



(11)

EP 3 936 248 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.01.2022 Patentblatt 2022/02

(51) Int Cl.:
B21B 37/16 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20184420.6**

(22) Anmeldetag: 07.07.2020

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

- Kotzian, Daniel
91301 Forchheim (DE)
- Schönherr, Martin
91301 Forchheim (DE)
- Sekulic, Srdan
91058 Erlangen (DE)

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91058 Erlangen (DE)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(72) Erfinder:
• **Dressler, Matthias**
91052 Erlangen (DE)

(54) **WALZEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON FREQUENZVERHALTEN**

(57) Einem Walzgerüst (2) einer Walzanlage wird (2) einer vorgeordneten Zuführeinrichtung (3) mit einer Einlaufgeschwindigkeit (v) ein Metallband (1) zugeführt, das in dem Walzgerüst (2) gewalzt wird. Eine Messeinrichtung (4) zwischen der Zuführeinrichtung (3) und dem Walzgerüst (2) erfasst für aufeinanderfolgende Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils einen Dickenwert (d) des Metallbandes (1) und führt ihn einer Steuereinrichtung (6) der Walzanlage zu. Die Steuereinrichtung (6) ermittelt anhand der Abweichung des jeweiligen Dickenwertes (d) von einer Solldicke (d^*) für den jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) eine jeweilige vorläufige Dickenabweichung (δd) und anhand der vorläufigen Dickenabweichungen (δd) endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$). Die Steuereinrichtung (6) ermittelt für die Abschnitte (9) des Metallbandes (1) anhand der endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) des jeweiligen Abschnitts (9) des Metallbandes (1) sowie der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) von mehreren vorhergehenden und/oder nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) unter Berücksichtigung einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) jeweils einen Ansteuerwert (A_2 , A_3) für das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3). Sie gibt den jeweiligen Ansteuerwert (A_2 , A_3) zeitrichtig an das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3) aus.

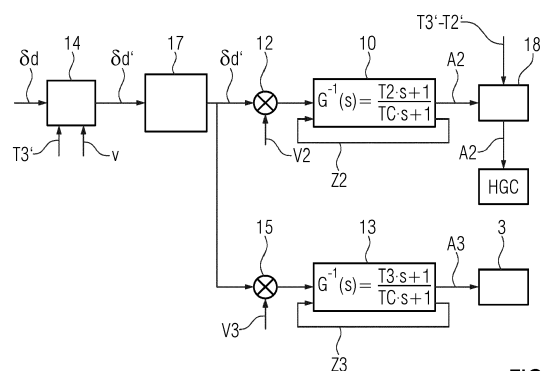


FIG 6

Beschreibung

Gebiet der Technik

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Walzanlage,

- wobei einem Walzgerüst der Walzanlage von einer dem Walzgerüst vorgeordneten Zuführeinrichtung mit einer Einlaufgeschwindigkeit ein Metallband zugeführt wird,
- wobei das Metallband in dem Walzgerüst gewalzt wird,
- 10 - wobei mittels einer zwischen der Zuführeinrichtung und dem Walzgerüst angeordneten Messeinrichtung für aufeinanderfolgende Abschnitte des Metallbandes jeweils ein Dickenwert für die Dicke des Metallbandes erfasst wird,
- wobei die erfassten Dickenwerte einer Steuereinrichtung der Walzanlage zugeführt werden,
- wobei die Steuereinrichtung anhand der Abweichung des jeweiligen Dickenwertes von einer Solldicke für den jeweiligen Abschnitt des Metallbandes eine jeweilige vorläufige Dickenabweichung ermittelt,
- 15 - wobei die Steuereinrichtung anhand der vorläufigen Dickenabweichungen endgültige Dickenabweichungen ermittelt,
- wobei die Steuereinrichtung für die Abschnitte des Metallbandes jeweils einen Ansteuerwert für das Walzgerüst und/oder die Zuführeinrichtung ermittelt und den jeweiligen Ansteuerwert zeitrichtig an das Walzgerüst und/oder die Zuführeinrichtung ausgibt.

20 **[0002]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Steuerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für eine Walzanlage abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

25 **[0003]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Walzanlage, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Steuerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes,

- 30 - wobei die Walzanlage zumindest ein Walzgerüst, eine dem Walzgerüst vorgeordnete Zuführeinrichtung, eine zwischen der Zuführeinrichtung und dem Walzgerüst angeordnete Messeinrichtung und eine Steuereinrichtung aufweist,
- wobei das Metallband dem Walzgerüst von der Zuführeinrichtung mit einer Einlaufgeschwindigkeit zugeführt wird,
- wobei das Metallband in dem Walzgerüst gewalzt wird,
- 35 - wobei von der Messeinrichtung für aufeinanderfolgende Abschnitte des Metallbandes jeweils ein Dickenwert für die Dicke des Metallbandes erfasst wird,
- wobei die erfassten Dickenwerte der Steuereinrichtung zugeführt werden,
- wobei die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

40 **[0005]** Beim Herstellen von Metallband wird nach dem Gießen einer Bramme die Bramme zunächst warmgewalzt, so dass ein Warmband entsteht. Die Dicke des Warmbandes liegt meist im Bereich von wenigen Millimetern, je nach Herstellungsverfahren manchmal auch etwas darüber oder darunter, beispielsweise zwischen 1,0 mm und 20 mm bei einer normalen Warmwalzanlage und zwischen 0,6 mm und 6 mm bei einer sogenannten ESP-Anlage. In manchen Fällen wird das Warmband ohne weitere Dickenreduzierung weiter verarbeitet. In anderen Fällen wird die Banddicke nach dem Warmwalzen in einem Kaltwalzwerk noch weiter reduziert. Ziel des Kaltwalzens ist die Herstellung eines kaltgewalzten Metallbandes, dessen finale Dicke so gut wie möglich und mit möglichst geringer Abweichung mit einer Zieldicke übereinstimmt.

45 **[0006]** In der Regel weist das fertige Warmband - also nach dem Warmwalzen, aber vor dem Walzen in dem Kaltwalzwerk - Dickenabweichungen auf. Die Dickenabweichungen weisen oftmals sowohl periodische Anteile als auch stochastische Anteile auf. Werden diese Abweichungen nicht kompensiert, weist das Metallband auch nach dem Kaltwalzen derartige Abweichungen auf. Das absolute Ausmaß der Abweichungen ist zwar geringer als beim Warmband, die relative Abweichung bleibt jedoch erhalten. Wenn also - beispielsweise - das Metallband vor dem Kaltwalzen eine Dicke von 3,0 mm und Dickenabweichungen im Bereich von 30 μm aufweist und weiterhin das Metallband nach dem Kaltwalzen eine Dicke von 1,0 mm aufweist, so weist das Metallband ohne Kompensation der Dickenabweichungen nach dem Kaltwalzen Dickenabweichungen im Bereich von 10 μm auf.

Stand der Technik

[0007] Zum Kompensieren derartiger Abweichungen sind im Stand der Technik verschiedene Vorgehensweisen bekannt.

[0008] So ist beispielsweise aus der EP 0 435 595 A2 bekannt, auslaufseitig eines Walzgerüsts die Dicke des gewalzten Metallbandes zu erfassen und eine Dickenregelung des Walzgerüsts vorzunehmen. Weiterhin werden Zugschwankungen kompensiert, da auch diese die Dicke des gewalzten Metallbandes beeinflussen. Um eine relativ hochdynamische Regelung des Zuges zu erreichen, sind zwischen der Zuführeinrichtung und dem Walzgerüst einerseits sowie zwischen dem Walzgerüst und einer dem Walzgerüst nachgeordneten Aufnahmeeinrichtung andererseits Rollen oder ähnliche Elemente vorhanden, mittels derer das Metallband vor und/oder nach dem Walzen in dem Walzgerüst ausgelenkt werden kann. Die Vorgehensweise der EP 0 435 595 A2 basiert auf dem Gedanken, dass die Regelung durch die Zuführeinrichtung selbst und die Aufnahmeeinrichtung selbst sehr träge ist und durch die zusätzlichen Rollen die Dynamik der Regelung erhöht werden kann. In der EP 0 435 595 A2 wird auch eine Vorgehensweise beschrieben, bei welcher einlaufseitig des Walzgerüsts die Dicke und die Geschwindigkeit des Metallbandes erfasst und im Rahmen der Ermittlung der Anstellung des Walzgerüsts verwertet werden.

[0009] Aus der EP 3 332 883 A1 ist ebenfalls bekannt, auslaufseitig eines Walzgerüsts die Dicke des gewalzten Metallbandes zu erfassen und eine Dickenregelung des Walzgerüsts vorzunehmen. Periodische Abweichungen werden von stochastischen Abweichungen separiert. Periodische Abweichungen werden als durch Exzentrizitäten der Walzen des Walzgerüsts verursacht angesehen. Entsprechend erfolgt die Korrektur der Anstellung des Walzgerüsts.

[0010] Bei der JP 58 068 414 A wird einlaufseitig des Walzgerüsts die Dicke des noch ungewalzten Metallbandes erfasst und über gewisse Längeneinheiten gemittelt. Der Mittelwert wird für die Ansteuerung der Anstellung des Walzgerüsts verwertet.

Zusammenfassung der Erfindung

[0011] Mittels der Vorgehensweisen des Standes der Technik lassen sich Abweichungen der Eingangsdicke bereits in gewissem Umfang kompensieren. Die Vorgehensweisen des Standes der Technik sind aber noch verbesserungsfähig.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer eine exzellente Kompensation von einlaufseitigen Dickenabweichungen des Metallbandes erreicht werden kann.

[0013] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren für eine Walzanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 8.

[0014] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Ansteuerwert anhand der endgültigen Dickenabweichung des jeweiligen Abschnitts des Metallbandes sowie der endgültigen Dickenabweichungen einer Mehrzahl von dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes vorhergehenden und/oder nachfolgenden Abschnitten des Metallbandes unter Berücksichtigung einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung ermittelt.

[0015] Von den Erfindern wurde erkannt, dass das Ausmaß, in dem eine bestimmte Dickenabweichung korrigiert wird, nicht nur von der Dickenabweichung selbst abhängt, sondern auch von dem Spektrum der Dickenabweichungen. Insbesondere werden in der Regel höherfrequente Dickenabweichungen nur in geringerem Umfang und mit einem größeren Phasenverzug kompensiert als Dickenabweichungen mit einer niedrigeren Frequenz. Um auch höherfrequente Dickenabweichungen in vollem Umfang und ohne Phasenverzug kompensieren zu können, muss daher das Frequenzverhalten der geregelten Einrichtung - in der Regel sind dies die Anstellung des Walzgerüsts für die Größe des Walzspaltes und die Zuführeinrichtung für die Einlaufgeschwindigkeit und/oder die Größe des einlaufseitigen Zuges - berücksichtigt werden. Gegebenenfalls weist auch die Messwerterfassung ein Frequenzverhalten auf, das in diesem Fall ebenfalls mit berücksichtigt werden kann. Die Berücksichtigung erfolgt anhand einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung.

