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

(11) **EP 2 301 685 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.03.2011 Patentblatt 2011/13

(51) Int Cl.:
B21B 37/74 *(2006.01)* ***B21B 37/76*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **09171068.1**

(22) Anmeldetag: **23.09.2009**

(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 MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

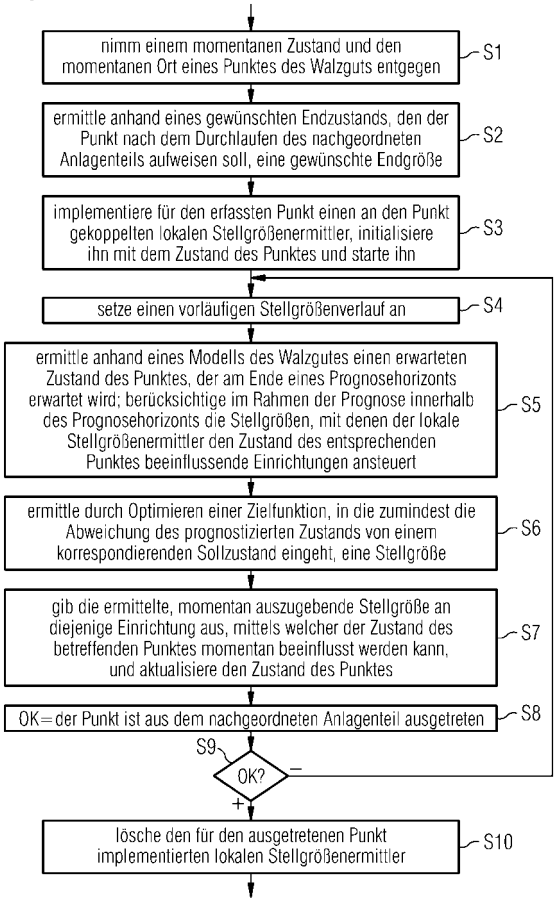
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Kurz, Matthias, Dr.**
  91052 Erlangen (DE)
- **Weinzierl, Klaus, Dr.**
  90480 Nürnberg (DE)

(54) **Steuerverfahren für eine Behandlungsanlage für ein langgestrecktes Walzgut**

(57) Eine Behandlungsanlage für ein langgestrecktes Walzgut (1) weist einen vor- und einen nachgeordneten Anlagenteil (2, 3) auf, die von dem Walzgut (1) unmittelbar nacheinander durchlaufen werden. Je einer der Anlagenteile (2, 3) ist als Fertigstrasse bzw. als von der Fertigstrasse verschiedener Anlagenteil ausgebildet. Einer Steuereinrichtung (10) ist für Abschnitte (14) des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes (1) jeweils zumindest eine Endgröße vorgegeben, die aus einem jeweiligen gewünschten Endzustand (Z*) abgeleitet ist, den der jeweilige Abschnitt (14) des Walzgutes (1) nach dem Durchlaufen des nachgeordneten Anlagenteils (3) aufweisen soll. Die Steuereinrichtung (10) implementiert mindestens einen Stellgrößenermittler (16, 20), der an mindestens eine den Zustand (Z) mindestens eines der Abschnitte (14) des Walzgutes (1) beeinflussende Einrichtung (6, 15, 18, 21) eine Stellgröße (S, S') ausgibt. Das Ausgeben der Stellgröße (S, S') erfolgt zu einem Zeitpunkt, zu dem der mindestens eine Abschnitt (14) sich im vorgeordneten Anlagenteil (2) befindet. Bei der Ermittlung der Stellgröße (S, S') berücksichtigt der Stellgrößenermittler (16, 20) modellgestützt ermittelte erwartete Zustände des mindestens einen Abschnitts (14) des Walzgutes (1), die innerhalb eines Prognosehorizonts (PH1 bis PH5) des jeweiligen Stellgrößenermittlers (16, 20) liegen. Der Prognosehorizont (PH1 bis PH5) ist derart bestimmt, dass der Stellgrößenermittler (16, 20) bei der Ermittlung der von ihm ausgegebenen Stellgröße (S, S') mindestens einen für den mindestens einen Abschnitt (14) des Walzgutes (1) prognostizierten Zustand berücksichtigt, der für den mindestens einen Abschnitt (14) des Walzgutes (1) im nachgeordneten Anlagenteil (3) erwartet wird.

FIG 6



EP 2 301 685 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerverfahren für eine Behandlungsanlage für ein langgestrecktes Walzgut, insbesondere ein bandförmiges Walzgut,

- wobei die Behandlungsanlage zumindest einen vorgeordneten Anlagenteil und einen nachgeordneten Anlagenteil aufweist, die von dem Walzgut unmittelbar nacheinander durchlaufen werden,
- wobei der vorgeordnete oder der nachgeordnete Anlagenteil als Fertigstrasse ausgebildet ist, in der das Walzgut querschnittreduzierend gewalzt wird, und der andere Anlagenteil als von der Fertigstrasse verschiedener Anlagenteil ausgebildet ist,
- wobei einer Steuereinrichtung für die Behandlungsanlage für Abschnitte des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes jeweils zumindest eine Endgröße vorgegeben ist,
- wobei die jeweilige Endgröße aus einem jeweiligen gewünschten Endzustand abgeleitet ist, den der jeweilige Abschnitt des Walzgutes nach dem Durchlaufen des nachgeordneten Anlagenteils aufweisen soll.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, das Maschinencode aufweist, der von einer Steuereinrichtung für eine Behandlungsanlage für ein Walzgut, insbesondere ein bandförmiges Walzgut, unmittelbar abarbeitbar ist und dessen Abarbeitung durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung ein derartiges Steuerverfahren ausführt.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Steuereinrichtung für eine Behandlungsanlage für ein Walzgut, insbesondere ein bandförmiges Walzgut, die derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein derartiges Steuerverfahren ausführt. Die eingangs genannten Gegenstände sind allgemein bekannt. Rein beispielhaft wird auf die DE 101 56 008 A1 bzw. die korrespondierende US 7,197,802 B2 verwiesen. Auch die EP 1 596 999 B1 bzw. die korrespondierenden US 7,251,971 B2 und US 7,310,981 B2 können in diesem Zusammenhang genannt werden.

[0004] Bei den Steuerverfahren des Standes der Technik wird üblicherweise jeder Anlagenteil separat für sich gesteuert. Wenn - rein beispielhaft - der vorgeordnete Anlagenteil als Fertigstraße ausgebildet ist und der nachgeordnete Anlagenteil als Kühlstrecke ausgebildet ist, wird im Stand der Technik üblicherweise die Fertigstraße derart betrieben, dass die Abschnitte des Walzguts am Auslauf der Fertigstraße (= Einlauf der Kühlstrecke) eine vorbestimmte Endwalztemperatur aufweisen. In der Kühlstrecke erfolgt sodann ein Kühlen der Abschnitte des Walzguts, so dass die Abschnitte des Walzguts die Kühlstrecke mit einer vorbestimmten Haspeltemperatur verlassen. Ein Abstimmen des Betriebs der beiden Anlagenteile erfolgt im Stand der Technik nur dadurch, dass die Endwalztemperatur des jeweiligen Abschnitts messtechnisch erfasst und der Kühlstrecke als Startwert für den jeweiligen Abschnitt vorgegeben wird.

[0005] Die Vorgehensweisen des oben genannten Standes der Technik stellen gegenüber dem konventionellen Stand der Technik bereits einen Fortschritt dar. Denn bei diesem Stand der Technik erfolgt eine anlagenteilübergreifende Steuerung der Behandlungsanlage. Insbesondere können für jeden Abschnitt des Walzguts erwartete Temperaturen, die mittels eines anlagenteilübergreifenden Modells ermittelt werden, taktweise fortgeschrieben werden. Anhand der jeweils erwarteten Temperaturen und der korrespondierenden Solltemperaturen wird im Stand der Technik jeweils eine Stellgröße ermittelt, die an eine den Zustand des jeweiligen Abschnitts des Walzguts gerade beeinflussende Einrichtung ausgegeben wird.

