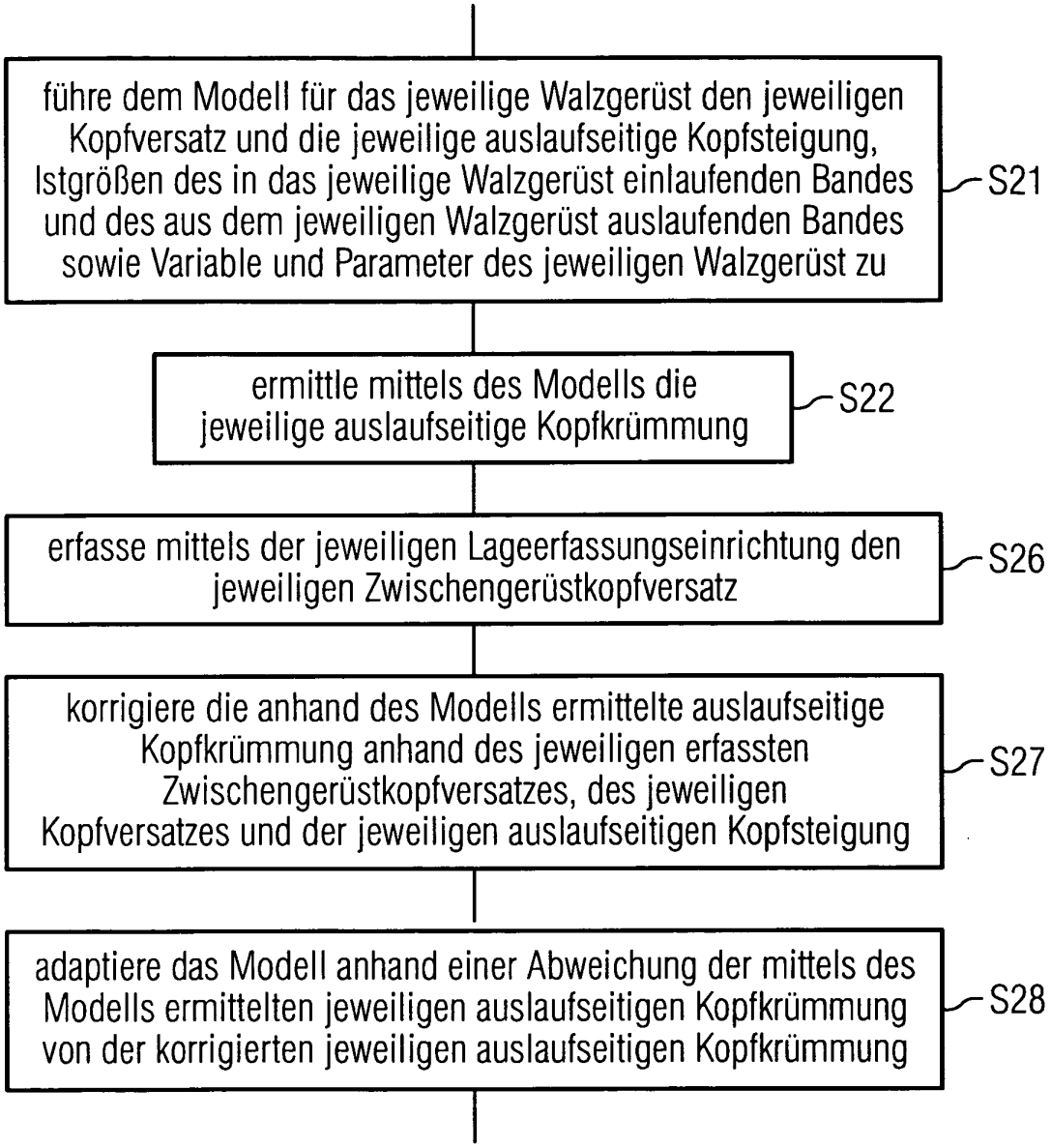

G
L
x
1
1
V"(x)=K/2 x2+SAx+V
8
9
2
12
7
b
10
12
S
SA=vE/vA·SE
S
VZ, VZ'
V
SA
Istgrößen
Band
Variable und
Parameter
des Walzgerüsts
K
K=2ΔvA/b·vA
vA·hA=vE·hE ==> ΔvA=vE·hE/hA·(ΔvE/vE+ΔhE/hE−ΔhA/hA)
FW+ΔFW=FW+(ΔhA-Δs)·cG+FW·ΔcG/cG
FW+ΔFW=FW+∂FW/∂hE·ΔhE+∂FW/∂hA·ΔhA+∂FW/∂σE·ΔσE+
∂FW/∂σA·ΔσA+∂FW/∂kF·ΔkF+∂FW/∂kF·∂kF/∂T·ΔT+∂FW/∂μ·Δμ+∂FW/∂y·Δy
ΔhA=(Δs+FW/cG2 ΔCG+1/cG(∂FW/∂hE ΔhE+∂FW/∂σE ΔσE+∂FW/∂σA ΔσA+...+∂FW/∂y Δy))/(1-1/cG·∂FW/∂hA)
3
13

FIG 12


führe dem Modell für das jeweilige Walzgerüst den jeweiligen Kopfversatz und die jeweilige auslaufseitige Kopfsteigung, Istgrößen des in das jeweilige Walzgerüst einlaufenden Bandes und des aus dem jeweiligen Walzgerüst auslaufenden Bandes sowie Variable und Parameter des jeweiligen Walzgerüst zu
S21
ermittle mittels des Modells die jeweilige auslaufseitige Kopfkrümmung
S22
erfasse mittels der jeweiligen Lageerfassungseinrichtung den jeweiligen Zwischengerüstkopfversatz
S26
korrigiere die anhand des Modells ermittelte auslaufseitige Kopfkrümmung anhand des jeweiligen erfassten Zwischengerüstkopfversatzes, des jeweiligen Kopfversatzes und der jeweiligen auslaufseitigen Kopfsteigung
S27
adaptiere das Modell anhand einer Abweichung der mittels des Modells ermittelten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung von der korrigierten jeweiligen auslaufseitigen Kopfkrümmung
S28

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP 63123511 A **[0008]**
- EP 0684091 A1 **[0008]**
- JP 63171213 A **[0009]**
- DE 102004043790 A1 **[0010]**