[0016] Für die Art und Weise der Berücksichtigung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Der derzeit bevorzugte Weg besteht darin,

- dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung der Steuereinrichtung durch ein inverses Modell vorgegeben ist,
- dass dem inversen Modell jeweils die endgültige Dickenabweichung eines Abschnitts des Metallbandes zugeführt wird und
- dass die Steuereinrichtung unter Verwertung der jeweiligen endgültigen Dickenabweichung mittels des inversen Modells zum einen einen internen Zustand des inversen Modells nachführt und zum anderen den jeweiligen Ansteuerwert ermittelt.

[0017] Diese Vorgehensweise ist mit dem geringsten Rechenaufwand verbunden.

[0018] Alternativ ist es möglich, dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung der Steuereinrichtung als Frequenzgang vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Ansteuerwert durch eine Transformation des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen in den Frequenzbereich, eine nachfolgende Multiplikation des transformierten Verlaufs der endgültigen Dickenabweichung mit dem Frequenzgang und eine nachfolgende Rücktransformation in den Zeitbereich ermittelt. Diese Vorgehensweise führt zu besonders hochwertigen Ergebnissen.

[0019] Es ist allgemein bekannt, dass eine Multiplikation im Frequenzbereich einer Faltung im Zeitbereich entspricht. Es ist daher alternativ möglich und völlig gleichwertig, dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung der Steuereinrichtung als Faltungskern vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Ansteuerwert durch eine Faltung des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen mit dem Faltungskern ermittelt.

[0020] Die Erfassung des Frequenzgangs und hierauf aufbauend die Ermittlung bzw. Parametrierung des inversen Modells oder die Ermittlung der Verstärkungen für die einzelnen Frequenzbereiche oder die Ermittlung des Faltungskerns können automatisiert erfolgen. Insbesondere können im laufenden Betrieb der Walzanlage dem Walzspaltsollwert des Walzgerüsts definierte kleine Störungen eingepreßt werden. Diese Störungen spiegeln sich auslaufseitig des Walzgerüsts in korrespondierenden Schwankungen der auslaufseitigen Dicke des Metallbandes wider. Sofern dem Walzgerüst eine Messeinrichtung nachgeordnet ist, mittels derer diese auslaufseitige Dicke erfasst wird, kann durch eine kombinierte Auswertung der eingepreßten Störungen einerseits und der Schwankungen der auslaufseitigen Dicke andererseits in automatisierter Weise der Frequenzgang ermittelt werden. Dies ist Fachleuten prinzipiell bekannt.

[0021] Vorzugsweise verwertet die Steuereinrichtung zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes sowohl endgültige Dickenabweichungen von dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes vorhergehenden Abschnitten des Metallbandes als auch endgültige Dickenabweichungen von dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes nachfolgenden Abschnitten des Metallbandes. Dadurch ist die Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes besonders zuverlässig. Dies gilt ganz besonders dann, wenn die Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes vorhergehenden Abschnitten des Metallbandes, deren endgültige Dickenabweichungen die Steuereinrichtung zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes verwertet, im wesentlichen gleich der Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes nachfolgenden Abschnitten des Metallbandes ist, deren endgültige Dickenabweichungen die Steuereinrichtung zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes verwertet.

[0022] Im einfachsten Fall übernimmt die Steuereinrichtung die vorläufigen Dickenabweichungen 1:1 als endgültige Dickenabweichungen. Vorzugsweise jedoch ermittelt die Steuereinrichtung die endgültigen Dickenabweichungen aus den vorläufigen Dickenabweichungen mittels einer Nullphasenfilterung. Diese Vorgehensweise führt zu einem stabileren und robusteren Betrieb des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung. Dies gilt ganz besonders dann, wenn mittels derer Nullphasenfilterung eine Tiefpassfilterung der vorläufigen Dickenabweichungen durchgeführt wird.

[0023] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Steuerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms, dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0024] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Steuerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0025] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Walzanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Erfindungsgemäß betreibt die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0026] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

- FIG 1 eine Walzanlage,
- FIG 2 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 3 ein Metallband,
- FIG 4 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 5 einen strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung,
- FIG 6 einen weiteren strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung,
- FIG 7 einen Frequenzgang,
- FIG 8 einen weiteren strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung,

FIG 9 einen Faltungskern und

FIG 10 einen weiteren strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0027] Gemäß FIG 1 weist eine Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes 1 ein Walzgerüst 2 auf. In dem Walzgerüst 2 wird das Metallband 1 gewalzt. Das Walzgerüst 2 kann insbesondere ein Kaltwalzgerüst sein, in dem folglich ein Kaltwalzen des Metallbandes 1 erfolgt. Von dem Walzgerüst 2 sind in FIG 1 nur die Arbeitswalzen dargestellt. In der Regel umfasst das Walzgerüst 2 zusätzlich zumindest zwei Stützwalzen (Quartogerüst), in manchen Fällen auch noch mehr Walzen. Beispielsweise kann das Walzgerüst 2 als Sextogerüst (zwei Arbeitswalzen, zwei Zwischenwalzen, zwei Stützwalzen) oder als 12-Rollen-Walzgerüst oder als 20-Rollen-Walzgerüst ausgebildet sein. Das Metallband 1 kann aus Stahl, aus Aluminium oder aus einem anderen Metall bestehen, beispielsweise aus Kupfer oder aus Messing.

[0028] Die Walzanlage weist weiterhin eine Zuführeinrichtung 3 auf. Die Zuführeinrichtung 3 ist dem Walzgerüst 2 vorgeordnet. Von der Zuführeinrichtung 3 wird das Metallband 1 dem Walzgerüst 2 mit einer Einlaufgeschwindigkeit v zugeführt. Die Zuführeinrichtung 3 ist gemäß FIG 1 als Haspel ausgebildet. Sie könnte aber auch anders ausgebildet sein, beispielsweise als Treiber oder als weiteres, vom Walzgerüst 2 verschiedenes Walzgerüst. Die Zuführeinrichtung 3 kann auch als sogenannte S-Rolle ausgebildet sein, also mehrere Rollen, über welche das Metallband 1 im Ergebnis S-förmig geführt wird.

[0029] Genau genommen müssten die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 in das Walzgerüst 2 einläuft, und die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 von der Zuführeinrichtung 3 ausgegeben wird (beispielsweise abgehaspelt wird) voneinander unterschieden werden. Die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 in das Walzgerüst 2 einläuft, ist durch die Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswalzen des Walzgerüsts 2 und die Nacheilung im Walzgerüst 2 bestimmt. Die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 von der Zuführeinrichtung 3 ausgegeben wird, ist beispielsweise im Falle eines Haspels durch die Drehzahl, mit welcher der Haspel das Coil rotiert, und den aktuellen, sich zeitlich ändernden Durchmesser des Coils bestimmt. Kurzzeitig können geringfügige Unterschiede zwischen diesen beiden Geschwindigkeiten bestehen. Sofern derartige kurzzeitige Unterschiede bestehen, ändert sich der Zug, der im Metallband 1 zwischen der Zuführeinrichtung 3 und dem Walzgerüst 2 herrscht. Nachfolgend wird jedoch nur von der Einlaufgeschwindigkeit v gesprochen. Sofern nicht explizit erwähnt, ist nachstehend im Zweifelsfall die Geschwindigkeit gemeint, mit der das Metallband 1 von der Zuführeinrichtung 3 ausgegeben wird.

[0030] Zwischen der Zuführeinrichtung 3 und dem Walzgerüst 2 ist eine Messeinrichtung 4 angeordnet. Mittels der Messeinrichtung 4 wird iterativ immer wieder ein Dickenwert d für die Dicke des Metallbandes 1 erfasst. Weiterhin kann zusätzlich eine weitere Messeinrichtung 5 vorhanden sein, mittels derer immer wieder ein Messwert für die Einlaufgeschwindigkeit v erfasst wird.

[0031] Der jeweils erfasste Dickenwert d und gegebenenfalls auch der jeweils erfasste Wert für die Einlaufgeschwindigkeit v werden einer Steuereinrichtung 6 zugeführt, die ebenfalls Bestandteil der Walzanlage ist. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt immer wieder einen Ansteuerwert A_2 , A_3 für das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3. In der Regel ermittelt die Steuereinrichtung 6 beide Ansteuerwerte A_2 , A_3 .

[0032] Der Ansteuerwert A_2 für das Walzgerüst 2 wirkt in aller Regel zumindest auf die Anstellung des Walzgerüsts 2, also die Einstellung des Walzspalts. Beispielsweise kann der jeweilige Ansteuerwert A_2 an eine sogenannte HGC (= hydraulic gap control) ausgegeben werden. Alternativ kann der Ansteuerwert A_2 auf den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 wirken, also das Walzmoment oder die Walzgeschwindigkeit ändern. Oftmals wirkt der Ansteuerwert A_2 sowohl auf die Anstellung des Walzgerüsts 2 als auch auf dessen Hauptantrieb. In diesem Fall kann der Ansteuerwert A_2 für das Walzgerüst 2 als Vektorgröße angesehen werden, der jeweils eine Komponente für die Anstellung des Walzgerüsts 2 und für den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 aufweist.

[0033] Der Ansteuerwert A_3 wird einer Drehzahl- oder Drehmomentregelung für die Zuführeinrichtung 3 zugeführt und wirkt auf die Einlaufgeschwindigkeit v und/oder auf den Zug, der einlaufseitig des Walzgerüsts 2 im Metallband 1 herrscht. Soweit erforderlich, müssen im Rahmen der Ansteuerung der Zuführeinrichtung 3 auch weitere, der Zuführeinrichtung 3 vorgeordnete Einrichtungen mit angesteuert werden. Die Berücksichtigung derartiger weiterer Einrichtungen macht die Berechnung des Ansteuerwertes A_3 zwar komplexer, ändert aber nichts am Prinzip der vorliegenden Erfindung.

[0034] Die Steuereinrichtung 6 ist mit einem Steuerprogramm 7 programmiert. Das Steuerprogramm 7 umfasst Maschinencode 8, der von der Steuereinrichtung 6 abarbeitbar ist. Die Programmierung der Steuereinrichtung 6 mit dem Steuerprogramm 7 bzw. die Abarbeitung des Maschinencodes 8 durch die Steuereinrichtung 6 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 6 die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird. Hierbei wird zunächst auf FIG 2 und sodann auf die FIG 3 und 4 Bezug genommen.