[0006] Die Stellgrößenermittler, mittels derer die Stellgrößen für die einzelnen Einrichtungen ermittelt werden, können als konventionelle Regler ausgebildet sein, beispielsweise als P-, PI- oder PID-Regler. Es ist aus dem genannten Stand der Technik auch schon bekannt, die Regler als Prädiktionsregler auszubilden, die einen Prädiktionshorizont aufweisen. Insbesondere die zuletzt genannte Vorgehensweise führt bereits zu relativ guten Ergebnissen. Auch die zuletzt genannten Vorgehensweisen sind jedoch noch verbesserungsfähig, insbesondere bezüglich der Ausgestaltung der Stellgrößenermittlung. Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine entsprechende verbesserte Stellgrößenermittlung vorzunehmen.

[0007] Die Aufgabe wird durch ein Steuerverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Steuerverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 12.

[0008] Erfindungsgemäß ist - zusätzlich zu den eingangs genannten Merkmalen - vorgesehen,

- dass die Steuereinrichtung mindestens einen Stellgrößenermittler implementiert,
- dass der Stellgrößenermittler an mindestens eine den Zustand mindestens eines der Abschnitte des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes beeinflussende Einrichtung eine Stellgröße ausgibt,
- dass der Stellgrößenermittler die Stellgröße zu einem Zeitpunkt ausgibt, zu dem der mindestens eine Abschnitt sich im vorgeordneten Anlagenteil befindet,
- dass der Stellgrößenermittler bei der Ermittlung der Stellgröße modellgestützt ermittelte erwartete Zustände des mindestens einen Abschnitts des Walzgutes berücksichtigt, die innerhalb eines ersten Prognosehorizonts des jeweiligen Reglers liegen, und
- dass der erste Prognosehorizont derart bestimmt ist, dass der Stellgrößenermittler bei der Ermittlung der von ihm ausgegebenen Stellgröße mindestens einen für den mindestens einen Abschnitt des Walz-

gutes prognostizierten Zustand berücksichtigt, der für den mindestens einen Abschnitt des Walzgutes im nachgeordneten Anlagenteil erwartet wird.

In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen,

- dass die Steuereinrichtung für jeden Abschnitt des Walzgutes jeweils einen Stellgrößenermittler implementiert, der während des gesamten Durchlaufs des jeweiligen Abschnitts des Walzgutes durch die Behandlungsanlage als lokaler Stellgrößenermittler an den jeweiligen Abschnitt des Walzgutes gekoppelt bleibt, und
- dass der jeweilige lokale Stellgrößenermittler dann an eine den Zustand des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes lokal beeinflussende Einrichtung eine Stellgröße ausgibt, wenn die jeweilige Einrichtung auf den jeweiligen Abschnitt des Walzgutes wirkt.

[0009] Dadurch kann die Stellgrößenermittlung vereinfacht werden.

[0010] Vorzugsweise ist bei dieser Ausgestaltung vorgesehen, dass mindestens eine der den Zustand des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes lokal beeinflussenden Einrichtungen im vorgeordneten Anlagenteil angeordnet ist.

[0011] Die Steuereinrichtung kann alternativ als einheitliche, nicht in mehrere Teilsteuereinrichtungen aufgeteilte, die gesamte Behandlungsanlage steuernde Steuereinrichtung ausgebildet sein oder in mehrere Teilsteuereinrichtungen aufgeteilt sein. Im letztgenannten Fall ist vorzugsweise der jeweilige Stellgrößenermittler während des gesamten Durchlaufs des jeweiligen Abschnitts des Walzgutes durch die Behandlungsanlage auf ein und derselben Teilsteuereinrichtung implementiert.

[0012] Alternativ oder zusätzlich zu den lokalen Stellgrößenermittlern kann die Steuereinrichtung für alle Abschnitte des Walzgutes einen Stellgrößenermittler implementieren, der als globaler Stellgrößenermittler auf den Massenfluss des Walzgutes wirkt.

[0013] Wenn sowohl der globale als auch die lokalen Stellgrößenermittler implementiert sind, ist vorzugsweise vorgesehen,

- dass die von den lokalen Stellgrößenermittlern entsprechend der obenstehend erläuterten Weise ermittelten Stellgrößen zunächst vorläufige Stellgrößen sind, wobei die lokalen Stellgrößenermittler die vorläufigen Stellgrößen unter der Annahme ermitteln, dass ein momentan gegebener Massenflussverlauf nicht verändert wird,
- dass der globale Stellgrößenermittler anhand von Eingangsgrößen einen neuen Massenflussverlauf ermittelt,
- dass die Eingangsgrößen zumindest die von den lokalen Stellgrößenermittlern ermittelten vorläufigen Stellgrößen sowie mindestens eine Bewertungsgröße für die vorläufigen Stellgrößen umfassen, wobei die Bewertungsgröße eine minimal mögliche Stellgröße, eine maximal mögliche Stellgröße, eine maximal mögliche Stellgrößenänderung oder ein Zwischenwert ist, der zwischen der minimal möglichen Stellgröße und der maximal möglichen Stellgröße liegt, und
- dass die lokalen Stellgrößenermittler ihre endgültigen Stellgrößen anhand der vorläufige Stellgrößen, des momentan gegebenen Massenflussverlaufs und des neuen Massenflussverlaufs ermitteln.

[0014] Weitere Eingangsgrößen des globalen Stellgrößenermittlers können nach Bedarf bestimmt sein. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Eingangsgrößen auch erwartete Zustände mindestens eines Abschnitts des Walzgutes, der noch nicht in den vorgeordneten Anlagenteil eingelaufen ist, und/oder für diesen Abschnitt des Walzgutes von einem entsprechenden lokalen Stellgrößenermittler ermittelte erwartete vorläufige Stellgrößen sowie die jeweils korrespondierende Bewertungsgröße umfassen.

[0015] In der Regel gibt der mindestens eine Stellgrößenermittler zu mehreren Zeitpunkten jeweils eine Stellgröße an die den Zustand mindestens eines der Abschnitte des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes beeinflussende Einrichtung aus. In diesem Fall ist oftmals der zeitliche Abstand eines ersten und eines zweiten der Zeitpunkte kleiner als der erste Prognosehorizont. Dadurch ist es möglich, dass der mindestens eine Stellgrößenermittler zur Ermittlung der zum ersten der Zeitpunkte ausgegebenen Stellgröße eine für den zweiten der Zeitpunkte erwartete Stellgröße ermittelt und diese erwartete Stellgröße bei der Ermittlung der zeitlich nach dem zweiten der Zeitpunkte, aber noch innerhalb des ersten Prognosehorizonts liegenden prognostizierten Zustände berücksichtigt. Insbesondere kann der mindestens eine Stellgrößenermittler als modellprädiktiver Regler ausgebildet sein.

[0016] Der erste Prognosehorizont kann nach Bedarf bestimmt sein. Insbesondere kann der erste Prognosehorizont derart bestimmt sein, dass er sich zumindest vom erstmaligen Beeinflussen des Zustands des Walzgutes im vorgeordneten Anlagenteil bis zum Auslaufen des Walzgutes aus dem nachgeordneten Anlagenteil erstreckt.

[0017] Soweit bisher beschrieben, bezieht sich die Prognose nur auf die einzelnen Abschnitte des Walzguts. Das Steuerverfahren kann dadurch weiter verbessert werden, dass die Steuereinrichtung für mindestens eine der den Zustand des Walzgutes beeinflussenden Einrichtungen innerhalb eines zweiten Prognosehorizonts erwartete Zustände der jeweiligen Einrichtung ermittelt und dass die Steuereinrichtung die während des zweiten Prognosehorizonts erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung bei der Ermittlung der von den Stellgrößenermittlern an die jeweilige Einrichtung ausgegebenen Stellgrößen berücksichtigt.