[0035] Gemäß FIG 2 nimmt die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S1 den jeweils erfassten Dickenwert d und gegebenenfalls auch den jeweils erfassten Wert für die Einlaufgeschwindigkeit v entgegen. In einem Schritt S2 ermittelt die Steuereinrichtung 6 die Abweichung δd des erfassten Dickenwertes d von einer Soll Dicke d^* , nachfolgend kurz als

Dickenabweichung δd bezeichnet.

[0036] Die im Schritt S2 ermittelte Dickenabweichung δd ist nur eine vorläufige Dickenabweichung δd . In einem Schritt S3 ermittelt die Steuereinrichtung 6 anhand der vorläufigen Dickenabweichung δd eine jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$. Im einfachsten Fall ist der Schritt S3 trivialer Natur. In diesem Fall übernimmt die Steuereinrichtung 6 die vorläufigen Dickenabweichungen δd 1:1 als endgültige Dickenabweichungen $\delta d'$.

[0037] Vorzugsweise erfolgt jedoch eine echte Ermittlung, so dass die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ aus den vorläufigen Dickenabweichungen δd mittels einer nicht trivialen Ermittlungsvorschrift ermittelt werden. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 zur Ermittlung der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ im Schritt S3 eine Nullphasenfilterung durchführen. Mittels einer Nullphasenfilterung wird aus einem ursprünglichen Verlauf von Werten (hier dem zeitlichen Verlauf der vorläufigen Dickenabweichungen δd) ein gefilterter Verlauf von Werten (hier der zeitliche Verlauf der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$) ermittelt, wobei zwischen dem ursprünglichen Verlauf und dem gefilterten Verlauf kein systematischer Phasenversatz auftritt. In der Regel und auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist die Nullphasenfilterung eine Tiefpassfilterung, so dass also hochfrequente Schwankungen ausgefiltert werden. Insbesondere die Tiefpassfilterung verbessert deutlich die Stabilität der inversen Modellierung des Walzgerüsts 2, der Zuführeinrichtung 3 und/oder der Messeinrichtung 4.

[0038] Für eine Nullphasenfilterung müssen auch die vorläufigen Dickenabweichungen δd von Abschnitten 9 bekannt sein, die demjenigen Abschnitt 9, dessen endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ ermittelt werden soll, nachfolgen. Im Falle einer Nullphasenfilterung wird der Schritt S3 daher für einen anderen Abschnitt 9 ausgeführt, dessen vorläufige Dickenabweichung δd bereits erfasst ist.

[0039] Nullphasenfilterungen sind Fachleuten allgemein bekannt. Rein beispielhaft kann die sogenannte IIR (= infinite impulse response) genannt werden. Eine andere Möglichkeit zur Implementierung einer Nullphasenfilterung ist eine Faltung der vorläufigen Dickenabweichungen δd mit einer symmetrischen Impulsantwort eines FIR-Filters (FIR = finite impulse response). In einem Schritt S4 ermittelt die Steuereinrichtung 6 unter Verwertung der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ die Ansteuerwerte A2, A3. In einem Schritt S5 gibt die Steuereinrichtung 6 die Ansteuerwerte A2, A3 an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 aus. Danach geht die Steuereinrichtung 6 zum Schritt S1 zurück.

[0040] Die obenstehend in Verbindung mit FIG 2 erläuterten Vorgehensweise wird also zyklisch immer wieder ausgeführt. Meist wird sie sogar streng getaktet ausgeführt, also mit einer festen Zykluszeit T von beispielsweise 8 ms.

[0041] Nachstehend wird die erfindungsgemäße Vorgehensweise in Verbindung mit den FIG 3 und 4 nochmals detaillierter erläutert.

[0042] FIG 3 zeigt das Metallband 1 von oben. Das Metallband 1 ist virtuell in Abschnitte 9 unterteilt. Manche der Abschnitte 9 sind in FIG 3 zusätzlich zum Bezugszeichen 9 mit einem kleinen Buchstaben (beispielsweise a, b usw.) ergänzt, um individuell auf sie referenzieren zu können.

[0043] Bei jedem Zyklus, also bei jeder Abarbeitung des Schrittes S1, wird für einen bestimmten Abschnitt 9 - beispielsweise den Abschnitt 9a - dessen Dickenwert d erfasst und der Steuereinrichtung 6 zugeführt. Der erfasste Dickenwert d, die zugehörige vorläufige Dickenabweichung δd und die zugehörige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ sind also auf diesen Abschnitt 9a bezogen.

[0044] Während desselben Zyklus wird ein anderer Abschnitt 9 - beispielsweise der Abschnitt 9b - in dem Walzgerüst 2 gewalzt. Der geometrische Abstand der Abschnitte 9a und 9b auf dem Metallband 1 entspricht dem geometrischen Abstand a der Messeinrichtung 4 vom Walzgerüst 2.

[0045] Zum Fördern des Abschnitts 9a von der Messeinrichtung 4 zum Walzgerüst 2 wird eine bestimmte Zeitspanne T' benötigt. Diese Zeitspanne T' wird meist als Transportzeit bezeichnet. Sie ist durch die Einlaufgeschwindigkeit v des Metallbandes 1 und den Abstand a der Messeinrichtung 4 vom Walzgerüst 2 bestimmt. Bei konstanter Einlaufgeschwindigkeit v gilt die Beziehung $T' = a/v$.

[0046] Die Zeitspanne T' ist in aller Regel erheblich größer als die Zykluszeit T. Zwischen den Abschnitten 9a und 9b befindet sich daher eine Anzahl weiterer Abschnitte 9, beispielsweise der Abschnitt 9c. Für diese Abschnitte 9 wurde der jeweilige Dickenwert d bereits vor dem Walzen des Abschnitts 9b erfasst. Weiterhin weist das Metallband 1 Abschnitte 9 auf, die bereits in dem Walzgerüst 2 gewalzt wurden, beispielsweise den Abschnitt 9d.

[0047] Aufgrund des Umstands, dass zum Fördern eines jeweiligen Abschnitts 9 von der Messeinrichtung 4 zum Walzgerüst 2 die Zeitspanne T' benötigt wird, ist es möglich, in einem bestimmten Zyklus im Schritt S1 zwar den Dickenwert d für den Abschnitt 9a zu erfassen und für diesen Abschnitt 9a die vorläufige Dickenabweichung δd ermitteln, im Schritt S4 jedoch die Ansteuerwerte A2, A3 für beispielsweise den Abschnitt 9c zu ermitteln und weiterhin im Schritt S5 die im Schritt S4 ermittelten Ansteuerwerte A2, A3 an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 auszugeben. Gegebenenfalls können auch Ansteuerwerte A2, A3 an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 ausgegeben werden, die bereits zuvor für einen Abschnitt 9 zwischen dem Abschnitt 9c und dem Abschnitt 9b ermittelt wurden. Im letztgenannten Fall ist lediglich erforderlich, die im jeweiligen Zyklus erfassten Dickenwerte d, die im jeweiligen Zyklus ermittelten Dickenabweichungen δd , $\delta d'$ und die im jeweiligen Zyklus ermittelten Ansteuerwerte A2, A3 dem jeweiligen Abschnitt 9 zuzuordnen und eine Wegverfolgung der Abschnitte 9 durchzuführen. Die entsprechende Vorgehensweise ist in FIG 4 dadurch angedeutet, dass in den Schritten S1 bis S5 der jeweilige Abschnitt 9a, 9b, 9c mit angegeben ist,

für den der jeweilige Schritt S1 bis S5 ausgeführt wird. Der Grund dafür, dass die von der Steuereinrichtung 6 ausgegebenen Ansteuerwerte A2, A3 nicht auf den Abschnitt 9b, sondern auf den Abschnitt 9c oder einen Abschnitt 9 zwischen dem Abschnitt 9b und dem Abschnitt 9c bezogen sind, besteht darin, dass gewisse Totzeiten des Walzgerüsts 2 und/oder der Zuführeinrichtung 3 berücksichtigt werden müssen.

[0048] Die Implementierung einer Wegverfolgung ist Fachleuten allgemein bekannt. Dadurch ist es somit möglich, die Ansteuerwerte A2, A3 zeitrichtig an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 auszugeben. Zeitrichtig bedeutet im Rahmen der vorliegenden Erfindung, dass an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 ausgegebene Ansteuerwerte A2, A3 zu einem Zeitpunkt auf das Metallband 1 wirken, zu dem der jeweilige Abschnitt 9 des Metallbandes 1 in dem Walzgerüst 2 gewalzt wird. Hierbei können nach Bedarf die Zeitspanne T' und gegebenenfalls auch Reaktionszeiten (Totzeiten) des Walzgerüsts 2 und/oder der Zuführeinrichtung 3 berücksichtigt werden. Die Reaktionszeiten sind Zeiten, die das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 zum Reagieren auf einen neu zugeführten Ansteuerwert A2, A3 benötigen. Weiterhin können auch Totzeiten berücksichtigt werden, die in der Kommunikation verschiedener Einrichtungen miteinander oder in der Automatisierung auftreten. Die Ermittlung der Ansteuerwerte A2, A3 muss selbstverständlich vor dem Ausgeben abgeschlossen sein.

[0049] Aufgrund des Umstands, dass für die Abschnitte 9 zwischen dem Abschnitt 9a und dem Abschnitt 9c bereits der jeweilige Dickenwert d erfasst ist und demzufolge auch die jeweilige vorläufige Dickenabweichung δd bekannt ist und weiterhin zumindest für die an den Abschnitt 9c in Richtung auf den Abschnitt 9a angrenzenden Abschnitte 9 auch die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ bekannt sind, ist es möglich, beispielsweise für die Ermittlung der Ansteuerwerte A2, A3 für den Abschnitt 9c nicht nur die endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ des Abschnitts 9c zu berücksichtigen, sondern zusätzlich auch beliebige der anderen endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$, sofern sie nur bereits ermittelt sind. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 zusätzlich zur Dickenabweichung $\delta d'$ des Abschnitts 9c die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ von mehreren benachbarten Abschnitten 9 zum Abschnitt 9a hin berücksichtigen. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuereinrichtung 6 zusätzlich zur Dickenabweichung $\delta d'$ des Abschnitts 9c die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ von mehreren benachbarten Abschnitten 9 zum Abschnitt 9b hin und gegebenenfalls auch über den Abschnitt 9b hinaus berücksichtigen.

[0050] Im Rahmen der Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A2, A3 berücksichtigt die Steuereinrichtung 6 weiterhin eine Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts 2 und/oder der Zuführeinrichtung 3 und/oder der Messeinrichtung 4. Der Steuereinrichtung 6 ist also eine Beschreibung vorgegeben, die das entsprechende Frequenzverhalten als solches direkt charakterisiert. Anders ausgedrückt: Anhand der genannten Beschreibung kann das Frequenzverhalten ermittelt werden. Möglichkeiten für die Vorgabe der Beschreibung des Frequenzverhaltens werden nachstehend näher erläutert. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt also nicht nur den jeweiligen Ansteuerwert A2, A3 auf eine Art und Weise, mittels derer das entsprechende inverse Frequenzverhalten berücksichtigt wird. Vielmehr kennt die Steuereinrichtung 6 explizit das entsprechende inverse Frequenzverhalten als solches. Der Steuereinrichtung 6 sind also Kenngrößen bekannt, die das inverse Frequenzverhalten definieren. Dies wird nachstehend in Verbindung mit dem Walzgerüst 2 näher erläutert. Für die Zuführeinrichtung 3 und gegebenenfalls auch die Messeinrichtung 4 gelten jeweils analoge Ausführungen.

[0051] Das Walzgerüst 2 kann auf verschiedene Art und Weise modelliert werden. Im einfachsten Fall wird das Walzgerüst 2 als PT1-Glied modelliert. Alternativ kommt eine Modellierung höherer Ordnung in Frage. Die Modellierung beschreibt das Walzgerüst 2 als solches, gegebenenfalls einschließlich seiner Steuerung. Die Transportzeit, also die Zeitspanne T', ist hingegen nicht Bestandteil der Modellierung.

[0052] Das Frequenzverhalten des Walzgerüsts 2 kann beispielsweise durch eine Übertragungsfunktion beschrieben werden. Wenn - wie allgemein üblich - mit G die Übertragungsfunktion als solche und mit Buchstabe s der Laplace-Operator bezeichnet wird, lässt sich die Übertragungsfunktion G(s) schreiben als

$$G(s) = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0}{c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0} \quad (1)$$

[0053] Hierbei sind b_i (mit $i = 1, 2, \dots, m$) und c_j (mit $j = 1, 2, \dots, n$) konstante Koeffizienten. Der Grad m des Zählerpolynoms ist maximal so groß wie der Grad n des Nennerpolynoms. Wenn das Walzgerüst 2 als PT1-Glied modelliert wird, ergibt sich die Übertragungsfunktion G(s) beispielsweise als

$$G(s) = \frac{1}{T_2 \cdot s + 1} \quad (2)$$

wobei T2 eine charakteristische Zeitkonstante des Walzgerüsts 2 ist.

[0054] Für die zugehörige inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ gilt im allgemeinen Fall

$$G^{-1}(s) = \frac{1}{G(s)} = \frac{c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0}{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0} \quad (3)$$

[0055] Das inverse Übertragungsverhalten $G^{-1}(s)$ ist somit eindeutig definiert. Wenn das Walzgerüst 2 als PT1-Glied modelliert wird, ergibt sich die zugehörige inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ exakt zu

$$G^{-1}(s) = \frac{T2 \cdot s + 1}{1} \quad (4)$$

[0056] Wenn die inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ exakt modelliert wird, wird das modellierte Verhalten des Walzgerüsts 2 jedoch oftmals instabil. In manchen Fällen kann sogar das Verhalten des realen Walzgerüsts 2 instabil werden. Beispielsweise ergibt die Inverse eines PT1-Gliedes ein PD-Glied. Ein PD-Glied verstärkt hohe Frequenzen extrem. Auch kann das theoretisch ermittelbare Ausgangssignal eines PD-Gliedes in der Realität nicht umgesetzt werden. Die Ursache hierfür sind Stellbegrenzungen der Stellglieder, hier des Walzgerüsts 2. Zur Gewährleistung der Stabilität und Realisierbarkeit erweitert man das Nennerpolynom der inversen Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ um einen Anteil, der proportional der höchsten Potenz von s im Zähler der inversen Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ ist. Dies ist Fachleuten vom Ansatz her bekannt. Es kann diesbezüglich auf das Fachbuch "Stabile Neuronale Online Identifikation und Kompensation statischer Nichtlinearitäten" von Thomas Frenz verwiesen werden. Die tatsächlich verwendete inverse Modellierung des Frequenzverhalten des Walzgerüsts 2 wird somit durch eine modifizierte inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ beschrieben, welche die Form

$$G^{-1}(s) = \frac{T2 \cdot s + 1}{TC \cdot s + 1} \quad (5)$$

aufweist. TC ist eine kleine Zeit, also eine Zeit, die erheblich kleiner als die charakteristische Zeitkonstante $T2$ des Walzgerüsts 2 ist. Je kleiner die Zeit TC gewählt werden kann, desto besser ist die Modellierung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts 2. In der Praxis wird die Zeit TC gleich der Zykluszeit T oder in etwa gleich der Zykluszeit T gewählt werden.

[0057] Analoge Ausführungen gelten, wie bereits erwähnt, für die Zuführeinrichtung 3. Wenn, analog zum Walzgerüst 2, die Zuführeinrichtung 3 durch ein PT1-Glied modelliert wird, ergibt sich die inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ für die Zuführeinrichtung 3 durch eine modifizierte inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ beschrieben, welche die Form

$$G^{-1}(s) = \frac{T3 \cdot s + 1}{TC \cdot s + 1} \quad (6)$$

wobei $T3$ eine charakteristische Zeitkonstante der Zuführeinrichtung 3 ist.

[0058] Aufgrund obiger Sachverhalte ist es möglich, der Steuereinrichtung 6 entsprechend der Darstellung in FIG 5 ein entsprechendes inverses Modell 10 des Walzgerüsts 2 vorzugeben. Das inverse Modell 10 beschreibt, wie zuvor erläutert, das inverse Frequenzverhalten des Walzgerüsts 2, gegebenenfalls einschließlich des inversen Frequenzverhaltens der Messeinrichtung 4. Konstante Totzeiten und dergleichen können nach Bedarf innerhalb des inversen Modells 10 oder außerhalb des inversen Modells 10 im Rahmen der Vorhaltezeit $T2'$ berücksichtigt werden. Das inverse Modell 10 kann beispielsweise entsprechend der Darstellung in FIG 5 eine inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ der Form

$$G^{-1}(s) = \frac{T2 \cdot s + 1}{TC \cdot s + 1} \quad (5)$$

implementieren.

[0059] Dem inversen Modell 10 wird - getaktet mit der Zykluszeit T - jeweils die endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ eines Abschnitts 9 des Metallbandes 1 zugeführt. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt mittels des inversen Modells 10 unter zusätzlicher Berücksichtigung eines internen Zustands $Z2$ des inversen Modells 10 den jeweiligen Ansteuerwert $A2$ für das Walzgerüst 2 und gibt den Ansteuerwert $A2$ an das Walzgerüst 2 aus. Weiterhin führt die Steuereinrichtung 6 den internen Zustand $Z2$ unter Verwertung der jeweiligen endgültigen Dickenabweichung $\delta d'$ und des vorherigen internen Zustands $Z2$ des inversen Modells 10 nach. Die Berücksichtigung des internen Zustands $Z2$ und das Nachführen des

internen Zustands Z2 sind erforderlich, da anderenfalls das inverse Modell 10 des Walzgerüsts 2 keine Kenntnis des bisherigen Verlaufs der endgültigen Dickenabweichung $\delta d'$ speichern könnte und somit kein Frequenzverhalten modellieren könnte, sondern lediglich eine rein proportionales Verhalten.

[0060] Dem inversen Modell 10 ist ein Transportmodell 11 vorgeordnet. Dem Transportmodell 11 werden - getaktet mit der Zykluszeit T - die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ und die Einlaufgeschwindigkeit v zugeführt. Das Transportmodell 11 modelliert die Wegverfolgung des jeweiligen Abschnitts 9, dem die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ zugeordnet ist. Weiterhin wird dem Transportmodell 11 eine Vorhaltezeit T2' zugeführt. Das Transportmodell 11 gibt die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ gegenüber dem Zeitpunkt, zu dem die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ dem Transportmodell 11 zugeführt wurde, zeitverzögert aus. Die Zeitverzögerung ist, wie bereits erwähnt, derart gewählt, dass der für einen bestimmten Abschnitt 9 ausgegebene Ansteuerwert A2 zu dem Zeitpunkt Wirkung entfaltet, zu dem der entsprechende Abschnitt 9 des Metallbandes 1 in dem Walzgerüst 2 gewalzt wird.

[0061] Die Modellierung und Implementierung einer Wegverfolgung ist Fachleuten allgemein bekannt. Sie muss daher nicht im Detail erläutert werden.

[0062] In der Regel wird weiterhin die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ von dem Transportmodell 11 nicht direkt dem inversen Modell 10 des Walzgerüsts 2 zugeführt, sondern zuvor noch in einem Multiplizierer 12 mit einem statischen Verstärkungsfaktor V2 multipliziert. Mittels des Multiplizierers 12 wird die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ in einen Zusatzsollwert beispielsweise für den Walzspalt des Walzgerüsts 2 oder den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 umgerechnet. Prinzipiell ist es aber auch möglich, den Verstärkungsfaktor V2 mit in das inverse Modell 10 des Walzgerüsts 2 zu integrieren.

[0063] In völlig analoger Weise kann, wie bereits erwähnt, auch die Modellierung des inversen Frequenzverhaltens der Zuführeinrichtung 3 erfolgen, gegebenenfalls einschließlich des inversen Frequenzverhaltens der Messeinrichtung 4. Es ergibt sich entsprechend der Darstellung in FIG 5 ein völlig analoger Aufbau mit einem inversen Modell 13, einem Transportmodell 14 und einem Multiplizierer 15. T3' ist eine Vorhaltezeit für die Zuführeinrichtung, V3 ein Verstärkungsfaktor. Mittels des Multiplizierers 15 wird die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ in einen Zusatzsollwert für die Einlaufgeschwindigkeit v des Metallbandes 1 umgerechnet. Falls die Zuführeinrichtung 3 nicht die Einlaufgeschwindigkeit v, sondern den einlaufseitig des Walzgerüsts 2 im Metallband 1 herrschenden Zug regelt, muss gegebenenfalls zusätzlich das Trägheitsmoment der Zuführeinrichtung 3 mit berücksichtigt werden.