[0018] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Steuerverfahrens ist vorgesehen, dass der mindestens eine Stellgrößenermittler die Stellgröße durch Optimieren (d. h. Maximieren oder Minimieren) einer Zielfunktion ermittelt, wobei in die Zielfunktion außer der Abweichung eines prognostizierten Zustands mindestens eines Abschnitts des Walzgutes von einem entsprechenden Sollzustand ein Energieverbrauch der Behandlungsanlage eingeht. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, den Energiebedarf der Behandlungsanlage zu reduzieren und eventuell sogar zu minimieren.

[0019] Die Fertigstraße weist in der Regel mehrere Walzgerüste auf, die von dem Walzgut während des Durchlaufens der Fertigstraße nacheinander durchlaufen werden. Das erfindungsgemäße Steuerverfahren ist unter anderem auch dann anwendbar, wenn vor dem zuerst durchlaufenen Walzgerüst der Fertigstraße sowie zwischen den Walzgerüsten der Fertigstraße keine Kühleinrichtungen angeordnet sind.

[0020] Es ist möglich, dass der vorgeordnete Anlagenteil als Fertigstraße ausgebildet ist und der nachgeordnete Anlagenteil als Kühlstrecke ausgebildet ist. In einer anderen möglichen Ausgestaltung ist der nachgeordnete Anlagenteil als Fertigstraße ausgebildet. Der vorgeordnete Anlagenteil ist in diesem Fall vorzugsweise als Ofen ausgebildet, beispielsweise als Induktionsofen. Das erfindungsgemäße Steuerverfahren ist insbesondere auch bei einer Ausgestaltung der Behandlungsanlage anwendbar, bei welcher dem Ofen eine Vorstraße vorgeordnet ist, der Vorstraße eine Stranggießanlage vorgeordnet ist und die Anlage mit einer Gießgeschwindigkeit betrieben wird, so dass eine Geschwindigkeit, mit der das Walzgut in die Fertigstraße einläuft, durch die Gießgeschwindigkeit und die Querschnittsabnahme des Walzgutes in der Vorstraße festgelegt ist.

[0021] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm der eingangs genannten Art gelöst, dessen Maschinencode derart ausgestaltet ist, dass seine Abarbeitung durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung ein erfindungsgemäßes Steuerverfahren ausführt. Das Computerprogramm kann insbesondere auf einen Datenträger in maschinenlesbarer Form (insbesondere in ausschließlich maschinenlesbarer Form, beispielsweise elektronisch) gespeichert sein.

[0022] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für eine Behandlungsanlage für ein Walzgut, insbesondere ein bandförmiges Walzgut gelöst, die derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein erfindungsgemäßes Steuerverfahren ausführt.

[0023] 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 Behandlungsanlage für ein Walzgut,
FIG 2 bis 5	mögliche Ausgestaltungen der Behandlungsanla- ge von FIG 1,
FIG 6 bis 9	Ablaufdiagramme und
FIG 10 und 11	mögliche Ausgestaltungen einer Steuereinrich- tung.

Gemäß FIG 1 weist eine Behandlungsanlage für ein langgestrecktes Walzgut 1 einen vorgeordneten und einen nachgeordneten Anlagenteil 2, 3 auf. Der vorgeordnete und der nachgeordnete Anlagenteil 2, 3 werden von dem Walzgut 1 unmittelbar nacheinander durchlaufen. Das Walzgut 1 kann insbesondere ein bandförmiges Walzgut sein. Es besteht in der Regel aus einem Metall, beispielsweise Stahl, Aluminium, Kupfer, Messing oder einem anderen Buntmetall.

[0024] Der vorgeordnete oder der nachgeordnete Anlagenteil 2, 3 ist als Fertigstraße ausgebildet. Bei den Ausgestaltungen der FIG 2 und 3 ist der vorgeordnete Anlagenteil 2 als Fertigstraße ausgebildet. Bei den Ausgestaltungen gemäß den FIG 4 und 5 ist der nachgeordnete Anlagenteil 3 als Fertigstraße ausgebildet.

[0025] Unabhängig davon, ob der vor- oder der nachgeordnete Anlagenteil 2, 3 als Fertigstraße ausgebildet ist, weist die Fertigstraße in der Regel mehrere Walzgerüste 4 auf, die von dem Walzgut 1 während des Durchlaufens der Fertigstraße nacheinander durchlaufen werden. In den Walzgerüsten 4 der Fertigstraße wird das Walzgut 1 querschnittreduzierend gewalzt. Die Anzahl an Walzgerüsten 4 liegt in der Regel zwischen 4 und 8, beispielsweise bei 6 oder 7. Alternativ kann ein reversierendes Walzen erfolgen. In diesem Fall ist in der Regel ein einziges Walzgerüst 4 vorhanden.

[0026] Der andere Anlagenteil 3, 2 ist als von der Fertigstraße verschiedener Anlagenteil ausgebildet. Gemäß den FIG 2 und 3 ist der nachgeordnete Anlagenteil als Kühlstrecke ausgebildet, die einen Rollgang 5 und Kühleinrichtungen 6 aufweist. In der Kühlstrecke wird der Querschnitt des Walzguts 1 (mit Ausnahme der thermischen Schrumpfung) nicht mehr geändert. In der Kühlstrecke findet also kein Umformen des Walzguts 1 mehr statt. Gemäß den FIG 4 und 5 ist der vorgeordnete Anlagenteil 2 als Ofen ausgebildet, beispielsweise als Induktionsofen.

[0027] Wie in FIG 1 gestrichelt angedeutet ist, ist es möglich, dass dem vorgeordneten Anlagenteil 2 seinerseits ein weiterer Anlagenteil 7 vorgeordnet ist. Beispielsweise kann bei den Ausgestaltungen der FIG 2 und 3 der Fertigstraße zusätzlich ein Ofen und/oder weitere Komponenten vorgeordnet sein. Bei der Ausgestaltung gemäß FIG 5 ist beispielsweise dem Ofen als weiterer Anlagenteil 7 eine Vorstraße vorgeordnet. Der Vorstraße wiederum ist eine Stranggießanlage 8 vorgeordnet.

[0028] Ebenso können dem nachgeordneten Anlagenteil 3 entsprechend der gestrichelten Darstellung von FIG 1 weitere Anlagenteile 9 nachgeordnet sein. Beispielsweise kann bei der Ausgestaltung von FIG 4 der Fertigstraße als weiterer Anlagenteil 9 eine Kühlstrecke nachgeordnet sein.

[0029] Die weiteren Anlagenteile 7, 9 können in das nachfolgend näher erläuterte Steuerungskonzept mit

eingebunden sein. Alternativ ist es möglich, nur den vorgeordneten und den nachgeordneten Anlagenteil 2, 3 auf erfindungsgemäße Weise zu betreiben und die weiteren Anlagenteile 7, 9 anderweitig zu betreiben.