[0064] Sofern der Ansteuerwert A2 eine Vektorgröße ist, die jeweils eine Komponente für die Anstellung des Walzgerüsts 2 und für den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 aufweist, müssen die obenstehend erläuterten Modellierungen für das Walzgerüst 2 separat für jede Komponente der Vektorgröße ausgeführt werden. Gegebenenfalls sind also für das Walzgerüst 2 mehrere inverse Teilmodelle vorhanden. Dies ändert aber nichts am Prinzip.

[0065] Mittels der Ansteuerwerte A2 erfolgt die entsprechende Ansteuerung des Walzgerüsts 2, so dass auslaufseitig des Walzgerüsts 2 nur noch möglichst geringe Schwankungen der Dicke des Metallbandes 2 vorliegen. Mittels der Ansteuerwerte A3 erfolgt die entsprechende Ansteuerung der Zuführeinrichtung 3, so dass die Einlaufgeschwindigkeit v und/oder der einlaufseitige Zug im Metallband 1 möglichst konstant gehalten wird. Insbesondere hat der Zug Einfluss auf die Stichabnahme im Walzgerüst 2. Damit Änderungen im Zug, der im Metallband 1 herrscht, keinen unerwünschten Einfluss auf die Stichabnahme hat, muss die Einlaufgeschwindigkeit v synchron zu den Änderungen der Anstellung des Walzgerüsts 2 und der Änderungen der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswalzen des Walzgerüsts 2 angepasst werden.

[0066] Wie bereits erwähnt, werden die endgültigen Dickenabweichungen δd mittels einer Nullphasenfilterung der vorläufigen Dickenabweichungen δd ermittelt. Den Transportmodellen 11, 14 kann daher ein jeweiliges Nullphasenfilter 16, 17 vorgeordnet oder nachgeordnet sein. Es ist auch möglich, die Nullphasenfilterung in das jeweilige Transportmodell 11, 14 zu integrieren.

[0067] Die Transportmodelle 11, 14 sind im wesentlichen gleichartig ausgebildet. Die Struktur der Steuereinrichtung 6 von FIG 5 kann daher gemäß der Struktur von FIG 6 modifiziert werden. Im Ergebnis kann in der Ausgestaltung gemäß FIG 6 eines der Transportmodelle 11, 14 entfallen. Stattdessen ist ein Verzögerungsglied 18 vorhanden, mittels dessen die Differenz zwischen den Vorhaltezeiten T2' und T3' ausgeglichen wird. Meist wird die Vorhaltezeit T3' größer als die Vorhaltezeit T2' sein. In diesem Fall, der in FIG 6 dargestellt ist, entfällt das Transportmodell 14 und ist weiterhin das Verzögerungsglied 18 in dem Pfad für den Ansteuerwert A2 angeordnet.

[0068] Die obenstehend in Verbindung mit den FIG 5 und 6 erläuterten Strukturen der Steuereinrichtung 6 sind in der Steuereinrichtung 6 als Softwareblöcke ausgebildet. Sie werden also aufgrund der Programmierung mit dem Steuerprogramm 7 und die Abarbeitung des Maschinencodes 8 gebildet.

[0069] Eine alternative Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts 2 - gegebenenfalls als kombinierte Beschreibung auch des inversen Frequenzgangs der Messeinrichtung 4 - als Frequenzgang FG vorgegeben ist. Der Frequenzgang FG gibt entsprechend der Darstellung in FIG 7 für verschiedene Frequenzbereiche FBk (mit $k = 1, 2, \dots$) die jeweilige komplexe Verstärkung V an, mit welcher eine zeitvariable Dickenabweichung, die eine Frequenz im jeweiligen im jeweiligen Frequenzbereich FB aufweist, verstärkt werden muss, um vollständig kompensiert zu werden.

[0070] Der Frequenzgang FG beruht auf folgender Überlegung: Wird dem Walzgerüst 2 ein Metallband 1 konstanter Dicke zugeführt und wird weiterhin der dem Walzgerüst 2 zugeführte Ansteuerwert A2 mit einer bestimmten Amplitude und einer bestimmten Frequenz variiert, so zeigt sich, dass bei gleicher Amplitude des Ansteuerwertes A2 (= Eingangsgröße) sich das Ausmaß, in welchem dem Metallband 1 durch das Walzgerüst 2 auslaufseitig eine Dickenänderung eingepreßt wird, (= Ausgangsgröße) von der Frequenz abhängt. Konkret ändern sich sowohl die Amplitude als auch die Phasenlage der auslaufseitigen Dickenänderung. Insbesondere zeigt sich in der Praxis, dass mit steigender Frequenz die Amplitude der auslaufseitigen Dickenabweichung abnimmt und die Phasenverzögerung zunimmt. Je nach Frequenz der einlaufseitigen endgültigen Dickenabweichung $\delta d'$ muss die Korrekturgröße "Positionsänderung des Walzgerüsts 2" und/oder "Änderung des Drehmoments der Arbeitswalzen" bzw. "Änderung der Drehzahl der Arbeitswalzen" daher in Amplitude und Phasenlage dynamisch angepasst werden, um ein optimales Korrektursignal zu generieren. Um eine einlaufseitig des Walzgerüsts 2 mit einer höheren Frequenz auftretende endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ zu kompensieren, muss das Walzgerüst 2 somit stärker angesteuert werden.

[0071] Amplitude und Phasenlage der Reaktion des Walzgerüsts 2 auf den jeweiligen Ansteuerwert A2 können für die jeweilige Frequenz zu einem komplexen Faktor zusammengefasst werden. Das Inverse des jeweiligen komplexen Faktors entspricht für die jeweilige Frequenz einem - komplexen - Verstärkungsfaktor V, mit dem eine Dickenabweichung der jeweiligen Frequenz skaliert werden muss, damit sie ausgangsseitig des Walzgerüsts 2 vollständig kompensiert wird. Die Gesamtheit dieser Verstärkungsfaktoren V, also die Verstärkungsfaktoren V für verschiedene Frequenzen bzw. Frequenzbereiche FB, bilden den Frequenzgang FG, welcher der Steuereinrichtung 6 vorgegeben wird.

[0072] Sofern die Beschreibung des Frequenzverhaltens der Steuereinrichtung 6 als derartiger Frequenzgang FG vorgegeben ist, kann für die Ermittlung eines jeweiligen Ansteuerwertes A2 entsprechend der Darstellung in FIG 8 vorgegangen werden. Die Vorgehensweise von FIG 8 muss gegebenenfalls separat für jede Komponente des jeweiligen Ansteuerwertes A2 durchgeführt werden.

[0073] Der Steuereinrichtung 8 wird gemäß FIG 8 für den jeweiligen Abschnitt 9 und eine Mehrzahl von weiteren Abschnitten 9 die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ vorgegeben. Die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ bilden einen zeitlichen Verlauf. Die Steuereinrichtung 6 transformiert den zeitlichen Verlauf in einem Transformationsblock 19 in den Frequenzbereich. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 in dem Transformationsblock 19 eine Fouriertransformation (FT) durchführen, insbesondere eine STFT (= short time Fourier transformation = Kurzzeit-Fouriertransformation). Die Fouriertransformation kann nach Bedarf kontinuierlich oder diskret sein. Ebenso kann sie nach Bedarf analog oder digital sein. Weiterhin kommen alternativ zu einer Fouriertransformation auch andere Transformationen in Frage, beispielsweise eine diskrete Kosinustransformation.

[0074] Unabhängig von der konkreten Vorgehensweise ermittelt die Steuereinrichtung 6 mittels des Transformationsblocks 19 die Frequenzanteile FA des genannten Verlaufs. In einem nachfolgenden Ermittlungsblock 20 erfolgt - separat für die einzelnen Frequenzbereiche FB - eine Multiplikation des jeweiligen Frequenzanteils FA mit dem Verstärkungsfaktor V für den jeweiligen Frequenzbereich FB. Der transformierte Verlauf wird also mit dem Frequenzgang FG multipliziert. Aufgrund der Multiplikation im komplexen Frequenzbereich werden im Ergebnis sowohl Amplituden skaliert als auch Phasen verschoben. Durch diese Multiplikation wird im Frequenzraum ein korrigiertes Spektrum der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ erzeugt, welches das frequenzabhängige Übertragungsverhalten des Walzgerüsts 2 optimal kompensiert.

[0075] In einem weiteren Transformationsblock 21 transformiert die Steuereinrichtung 6 das Ausgangssignal des Ermittlungsblocks 20 - also den frequenzweise skalierten Frequenzverlauf - zurück in den Zeitbereich. Die Transformation des Transformationsblocks 21 ist invers zur Transformation des Transformationsblocks 19. Von den Ausgangssignalen des Transformationsblocks 21 greift die Steuereinrichtung 6 schließlich denjenigen heraus, der für den jeweiligen Abschnitt 9 ermittelt wurde.

[0076] Die Anzahl an endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$, die im Rahmen der Vorgehensweise gemäß FIG 8 verwendet wird, kann nach Bedarf bestimmt sein. Es bietet sich besonders an, die Anzahl derart zu wählen, dass sie gleich einer Zweierpotenz ist. Denn dann kann die Fouriertransformation als schnelle Fouriertransformation implementiert werden.

[0077] Fachleuten ist allgemein bekannt, dass eine Multiplikation im Frequenzbereich mit einer Faltung im Zeitbereich korrespondiert. Alternativ zur Vorgabe eines Frequenzgangs FG ist es daher möglich, der Steuereinrichtung 6 entsprechend der Darstellung in FIG 9 einen Faltungskern FK vorzugeben. Der Faltungskern FK kann beispielsweise durch eine isolierte Transformation des Frequenzgangs FG der FIG 7 und 8 in den Zeitbereich ermittelt werden.

[0078] Sofern die Beschreibung des Frequenzverhaltens der Steuereinrichtung 6 als derartiger Faltungskern FK vorgegeben ist, kann für die Ermittlung eines jeweiligen Ansteuerwertes A2 entsprechend der Darstellung in FIG 10 wie folgt vorgegangen werden:

Der Steuereinrichtung 8 wird - wie bei FIG 8 auch - für den jeweiligen Abschnitt 9 und eine Mehrzahl von weiteren Abschnitten 9 die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ vorgegeben. Die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ bilden - wie bei FIG 8 auch - einen zeitlichen Verlauf. In einem Ermittlungsblock 22 führt die Steuereinrichtung 6 eine Faltung dieses Verlaufs mit dem Faltungskern FK durch. Von den Ausgangssignalen des Ermittlungsblocks 22 greift

die Steuereinrichtung 6 als Ansteuerwert A2 denjenigen heraus, der für den jeweiligen Abschnitt 9 ermittelt wurde.