[0030] Die Grenzen zwischen den Anlagenteilen 8, 7, 2, 3, 9 können nach Bedarf bestimmt sein. Insbesondere müssen die Grenzen zwischen den Anlagenteilen 8, 7, 2, 3, 9 zwischen dem letzten Wirkelement des jeweils vorgeordneten Anlagenteils 8, 7, 2, 3 und dem ersten Wirkelement des jeweils nachgeordneten Anlagenteils 7, 2, 3, 9 liegen. Die Grenze zwischen einem Ofen und einem dem Ofen vorgeordneten Anlagenteil 7, beispielsweise der Vorstraße 7, liegt daher zwischen dem letzten Gerüst der Vorstraße 7 und der ersten Heizeinrichtung 18 des Ofens. In analoger Weise liegt die Grenze zwischen einem Ofen und der Fertigstraße zwischen der letzten Heizeinrichtung 18 des Ofens und dem ersten Gerüst 4 der Fertigstraße. Die Grenze zwischen der Fertigstraße und der Kühlstrecke liegt zwischen dem letzten Walzgerüst 4 der Fertigstraße und der ersten Kühleinrichtung 6 der Kühlstrecke. Wenn zwischen jeweils zwei unmittelbar aufeinander folgenden Anlagenteilen 8, 7, 2, 3, 9 ein Temperaturmessplatz 19 (oder ein anderer Messplatz, beispielsweise für die Banddicke oder das Bandprofil, angeordnet ist, stellt vorzugsweise der Ort der entsprechenden Messeinrichtung 19 die Grenze zwischen den Anlagenteilen 8, 7, 2, 3, 9 dar.

[0031] Die Behandlungsanlage der FIG 1 bis 5 wird von einer Steuereinrichtung 10 gesteuert (nur in FIG 1 dargestellt). Die Steuereinrichtung 10 ist in der Regel als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Dies ist in FIG 1 dadurch angedeutet, dass innerhalb der Steuereinrichtung 10 die Buchstaben "µP" eingeschrieben sind. Die Wirkungsweise der Steuereinrichtung 10 wird daher durch ein Computerprogramm 11 bestimmt. Das Computerprogramm 11 weist Maschinencode 12 auf, der von der Steuereinrichtung 10 unmittelbar abarbeitbar ist. Das Abarbeiten des Maschinencodes 12 durch die Steuereinrichtung 10 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 10 ein Steuerverfahren ausführt, das nachfolgend näher erläutert wird. Auf Grund der Abarbeitung des Maschinencodes 12 ist die Steuereinrichtung 10 derart ausgebildet, dass sie im Betrieb ein erfindungsgemäßes Steuerverfahren ausführt.

[0032] Das Computerprogramm 11 kann der Steuereinrichtung 10 auf beliebige Weise zugeführt werden, beispielsweise über eine Rechner-Rechner-Verbindung. Insbesondere ein Zuführen über das World Wide Web oder ein Local-Area-Network kommen in Frage. Alternativ ist es möglich, das Computerprogramm 11 der Steuereinrichtung 10 über einen mobilen Datenträger 13 zuzuführen, auf dem das Computerprogramm 11 in maschinenlesbarer Form gespeichert ist. Rein beispielhaft ist der mobile Datenträger 13 in FIG 1 als USB-Memorystick dargestellt. Er könnte jedoch auch anders ausgestaltet sein.

[0033] Nachfolgend wird in Verbindung mit FIG 6 ein mögliches erfindungsgemäßes Steuerverfahren erläutert.

[0034] Gemäß FIG 6 werden der Steuereinheit 10 in einem Schritt S1 ein momentaner Zustand Z und der momentane Ort eines Punktes 14 des Walzguts 1 zugeführt. Der momentane Ort ist auf die Bearbeitungsanlage bezogen. Er liegt am Anfang des vorgeordneten Anlagenteils 2, bei der Ausgestaltung der FIG 2 und 3 also beispielsweise vor dem ersten Walzgerüst 4 der Fertigstraße. Falls die Fertigstraße entsprechend der Darstellung von FIG 2 Zwischengerüstkühleinrichtungen 15 aufweist und auch vor dem ersten Walzgerüst 4 der Fertigstraße eine derartige Zwischengerüstkühleinrichtung 15 angeordnet ist, liegt der Ort auch vor dieser Zwischengerüstkühleinrichtung 15. Gegebenenfalls kann der Ort auch noch weiter vorne liegen.

[0035] Im Falle anderer Ausgestaltungen der Behandlungsanlage, beispielsweise der Ausgestaltung gemäß FIG 4, ist der Ort an anderer Stelle angeordnet. Wenn beispielsweise ein der Fertigstraße vorgeordneter Ofen mit in das erfindungsgemäße Steuerverfahren einbezogen ist, muss der Ort vor dem Ofen liegen, genauer vor der ersten Heizeinrichtung 18 des Ofens. Allgemein gilt, dass der Ort vor dem Anfang des ersten in das erfindungsgemäße Steuerverfahren einbezogenen Anlagenteils oder noch weiter vorne angeordnet sein muss.

[0036] Der Zustand Z kann der Steuereinrichtung 10 von außen vorgegeben werden oder anderweitig vorgegeben sein. Alternativ kann er messtechnisch erfasst werden. Auch Mischformen sind möglich. Beispielsweise kann zur Bestimmung des energetischen Zustands des betreffenden Punktes 14 an dem momentanen Ort ein Temperaturmessplatz 19 angeordnet sein, mittels dessen die aktuelle Temperatur T des Punktes 14 des Walzguts 1 an dessen Oberfläche erfasst wird. Der Temperaturverlauf über die Dicke des Walzguts 1 gesehen kann beispielsweise über ein Modell ermittelt werden. Derartige Modelle sind Fachleuten allgemein bekannt.

[0037] Es ist möglich, dass der energetische Zustand bereits durch die Temperatur T des Punktes 14 vollständig beschrieben ist. Denn die Temperatur T liegt in der Praxis oftmals in einem Bereich, in dem anhand der Temperatur eindeutig entschieden werden kann, in welchem Phasenzustand das Walzgut 1 vorliegt. Beispielsweise liegt beim Walzen von Stahl die Temperatur am Eingang der Fertigstraße regelmäßig bei 1.000°C oder mehr und damit weit oberhalb der Umwandlungstemperatur (ca. 723°C bis 911°C) von Stahl. Es ist daher bekannt, dass das Walzgut 1 in diesem Fall im Phasenzustand "Austenit" vorliegt.

[0038] Die Abmessungen des Walzguts 1 - beispielsweise bei einem bandförmigen Walzgut die Banddicke und die Bandbreite - können anderweitig ermittelt werden oder der Steuereinrichtung 10 auf andere Weise bekannt sein.

[0039] In einem Schritt S2 ermittelt die Steuereinrichtung 10 anhand eines gewünschten Endzustands Z*, den der Punkt 14 nach dem Durchlaufen des nachgeordneten Anlagenteils 3 aufweisen soll, eine gewünschte Endgrö-

ße. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 10 eine gewünschte Endenthalpie ermitteln, eine gewünschte Endtemperatur, einen gewünschten Phasenanteil des Walzguts 1, beispielsweise bei Stahl den Anteil an Austenit usw. Alternativ zum Ermitteln der Endgröße kann die gewünschte Endgröße der Steuereinrichtung 10 auch vorgegeben werden.

[0040] In einem Schritt S3 implementiert die Steuereinrichtung 10 für den erfassten Punkt 14 einen Stellgrößenermittler 16 (siehe FIG 10 und 11). Der Stellgrößenermittler 16 wird im Rahmen des Schrittes S3 mit dem Zustand Z des entsprechenden Punktes 14 initialisiert und gestartet. Der Stellgrößenermittler 16 ist als lokaler Stellgrößenermittler 16 an den jeweiligen Punkt 14 des Walzgutes 1 gekoppelt. Er bleibt während des gesamten Durchlaufs des Punktes 14 durch die Behandlungsanlage an diesen Punkt 14 gekoppelt.

[0041] Der implementierte lokale Stellgrößenermittler 16 gibt immer dann eine Stellgröße S an eine Einrichtung der Behandlungsanlage aus, wenn die jeweilige Einrichtung auf den jeweiligen Punkt 14 des Walzgutes 1 wirkt. Die jeweilige Einrichtung beeinflusst den Zustand Z des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes 1 nur lokal, also an der Stelle, an der die jeweilige Einrichtung angeordnet ist. Andere Stellen des Walzgutes 1 werden zu dem Zeitpunkt, zu dem die betreffende Einrichtung auf den betreffenden Punkt 14 des Walzgutes 1 wirkt, zwar möglicherweise von anderen Einrichtungen, nicht aber von dieser Einrichtung beeinflusst.

[0042] Die Zeitpunkte, zu denen die einzelnen Einrichtungen der Behandlungsanlage - beispielweise die Kühleinrichtungen 6 und die Zwischengerüstkühleinrichtungen 15 von FIG 2 oder die Heizeinrichtungen 18 des Ofens von FIG 4 - auf den entsprechenden Punkt 14 des Walzgutes 1 wirken, können ohne weiteres ermittelt werden. Insbesondere kann eine - dem Fachmann bekannte - Wegverfolgung implementiert werden.

[0043] In einem Schritt S4 setzt der lokale Stellgrößenermittler 16 einen vorläufigen Stellgrößenverlauf an. In einem Schritt S5 ermittelt der lokale Stellgrößenermittler 16 innerhalb eines Prognosehorizonts anhand eines Modells 17 des Walzgutes 1, das innerhalb der Steuereinrichtung 10 implementiert ist, einen erwarteten Zustand des entsprechenden Punktes 14, der am Ende des Prognosehorizonts erwartet wird. Der lokale Stellgrößenermittler 16 ermittelt den erwarteten Zustand des entsprechenden Punktes 14 unter der Annahme, dass ein momentan gegebener Massenflussverlauf, mit dem der entsprechende Punkt 14 die Behandlungsanlage jetzt und in der Zukunft voraussichtlich durchläuft, nicht verändert wird.

[0044] In der Regel müssen zum Ermitteln des erwarteten Zustands zeitabhängige Differenzialgleichungen gelöst werden. Es ist in diesem Fall erforderlich, in kleinen zeitlichen Schritten den Zustand fortzuschreiben. In diesem Fall wird daher der gesamte Zustandsverlauf ermittelt.

[0045] Die entsprechenden Modelle 17 sind als solche bekannt und nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Sie basieren auf der Fourierschen Wärmeleitungsgleichung, Phasenumwandlungsmodellen, Wärmeübergangsmodellen, Walzmodellen usw..

[0046] Im Rahmen der Prognose berücksichtigt der lokale Stellgrößenermittler 16 zum einen die Stellgröße S, mit der er als nächstes eine der den Zustand Z des entsprechenden Punktes 14 beeinflussenden Einrichtungen ansteuert.

[0047] In Einzelfällen - beispielsweise wenn nur eine einzige Heizeinrichtung 18 vorhanden ist - gibt der lokale Stellgrößenermittler 16 nur zu einem einzigen Zeitpunkt eine Stellgröße S aus. In der Regel gibt der lokale Stellgrößenermittler 16 jedoch zu mehreren Zeitpunkten jeweils eine Stellgröße S an die den jeweiligen Punkt 14 des Walzgutes 1 gerade beeinflussende Einrichtung aus. Falls der zeitliche Abstand der weiteren Zeitpunkte vom momentanen Zeitpunkt, zu dem der lokale Stellgrößenermittler seine Stellgröße S ausgibt, kleiner als der Prognosehorizont des lokalen Stellgrößenermittlers 16 ist, ermittelt der lokale Stellgrößenermittler 16 nicht nur die als nächstes auszugebende Stellgröße S, sondern auch für die innerhalb des Prognosehorizonts liegenden weiteren Zeitpunkte jeweils eine erwartete Stellgröße. Auch hier geht der lokale Stellgrößenermittler 16 davon aus, dass sich der momentane Massenflussverlauf, mit dem der betrachtete Punkt 14 jetzt und in der Zukunft die Behandlungsanlage voraussichtlich durchläuft, nicht ändert. Die ermittelten erwarteten Stellgrößen berücksichtigt der lokale Stellgrößenermittler 16 selbstverständlich bei der Ermittlung des am Ende des Prognosehorizonts erwarteten Zustands des entsprechenden Punktes 14 des Walzgutes 1. Der lokale Stellgrößenermittler 16 kann zu diesem Zweck insbesondere als modellprädiktiver Regler ausgebildet sein.

[0048] In einem Schritt S5 ermittelt der lokale Stellgrößenermittler 16 durch Optimieren (d. h. Minimieren oder Maximieren) einer Zielfunktion seine Stellgröße S. In die Zielfunktion geht - selbstverständlich - die Abweichung des prognostizierten Zustands von einem korrespondierenden Sollzustand des Punktes 14 des Walzgutes 1 ein. Alternativ können hierbei die Zustände selbst oder aus den Zuständen abgeleitete Größen herangezogen werden.

[0049] Zusätzlich zum gewünschten Endzustand können der Steuereinrichtung 10 auch für andere Orte der Behandlungsanlage und/ oder für bestimmte Zeiten, gerechnet ab dem Einlaufen des entsprechenden Punktes 14 des Walzgutes 1 in die Behandlungsanlage, gewünschte Zwischenzustände vorgegeben sein. Falls dies der Fall ist, werden für die entsprechenden Orte und/ oder Zeiten selbstverständlich entsprechende gewünschte Zwischengrößen ermittelt und bei der Ermittlung der Stellgröße S des lokalen Stellgrößenermittlers 16 berücksichtigt.

[0050] Die Zielfunktion ist in der Regel eine Funktion mit einer Vielzahl von Variablen. Die Zielfunktion wird in der Regel gemäß dem SQP-Verfahren minimiert (oder

maximiert). Das SQP-Verfahren ist Fachleuten bekannt.

[0051] Der lokale Stellgrößenermittler 16 gibt die von ihm ermittelte, momentan auszugebende Stellgröße S in einem Schritt S7 an diejenige Einrichtung aus, mittels welcher der Zustand Z des betreffenden Punktes 14 momentan beeinflusst werden kann. Die entsprechende Einrichtung ermittelt die Steuereinrichtung 10 beispielsweise mittels der bereits erwähnten Wegverfolgung. Weiterhin aktualisiert der jeweilige lokale Stellgrößenermittler 16 den Zustand Z des ihm zugeordneten Punktes 14.

[0052] Wie bereits erwähnt und auch in FIG 2 dargestellt, kann der lokale Stellgrößenermittler 16 beispielsweise auf Kühleinrichtungen 6, 15 wirken. Die Kühleinrichtungen können in der Kühlstrecke von FIG 2 angeordnet sein. Alternativ oder zusätzlich können die Kühleinrichtungen in der Fertigstraße angeordnet sein, also in dem gemäß FIG 2 vorgeordneten Anlagenteil 2. Ebenso kann beispielsweise in den Ausgestaltungen der FIG 4 und 5 der lokale Stellgrößenermittler 16 auf die Heizeinrichtungen 18 des Ofens wirken. Auch in diesem Fall sind die entsprechenden Einrichtungen somit im vorgeordneten Anlagenteil 2 angeordnet.

[0053] Der Prädiktionshorizont des lokalen Stellgrößenermittlers 16 ist geeignet bestimmt. Er ist insbesondere derart bestimmt, dass bei üblichen Walzgutgeschwindigkeiten der lokale Stellgrößenermittler 16 zu einem Zeitpunkt, zu dem er eine im vorgeordneten Anlagenteil 2 befindliche Einrichtung ansteuert (beispielsweise bei der Ausgestaltung gemäß FIG 2 eine der Zwischengerüstkühleinrichtungen 15 oder bei der Ausgestaltung gemäß FIG 4 eine der Heizeinrichtungen 18 des Ofens) einen prognostizierten Zustand des entsprechenden Punktes 14 des Walzgutes 1 berücksichtigt, der von dem entsprechenden Punkt 14 des Walzgutes 1 erst dann angenommen wird, wenn sich der entsprechende Punkt 14 im nachgeordneten Anlagenteil 3 befindet.