[0079] Auch im Rahmen der Vorgehensweisen gemäß den FIG 8 und 10 wird der Steuereinrichtung 6 jeweils nur eine einzelne endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ explizit neu zugeführt. Die anderen benötigten endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ sind der Steuereinrichtung 6 bereits im Rahmen der Ausführung vorheriger Zyklen zugeführt worden. Sie müssen dort also nur zwischengespeichert und erneut abgerufen und verwendet werden.

[0080] Die Vorgehensweisen der FIG 8 und 10 wurden obenstehend in Verbindung mit der Ermittlung des Ansteuerwertes A2 für das Walzgerüst 2 erläutert. Für die Ermittlung des Ansteuerwertes A3 für die Zuführeinrichtung 3 sind völlig analoge Vorgehensweisen möglich. In beiden Fällen kann nach Bedarf zusätzlich zum Frequenzverhalten der jeweiligen Einrichtung 2, 3 auch das Frequenzverhalten der Messeinrichtung 4 mit berücksichtigt werden.

[0081] Die obenstehend in Verbindung mit den FIG 8 und 10 erläuterten Strukturen der Steuereinrichtung 6 sind - ebenso wie die Strukturen der Steuereinrichtung 6 gemäß den FIG 5 und 6 - in der Steuereinrichtung 6 als Softwareblöcke ausgebildet. Sie werden also aufgrund der Programmierung mit dem Steuerprogramm 7 und die Abarbeitung des Maschinencodes 8 gebildet.

[0082] In jeder der Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass die weiteren Abschnitte 9, deren endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ im Rahmen der Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A2, A3 berücksichtigt wird, ausschließlich Abschnitte 9 sind, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehen. Ebenso ist es in den Ausgestaltungen der FIG 8 und 10 möglich, dass die weiteren Abschnitte 9 ausschließlich Abschnitte 9 sind, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgen. In der Regel führt es im Falle der Ausgestaltungen der FIG 8 und 10 jedoch zu besseren Ergebnis, wenn eine gemischte Vorgehensweise ergriffen wird, wenn also ein Teil der weiteren Abschnitte 9 dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehen und ein weiterer Teil der weiteren Abschnitte 9 dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgen. Beispielsweise können stets diejenigen Abschnitte 9 verwertet werden, die sich - bezogen auf denjenigen Abschnitt 9, dessen Dicke d im jeweiligen Zyklus erfasst wird - in dem in FIG 3 mit 23 bezeichneten Bereich befinden.

[0083] FIG 3 zeigt zugleich auch noch eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung. Denn wenn jeweils die Ansteuerwerte A2, A3 für den Abschnitt 9c ermittelt werden, ist entsprechend der Darstellung in FIG 3 die Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehenden Abschnitten 9 des Metallbandes 1, deren endgültige Dickenabweichungen $\delta d'$ die Steuereinrichtung 6 zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A2 verwertet, im wesentlichen gleich der Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgenden Abschnitten 9 des Metallbandes 1, deren endgültige Dickenabweichungen $\delta d'$ die Steuereinrichtung 6 zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A2, A3 verwertet. Eine geringfügige Abweichung (beispielsweise bis zu zwei Abschnitte 9 mehr oder weniger) ist in der Regel jedoch unproblematisch. Es bietet sich weiterhin oftmals an, insgesamt 2^n Abschnitte zu verwerten. In diesem Fall ist die Anzahl an Abschnitten 9, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehen, vorzugsweise um exakt 1 größer oder um 1 kleiner als die Anzahl an Abschnitten 9 des Metallbandes 1, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgen.

[0084] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ergibt sich auf einfache Weise eine nahezu vollständige Korrektur von einlaufseitigen Dickenabweichungen δd . Dies gilt ganz besonders, wenn sowohl der Ansteuerwert A2 als auch der Ansteuerwert A3 auf die erfindungsgemäße Art und Weise ermittelt werden. Es ist weiterhin ohne weiteres möglich, bestehende Walzanlagen erfindungsgemäß nachzurüsten. Denn die Hardware als solche, d.h. das Walzgerüst 2, die Zuführeinrichtung 3, die Messeinrichtungen 4, 5 und die Steuereinrichtung 6 müssen nicht verändert werden. Lediglich das Steuerprogramm 7 für die Steuereinrichtung 6 muss geändert werden.

[0085] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Varianten können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0086]

1	Metallband
2	Walzgerüst
3	Zuführeinrichtung
4, 5	Messeinrichtungen
6	Steuereinrichtung
7	Steuerprogramm
8	Maschinencode
9	Abschnitte
10, 13	inverse Modelle
11, 14	Transportmodelle

12, 15	Multiplizierer
16, 17	Nullphasenfilter
18	Verzögerungsglied
19, 21	Transformationsblöcke
5 20, 22	Ermittlungsblöcke
23	Bereich
a	Abstand
A2, A3	Ansteuerwerte
d	Dickenwert
10 d*	Solldicke
FA	Frequenzanteile
FB	Frequenzbereiche
FG	Frequenzgang
FK	Faltungskern
15 G	Übertragungsfunktion
s	Laplace-Operator
S1 bis S5	Schritte
T	Zykluszeit
T2, T3	charakteristische Zeitkonstanten
20 T2', T3'	Vorhaltezeiten
v	Einlaufgeschwindigkeit
V, V2, V3	Verstärkungsfaktoren
Z2, Z3	interne Zustände
25 δd , $\delta d'$	Dickenabweichungen

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Walzanlage,

- wobei einem Walzgerüst (2) der Walzanlage von einer dem Walzgerüst (2) vorgeordneten Zuführeinrichtung (3) mit einer Einlaufgeschwindigkeit (v) ein Metallband (1) zugeführt wird,
- wobei das Metallband (1) in dem Walzgerüst (2) gewalzt wird,
- wobei mittels einer zwischen der Zuführeinrichtung (3) und dem Walzgerüst (2) angeordneten Messeinrichtung (4) für aufeinanderfolgende Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils ein Dickenwert (d) für die Dicke des Metallbandes (1) erfasst wird,
- wobei die erfassten Dickenwerte (d) einer Steuereinrichtung (6) der Walzanlage zugeführt werden,
- wobei die Steuereinrichtung (6) anhand der Abweichung des jeweiligen Dickenwertes (d) von einer Solldicke (d^*) für den jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) eine jeweilige vorläufige Dickenabweichung (δd) ermittelt,
- wobei die Steuereinrichtung (6) anhand der vorläufigen Dickenabweichungen (δd) endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) ermittelt,
- wobei die Steuereinrichtung (6) für die Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils einen Ansteuerwert (A2, A3) für das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3) ermittelt und den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) zeitrichtig an das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3) ausgibt,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (6) den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) anhand der endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) des jeweiligen Abschnitts (9) des Metallbandes (1) sowie der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) einer Mehrzahl von dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) vorhergehenden und/oder nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) unter Berücksichtigung einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) ermittelt.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) der Steuereinrichtung (6) durch ein inverses Modell (10, 13) vorgegeben ist,

- **dass** dem inversen Modell (10, 13) jeweils die endgültige Dickenabweichung ($\delta d'$) eines Abschnitts des Metallbandes (1) zugeführt wird und
- **dass** die Steuereinrichtung (6) unter Verwertung der jeweiligen endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) mittels des inversen Modells (10, 13) zum einen einen internen Zustand (Z2, Z3) des inversen Modells (10, 13) nachführt und zum anderen den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) ermittelt.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) der Steuereinrichtung (6) als Frequenzgang (FG) vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung (6) den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) durch eine Transformation des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) in den Frequenzbereich, eine nachfolgende Multiplikation des transformierten Verlaufs der endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) mit dem Frequenzgang (FG) und eine nachfolgende Rücktransformation in den Zeitbereich ermittelt.
4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) der Steuereinrichtung (6) als Faltungskern (FK) vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung (6) den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) durch eine Faltung des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) mit dem Faltungskern (FK) ermittelt.
5. Betriebsverfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (6) zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes (A2, A3) sowohl endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) von dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) vorhergehenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) als auch endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) von dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) verwertet.
6. Betriebsverfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) vorhergehenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1), deren endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) die Steuereinrichtung (6) zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes (A2, A3) verwertet, im wesentlichen gleich der Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) ist, deren endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) die Steuereinrichtung (6) zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes (A2, A3) verwertet.
7. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (6) die vorläufigen Dickenabweichungen (δd) 1:1 als endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) übernimmt oder dass die Steuereinrichtung (6) die endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) aus den vorläufigen Dickenabweichungen (δd) mittels einer Nullphasenfilterung ermittelt.
8. Betriebsverfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass mittels der Nullphasenfilterung eine Tiefpassfilterung der vorläufigen Dickenabweichungen (δd) durchgeführt wird.
9. Steuerprogramm, das Maschinencode (8) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (6) für eine Walzanlage abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (8) durch die Steuereinrichtung (6) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (6) die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.
10. Steuereinrichtung für eine Walzanlage, wobei die Steuereinrichtung mit einem Steuerprogramm (7) nach Anspruch 9 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.
11. Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes (1),

EP 3 936 248 A1

- wobei die Walzanlage zumindest ein Walzgerüst (2), eine dem Walzgerüst (2) vorgeordnete Zuführeinrichtung (3), eine zwischen der Zuführeinrichtung (3) und dem Walzgerüst (2) angeordnete Messeinrichtung (4) und eine Steuereinrichtung (6) aufweist,
- wobei das Metallband (1) dem Walzgerüst (2) von der Zuführeinrichtung (3) mit einer Einlaufgeschwindigkeit (v) zugeführt wird,
- wobei das Metallband (1) in dem Walzgerüst (2) gewalzt wird,
- wobei von der Messeinrichtung (4) für aufeinanderfolgende Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils ein Dickenwert (d) für die Dicke des Metallbandes (1) erfasst wird,
- wobei die erfassten Dickenwerte (d) der Steuereinrichtung (6) zugeführt werden,
- wobei die Steuereinrichtung (6) die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.