[0054] Dieser Sachverhalt ist in FIG 2 anschaulich dadurch dargestellt, dass rein beispielhaft verschiedene mögliche Prognosehorizonte eingezeichnet sind. Die möglichen Prognosehorizonte sind in FIG 2 mit den Bezugszeichen PH1 bis PH3 bezeichnet.

[0055] Gemäß dem Prognosehorizont PH1 berücksichtigt der lokale Stellgrößenermittler 16 dann, wenn er die Stellgröße S für die letzte Zwischengerüstkühleinrichtung 15 der Fertigstraße ermittelt, erwartete Zustände des entsprechenden Punktes 14 des Walzgutes 1, die der entsprechende Punkt 14 erst in der Kühlstrecke annimmt. Entsprechend dem Prognosehorizont PH2 ist dies bereits dann der Fall, wenn der lokale Stellgrößenermittler 16 die Stellgröße S für die vorletzte Zwischengerüstkühleinrichtung 15 ermittelt. Gemäß dem Prognosehorizont PH3 kann der Prognosehorizont sogar derart bestimmt sein, dass er sich vom erstmaligen Beeinflussen des Zustands des Walzgutes 1 im vorgeordneten Anlagenteil 2 (also beispielsweise bei FIG 2 bei der dem ersten Walzgerüst 4 vorgeordneten Zwischengerüstkühleinrichtung 15, bei der Ausgestaltung gemäß FIG 4 bei der ersten Heizeinrichtung 18) bis zum Auslaufen des Walzgutes 1 aus dem nachgeordneten Anlagenteil 3 erstreckt. Analoge Ausführungen gelten selbstverständlich auch bei den Ausgestaltungen der Behandlungsanlage gemäß den FIG 3, 4 und 5.

[0056] Der Prognosehorizont kann statisch oder dynamisch sein. Vorzugsweise ist der Prognosehorizont zu Beginn der Prognose statisch, bis der Prognosehorizont das Ende des nachgeordneten Anlagenteils 3 (bzw. allgemein des letzten in das erfindungsgemäße Steuerverfahren einbezogenen Anlagenteils) erreicht. Danach wird der Prognosehorizont vorzugsweise dynamisch verkürzt, so dass er sich von der jeweiligen aktuellen Position des dem jeweiligen lokalen Stellgrößenermittlers 16 zugeordneten Punktes 14 bis zum Ende des nachgeordneten Anlagenteils 3 erstreckt. Man kann sich den Prognosehorizont in diesem Fall wie einen Teleskopstab vorstellen, bei dem ein Ende an den dem jeweiligen lokalen Stellgrößenermittler 16 zugeordneten Punkt 14 gebunden ist und das andere Ende "in die Zukunft ragt". Der Teleskopstab bleibt ausgezogen, bis das andere Ende an das Ende des nachgeordneten Anlagenteils 3 "anstößt". Danach wird der Teleskopstab entsprechend "zusammengeschoben".

[0057] In Schritten S8 und S9 prüft die Steuereinrichtung 10, ob der betreffende Punkt 14 aus dem nachgeordneten Anlagenteil 3 ausgetreten ist, also beispielsweise bei der Ausgestaltung von FIG 2 die Kühlstrecke verlassen hat. Wenn dies nicht der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 10 zum Schritt S4 zurück. Wenn dies der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 10 zu einem Schritt S10 über. Im Schritt S10 löscht die Steuereinrichtung 10 den für den ausgetretenen Punkt 14 implementierten lokalen Stellgrößenermittler 16. Der ausgetretene Punkt 14 wird - zumindest im Rahmen des erfindungsgemäßen Steuerverfahrens - nicht weiter betrachtet.

[0058] Gegebenenfalls ist es möglich, zwischen den einzelnen Anlagenteilen 2, 3 und/oder hinter dem nachgeordneten Anlagenteil 3 - gemäß der Ausgestaltung von FIG 2 also beispielsweise zwischen der Fertigstraße und der Kühlstrecke und/oder hinter der Kühlstrecke - weitere Messeinrichtungen 19 anzuordnen, mittels derer eine mit der gewünschten Endgröße korrelierte Größe G erfasst wird, beispielsweise die Temperatur T des entsprechenden Punktes 14 des Walzgutes 1. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich, das Modell 17 zu adaptieren. Die entsprechende Vorgehensweise ist als solche bekannt und als solche nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

[0059] Das Verfahren von FIG 6 wird getaktet ausgeführt. Beispielsweise wird jeweils mit einem Arbeitstakt, der in der Regel zwischen 0,1 und 1,0 Sekunden liegt, jeweils ein neuer Punkt 14 des Walzgutes 1 erfasst. Bevorzugte Werte des Arbeitstaktes liegen zwischen 0,2 und 0,5 Sekunden, beispielsweise bei 0,3 Sekunden. Die Steuereinrichtung 10 führt das obenstehend in Verbindung mit FIG 6 erläuterte Verfahren daher parallel für alle Punkte 14 aus, die sich zu einem bestimmten Zeit-

punkt in der Behandlungsanlage befinden.

[0060] Weiterhin weist das Walzgut 1 beim Einlaufen in den vorgeordneten Anlagenteil 2 eine - konstante oder variable - Eingangsgeschwindigkeit v auf. Jeder der Punkte 14 korrespondiert daher mit einem Abschnitt des Walzgutes 1, dessen Länge dem Produkt des Arbeitstaktes mit der momentanen Eingangsgeschwindigkeit v ist, mit welcher der entsprechende Punkt 14 in den vorgeordneten Anlagenteil 2 einläuft.

[0061] Das nachfolgend in Verbindung mit FIG 7 erläuterte Verfahren wird vorzugsweise bei der Ausgestaltung der Behandlungsanlage gemäß FIG 2 oder FIG 3 angewendet. Das Verfahren weist Schritte S11 bis S24 auf. Die Schritte S11 bis S20 korrespondieren 1:1 mit den Schritten S1 bis S10 von FIG 6. Zu den Schritten S11 bis S20 sind daher keine näheren Erläuterungen mehr erforderlich.

[0062] Im Schritt S21 implementiert die Steuereinrichtung 10 einen globalen Stellgrößenermittler 20 (siehe FIG 10 und 11). Der globale Stellgrößenermittler 20 wirkt auf den Massenfluss des Walzgutes 1 und damit auf alle Punkte 14/Abschnitte 14 des Walzgutes 1 gleichzeitig. Die Einbindung des globalen Stellgrößenermittlers 20 in das erfindungsgemäße Steuerverfahren wird durch die Schritte S22 und S23 erreicht.

[0063] Im Schritt S22 ermittelt der globale Stellgrößenermittler 20 einen neuen Massenflussverlauf. Die Ermittlung erfolgt anhand der von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 im Schritt S16 ermittelten Stellgrößen S. Der globale Stellgrößenermittler 20 berücksichtigt im Rahmen des Schrittes S22 vorzugsweise sowohl die von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 im Schritt S17 auszugebenden Stellgrößen S als auch die von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 ermittelten erwarteten Stellgrößen, die innerhalb des Prognosehorizonts der lokalen Stellgrößenermittler 16 liegen.

[0064] Der globale Stellgrößenermittler 20 bewertet im Rahmen des Schrittes S22 die Stellgrößen S der lokalen Stellgrößenermittler 16 anhand mindestens einer Bewertungsgröße. Sowohl die Bewertungsgrößen als auch die von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 ermittelten Stellgrößen S stellen somit Eingangsgrößen des globalen Stellgrößenermittlers 20 dar. Bei den Bewertungsgrößen kann es sich (pro lokalem Stellgrößenermittler 16) insbesondere um mindestens eine der folgenden Größen handeln:

- eine minimal mögliche Stellgröße,
- eine maximal mögliche Stellgröße,
- einen Zwischenwert, der zwischen der minimal möglichen Stellgröße und der maximal möglichen Stellgröße liegt, und
- eine maximal mögliche Stellgrößenänderung.

[0065] Die ersten drei der genannten Größen sind für jede Stellgröße (egal, ob im Schritt S15 auszugeben oder nur innerhalb des Prognosehorizonts liegend) jeweils auf die Einrichtung 6, 15, 18 bezogen, auf die der jeweilige lokale Stellgrößenermittler 16 zum entsprechenden Ausgabezeitpunkt wirkt. Die Berücksichtigung der maximal möglichen Stellgrößenänderung ist nur dann sinnvoll, wenn der globale Stellgrößenermittler 20 mehrere Stellgrößen S miteinander in Bezug setzt, die vom selben lokalen Stellgrößenermittler 16 oder von mehreren lokalen Stellgrößenermittlern 16 nacheinander an dieselbe Einrichtung 6, 15, 18 ausgegeben werden.

[0066] Insbesondere kann der globale Stellgrößenermittler 20 analog zu den lokalen Stellgrößenermittlern 16 eine Zielfunktion aufstellen und optimieren. Insbesondere kann die Zielfunktion Strafterme enthalten, mit denen bestraft wird,

- wenn die Stellgrößen S der lokalen Stellgrößenermittler 16 sich der minimalen Stellgrenze und/oder der maximalen Stellgrenze annähern,
- wenn die Stellgrößen S der lokalen Stellgrößenermittler 16 sich zu weit von dem Zwischenwert entfernen und/oder
- wenn eine angeforderte Stellgrößenänderung sich der maximal möglichen Stellgrößenänderung annähert.

[0067] In analoger Weise können auch die Stellgrößen S' des globalen Stellgrößenermittlers 20 bewertet werden.

[0068] Durch Variieren des Massenflussverlaufs versucht der globale Stellgrößenermittler 20 im Schritt S22, die Bewertung zu optimieren. Beispielsweise versucht der globale Stellgrößenermittler 20, die von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 auszugebenden und erwarteten Stellgrößen S innerhalb des zulässigen Bereichs zu halten, möglichst von den Stellgrenzen beabstandet zu halten und die erwarteten Änderungsgeschwindigkeiten innerhalb des zulässigen Rahmens zu halten. Gleichzeitig berücksichtigt der globale Stellgrößenermittler 20 die korrespondierenden Grenzen für den Massenfluss. Auch der globale Stellgrößenermittler 20 kann als modellprädiktiver Regler ausgebildet sein.

[0069] Im Schritt S23 ermitteln die lokalen Stellgrößenermittler 16 ihre endgültigen Stellgrößen S anhand der vorläufigen Stellgrößen, des im Schritt S22 neu ermittelten Massenflussverlaufs und des zuvor gültigen Massenflussverlaufs. Im Gegensatz zum Schritt S16, bei dem die lokalen Stellgrößenermittler den erwarteten Zustand des entsprechenden Abschnitts 14 des Walzgutes 1 bis zu ihrem Prognosehorizont errechnen müssen, kann es im Rahmen des Schrittes S20 ausreichen, lediglich die momentan auszugebenden Stellgrößen S zu skalieren. Auch eine komplette Neuberechnung ist aber nicht ausgeschlossen. Unabhängig von der konkreten Vorgehensweise sind auf Grund der Modifikation der Stellgrößen S im Schritt S23 die im Schritt S16 ermittelten Stellgrößen S jedoch nur vorläufige Stellgrößen S.

[0070] Im Schritt S17 geben nur die lokalen Stellgrößenermittler 16 ihre Stellgröße S an die entsprechenden Einrichtungen 6, 15, 18 aus. In einem Schritt S24, der

quasi simultan zum Schritt S17 ausgeführt wird, gibt der globale Stellgrößenermittler 20 an Stellglieder für den Massenfluss - beispielsweise an Drehzahlregelungen 21 für die Walzgerüste 4 - entsprechende Stellgrößen S' aus.

[0071] Die in Verbindung mit FIG 7 beschriebene Vorgehensweise ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn entsprechend FIG 3 keine Zwischengerüstkühleinrichtungen 15 vorhanden sind. Sie ist jedoch auch dann möglich, wenn die Zwischengerüstkühleineinrichtungen 15 vorhanden sind. Unabhängig davon, ob die Zwischengerüstkühleinrichtungen 15 vorhanden sind oder nicht, gibt der globale Stellgrößenermittler 20 seine Stellgrößen S' jedoch zu einem Zeitpunkt aus, zu dem sich mehrere Abschnitte 14 im vorgeordneten Anlagenteil 2 (gemäß FIG 2 und FIG 3 beispielsweise die Fertigstraße) befinden.

[0072] Analog zu den lokalen Stellgrößenermittlern 16 weist auch der globale Stellgrößenermittler 20 einen Prognosehorizont auf. Der Prognosehorizont kann analog zu FIG 2 nach Bedarf bestimmt sein. Er kann gleich dem Prognosehorizont der lokalen Stellgrößenermittler 16 sein oder von diesem verschieden sein. FIG 3 zeigt - rein beispielhaft - einige mögliche Prognosehorizonte des globalen Stellgrößenermittlers 20, in FIG 3 mit PH4 und PH5 bezeichnet. Minimal (siehe den Prognosehorizont PH4) erstreckt sich der Prognosehorizont vom Anfang des vorgeordneten Anlagenteils 2 bis zur ersten Einrichtung 6 des nachgeordneten Anlagenteils 3, mittels derer der Zustand des Walzgutes 1 lokal beeinflusst werden kann. Maximal (siehe den Prognosehorizont PH5) erstreckt sich der Prognosehorizont vollständig vom Anfang des vorgeordneten Anlagenteils 2 bis zum Ende des nachgeordneten Anlagenteils 3, also bis zum Auslaufen des Walzgutes 1 aus dem nachgeordneten Anlagenteil 3. Auch noch größere Prognosehorizonte sind möglich. Analoge Ausführungen gelten selbstverständlich auch für die Ausgestaltungen der Behandlungsanlage gemäß den FIG 2 und 4.

[0073] Wenn der globale Stellgrößenermittler 20 vorhanden ist, ist es sogar möglich, dass die Eingangsgrößen des globalen Stellgrößenermittlers 20 auch erwartete Zustände von Abschnitten 14 des Walzgutes 1 umfassen, die noch nicht in den vorgeordneten Anlagenteil 2 eingelaufen sind. Es ist hierfür lediglich erforderlich, pro Abschnitt 14 den entsprechenden lokalen Stellgrößenermittler 16 rechtzeitig vorher zu implementieren, zu initialisieren und zu starten. Sofern dieser lokale Stellgrößenermittler 16 weiterhin für den noch nicht in den vorgeordneten Anlagenteil 2 eingelaufenen Abschnitt 14 des Walzgutes 1 bereits erwartete lokale Stellgrößen ermittelt, umfassen die Eingangsgrößen des globalen Stellgrößenermittlers 20 auch diese erwarteten Stellgrößen sowie die korrespondierenden Bewertungsgrößen.

[0074] Die Vorgehensweise von FIG 7 ist auch bei einer Behandlungsanlage gemäß FIG 2 anwendbar. Auch ist sie bei einer Behandlungsanlage gemäß FIG 4 anwendbar.