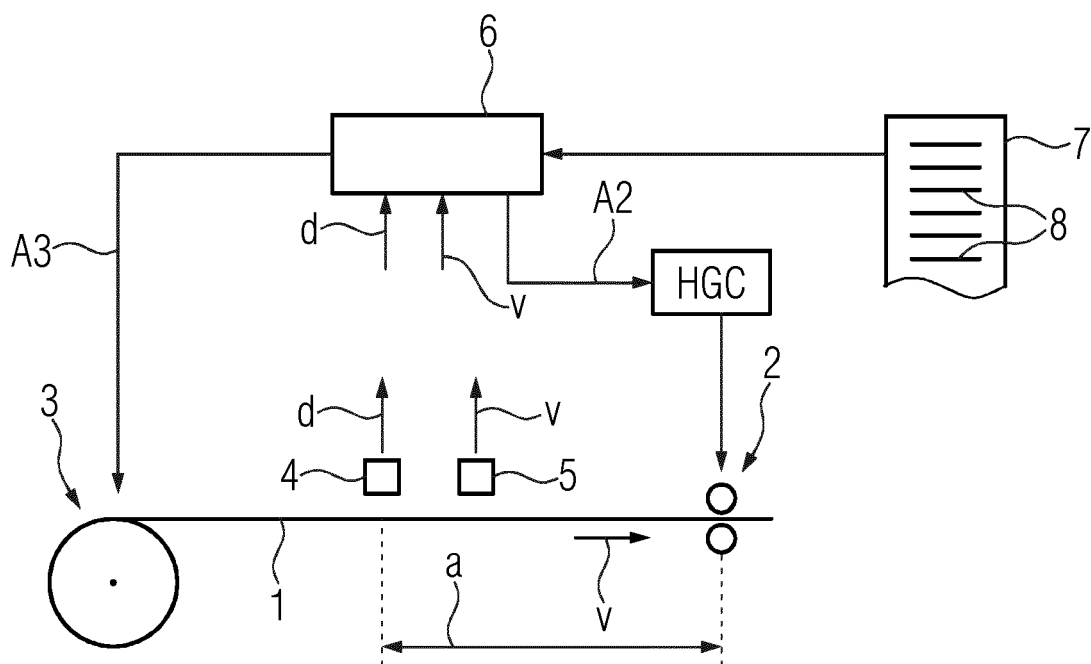


FIG 1

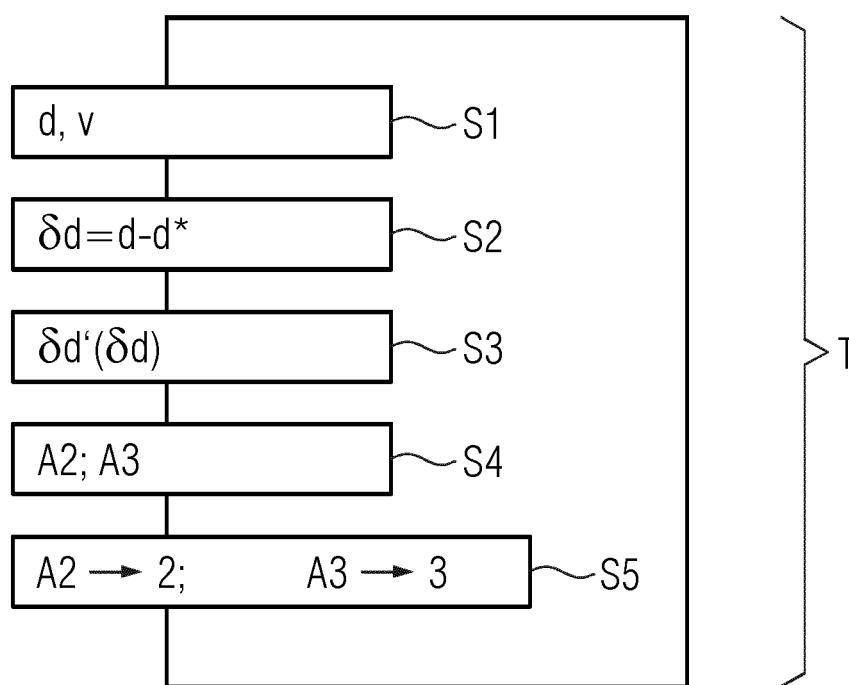


FIG 2

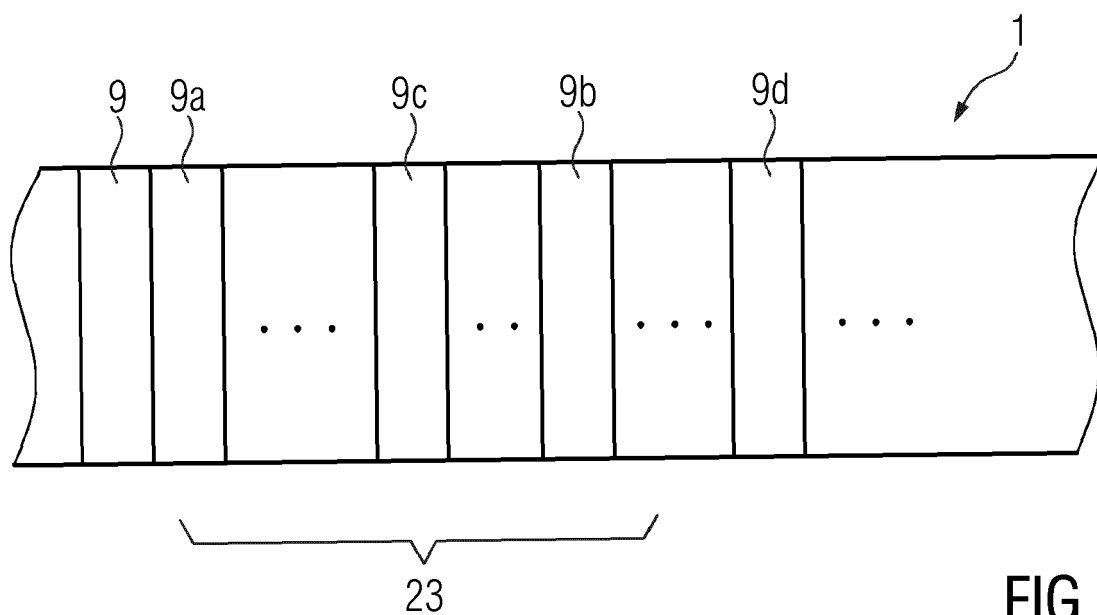


FIG 3

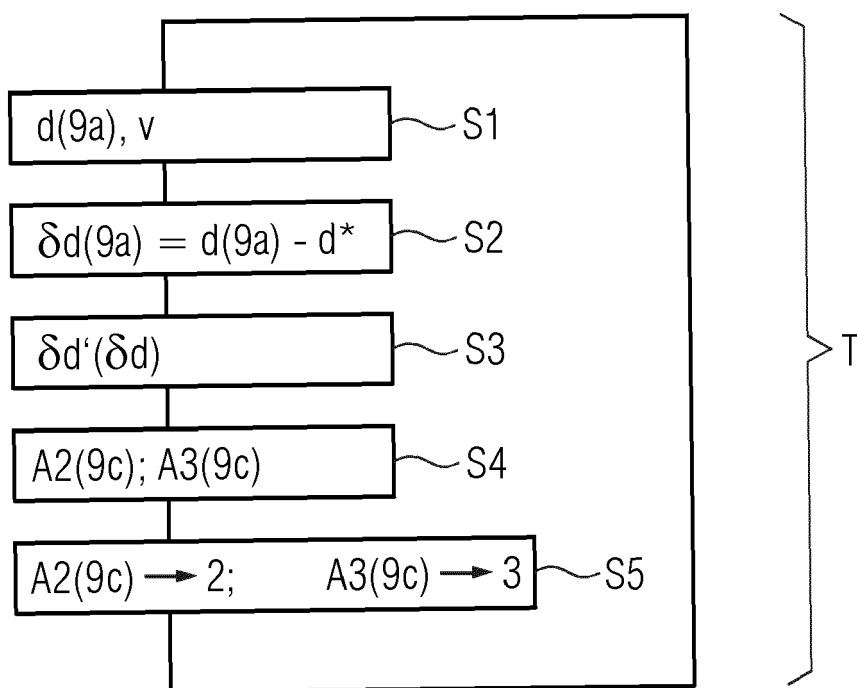


FIG 4

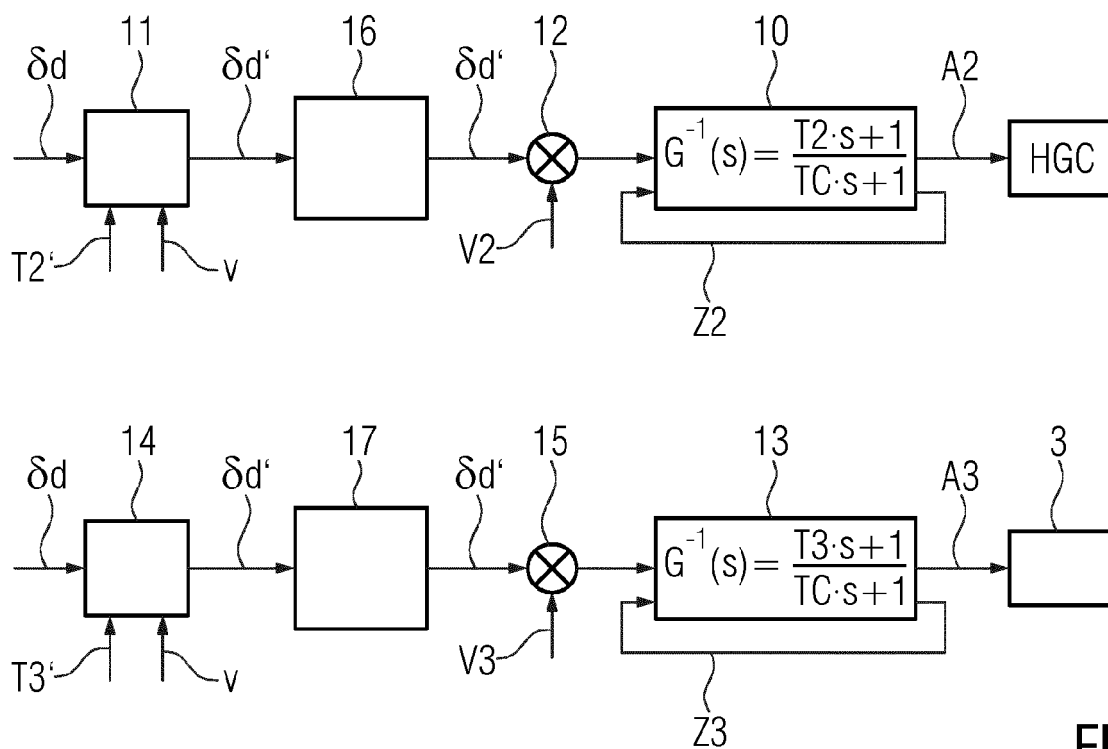


FIG 5

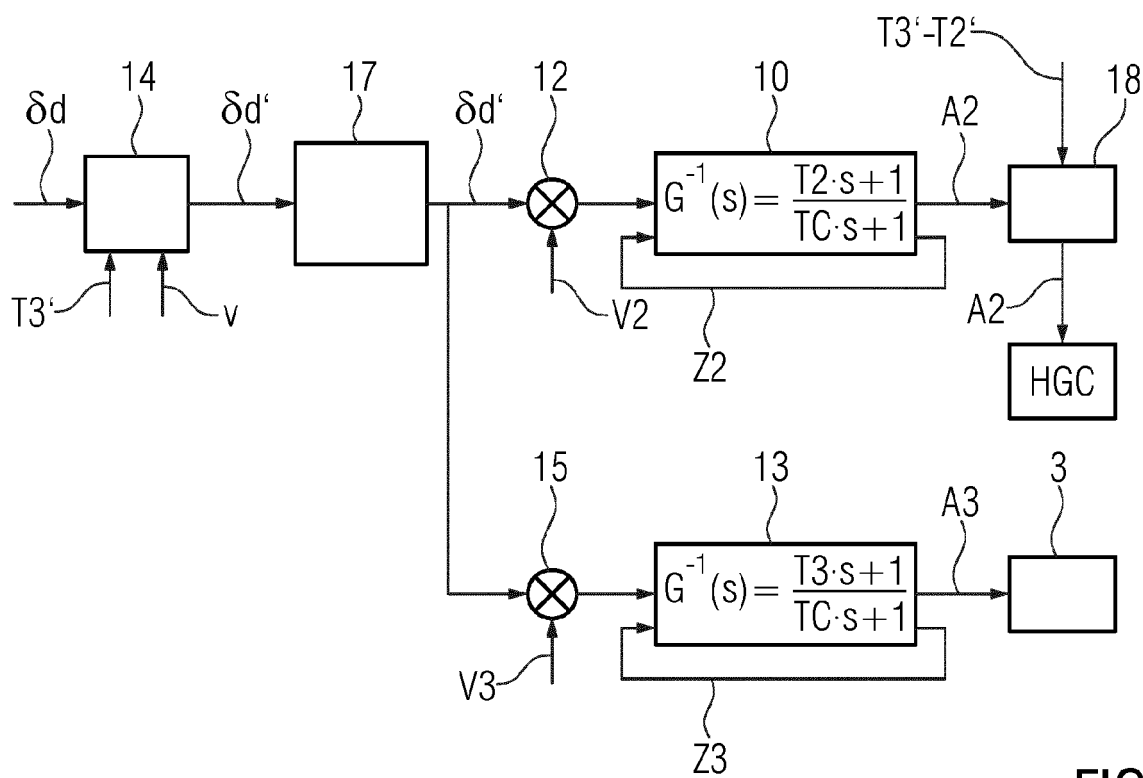


FIG 6

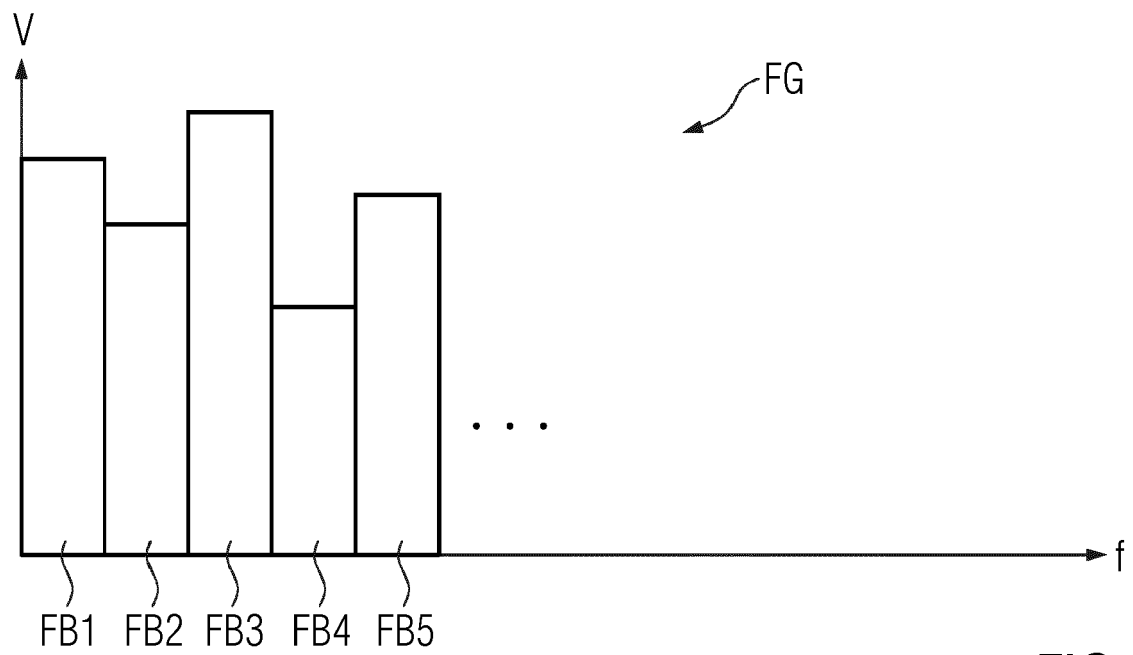


FIG 7

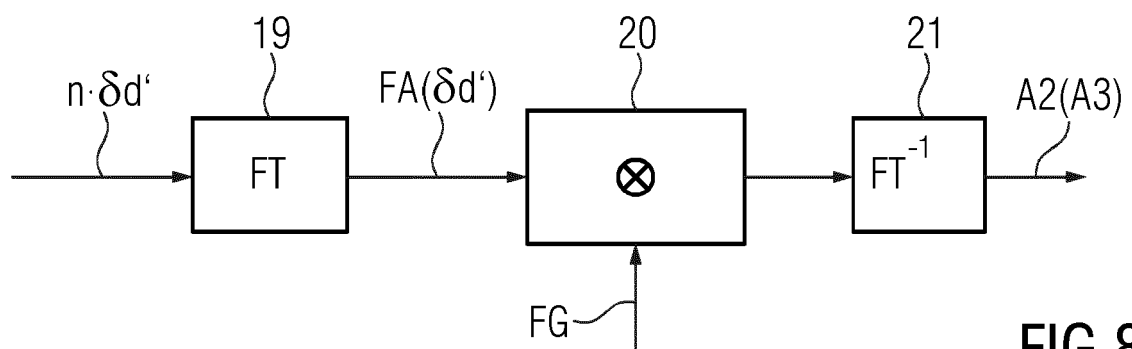


FIG 8

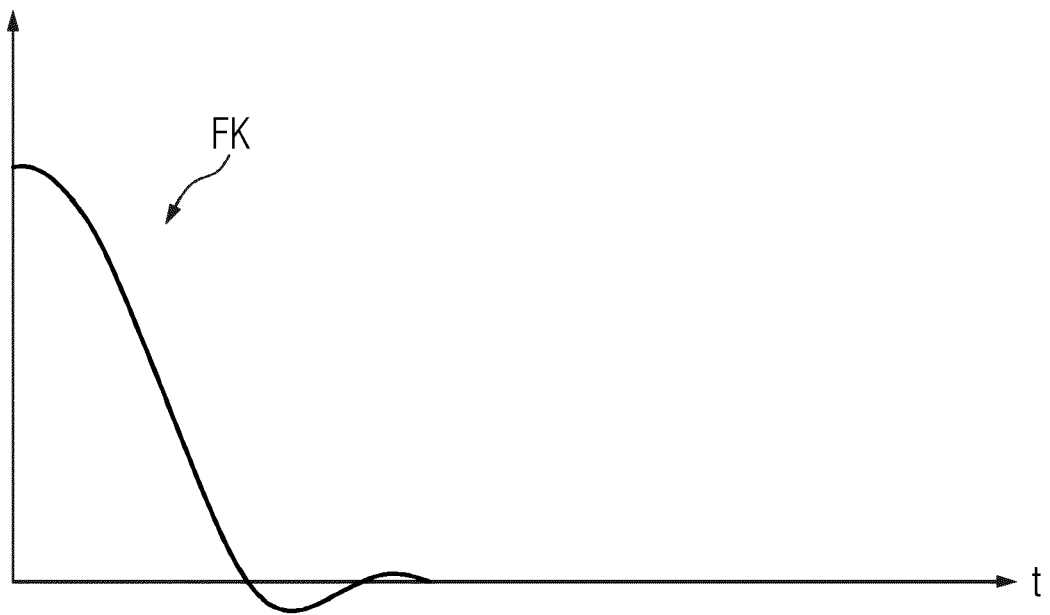


FIG 9

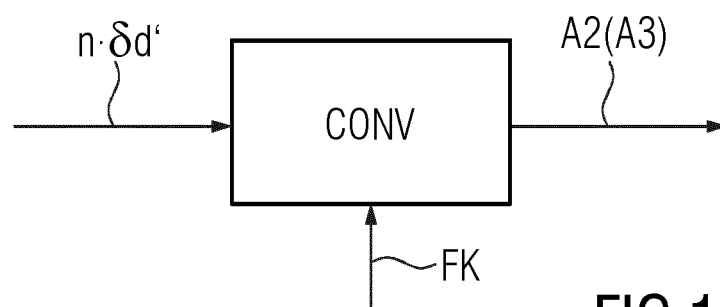


FIG 10



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 18 4420

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	JP S58 68414 A (SUMITOMO METAL IND) 23. April 1983 (1983-04-23) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 *	1-11	INV. B21B37/16
A	WO 2016/151855 A1 (TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC IND SYSTEMS CORP [JP]) 29. September 2016 (2016-09-29) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1-11	
A	EP 1 488 863 A2 (ABB PATENT GMBH [DE]) 22. Dezember 2004 (2004-12-22) * Absatz [0039] - Absatz [0046]; Abbildungen 1-4 *	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 26. November 2020	Prüfer Forciniti, Marco
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 18 4420

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-11-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	JP S5868414	A	23-04-1983	JP S631125 B2		11-01-1988
				JP S5868414 A		23-04-1983
15	WO 2016151855	A1	29-09-2016	CN 107073536 A		18-08-2017
				JP 6380650 B2		29-08-2018
				JP WO2016151855 A1		29-06-2017
				KR 20170073642 A		28-06-2017
20				TW 201634140 A		01-10-2016
				WO 2016151855 A1		29-09-2016
	EP 1488863	A2	22-12-2004	AT 441489 T		15-09-2009
				DE 10327663 A1		05-01-2005
25				EP 1488863 A2		22-12-2004
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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

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

- EP 0435595 A2 [0008]
- EP 3332883 A1 [0009]
- JP 58068414 A [0010]