[0075] Wie obenstehend beschrieben, erfolgt bei der Ermittlung der Stellgrößen S' des globalen Stellgrößenermittlers 20 und der Stellgrößen S der lokalen Stellgrößenermittler 16 eine Prognose der Zustände Z der Abschnitte 14 des Walzgutes 1. Zusätzlich ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 20 für mindestens eine der den Zustand Z des Walzgutes 1 beeinflussenden Einrichtungen 6, 15, 18, 21 innerhalb eines weiteren (zweiten) Prognosehorizonts erwartete Zustände der jeweiligen Einrichtung 6, 15, 18, 21 ermittelt und die während dieses Prognosehorizonts erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung 6, 15, 18, 21 bei der Ermittlung der von den Stellgrößenermittlern 16, 20, an die jeweilige Einrichtung 6, 15, 18, 21 ausgegebenen Stellgrößen S, S' berücksichtigt. Dies wird nachfolgend in Verbindung mit den FIG 8 und 9 näher erläutert. FIG 8 zeigt hierbei eine mögliche Ausgestaltung von FIG 6, FIG 9 eine mögliche Ausgestaltung von FIG 7.

[0076] Gemäß FIG 8 sind zwischen die Schritte S6 und S7 zusätzliche Schritte S31 und S32 eingefügt. Im Schritt S31 ermittelt die Steuereinrichtung 10 für mindestens eine der Einrichtungen 6, 15, 18, die von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 beeinflusst werden, deren erwartete Zustände. Im Schritt S32 korrigiert die Steuereinrichtung 10, soweit erforderlich, unter Berücksichtigung der erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung 6, 15, 18 die Stellgrößen S, die von den lokalen Stellgrößenermittlern 16 an die Einrichtungen 6, 15, 18 ausgegeben werden.

[0077] Die Vorgehensweise von FIG 8 wird nachfolgend anhand eines einfachen Beispiels näher erläutert.

[0078] Man nehme an, eine bestimmte Kühleinrichtung 6 der Kühlstrecke beaufschlagt in einem bestimmten Arbeitstakt der Steuereinrichtung 10 einen bestimmten Abschnitt 14 des Walzgutes 1 mit einem Kühlmittel (beispielsweise Wasser). Im nächsten Arbeitstakt beaufschlagt die gleiche Kühleinrichtung 6 den nächsten Abschnitt 14, im übernächsten Arbeitstakt den übernächsten Abschnitt 14.

[0079] Der lokale Stellgrößenermittler 16, der in dem bestimmten Arbeitstakt auf die genannte Kühleinrichtung wirkt, hat als relative Stellgröße 80 % ermittelt. Der nächste und der übernächste lokale Stellgrößenermittler 16, welche den beiden nachfolgenden Abschnitten 14 des Walzgutes 1 zugeordnet sind, haben als erwartete Stellgrößen 50 % und 20 % ermittelt. Weiterhin wird angenommen, dass die auf die erstgenannte Kühleinrichtung 6 nachfolgende Kühleinrichtung 6 von den drei soeben genannten lokalen Stellgrößenermittlern mit 60 %, 60 % und 40 % angesteuert werden sollen. Man nehme weiterhin an, dass die Kühleinrichtungen 6 gleich ausgebildet sind und ihren Kühlmittelfluss von Arbeittakt zu Arbeitstakt maximal um 25 % ändern können.

[0080] Wenn unter den oben genannten Annahmen die Schritte S31 und S32 nicht vorhanden sind, wird nur der die beiden Kühleinrichtungen 6 zuerst durchlaufende Abschnitt 6 korrekt mit 80 % und 60 % gekühlt. Der zweite Abschnitt kann jedoch von der ersten Kühleinrichtung

nur mit 55 % gekühlt werden, weil die erste Kühleinrichtung 6 den Kühlmittelmengenfluss, ausgehend von 80 %, nicht schneller drosseln kann. Der Fehler beträgt also 5 %. Der nächste Abschnitt wird mit 30 % statt mit 20 % gekühlt. Der Grund ist der gleiche: Die entsprechende Kühleinrichtung 6 kann den Kühlmittelmengenfluss nur von 55 % auf 30 % drosseln.

[0081] Unter Berücksichtigung der Zustände der Kühleinrichtungen 6 und insbesondere deren Stellmöglichkeiten (minimaler und maximaler Kühlmittelfluss, maximale Kühlmittelflussänderung pro Arbeitstakt) ist es jedoch möglich, eine intelligente Verschiebung des Kühlmittelmengenflusses vorzunehmen, so dass beispielsweise der erste Abschnitt 14 von den beiden behandelten Kühleinrichtungen 6 mit 75 % und 65 % gekühlt wird, der zweite Abschnitt mit 50 % und 60 % und der dritte Abschnitt 14 mit 25 % und 35% . Dadurch wird im Ergebnis erreicht, dass - über beide Kühleinrichtungen 6 gesehen - die drei Abschnitte 14 des Walzgutes im Ergebnis mit der richtigen Kühlmittelmenge gekühlt wird. Durch das geschickte Verlagern der Kühlmittelmengen kann daher eine Optimierung erfolgen.

[0082] In analoger Weise können bei der Vorgehensweise gemäß FIG 9 nach dem Schritt S16 Schritte S41 und S42 vorhanden sein. Die Schritte S41 und S42 entsprechen inhaltlich den Schritten S31 und S32 von FIG 8.

[0083] Alternativ oder zusätzlich können Schritte S43 und S44 vorhanden sein, die nach dem Schritt S23 eingefügt sind. Auch die Schritte S43 und S44 können inhaltlich den Schritten S31 und S32 von FIG 8 entsprechen. Das Vorhandensein der Schritte S43 und S44 zusätzlich zu den Schritten S41 und S42 kann insbesondere deshalb sinnvoll sein, weil sich auf Grund des Schrittes S22 die Stellgrößen S der lokalen Stellgrößenermittler 16 geändert haben können.

[0084] Gegebenenfalls kann es weiterhin sinnvoll sein, dem Schritt S22 Schritte S45 und S46 nachzuordnen. In den Schritten S45 und S46 werden in Bezug auf die Stellglieder 21 für den Massenfluss zu den Schritten S31 und S32 analoge Vorgehensweisen ergriffen.

[0085] Wie bereits erwähnt, ermitteln die Stellgrößenermittler 16, 20 ihre jeweiligen Stellgrößen S, S' in der Regel durch Optimieren einer jeweiligen Zielfunktion. In die Zielfunktion können - zusätzlich zur Abweichung des prognostizierten Zustands von einem korrespondierenden Sollzustand - vorzugsweise eine oder mehrere der folgenden Größen eingehen:

- der Abstand der Stellgrößen S, S' von den Stellgrenzen der vom jeweiligen Stellgrößenermittler 16, 20 angesteuerten Einrichtungen 6, 15, 18, 21 (Minimal- und Maximalwerte);
- die Abweichungen der ausgegebenen und zukünftig erwarteten Stellgrößen S, S' von einem Zwischenwert, der meist etwa in der Mitte zwischen den Stellgrenzen der jeweiligen Einrichtung 6, 15, 18, 21 liegt;
- eventuell, bezogen auf die jeweilige Einrichtung 6, 15, 18, 21, der Abstand der erwarteten Stellgrößenänderungen von der maximal möglichen Änderungsgeschwindigkeit der Stellgrößen S, S';
- insbesondere in dem Fall, dass die Behandlungsanlage einen Ofen aufweist, eine maximal zulässige Temperatur des Walzgutes 1 und der Abstand der tatsächlichen Temperatur T von diesem Wert;
- ein Gesamtenergieverbrauch der Behandlungsanlage.

[0086] Die Zielfunktion wird (selbstverständlich) umso besser gelöst, je geringer die Abweichung des innerhalb des Prognosehorizonts PH1 bis PH5 erwarteten Zustands und/oder des am Ende des Prognosehorizonts PH1 bis PH5 erwarteten Zustands von entsprechenden Sollzuständen ist. Sofern eine oder mehrere der oben genannten weiteren Größen berücksichtigt werden, wird die Zielfunktion umso besser gelöst,

- je weiter die ausgegebenen und zukünftigen Stellgrößen S, S' von den Stellgrenzen der jeweils angesteuerten Einrichtungen 6, 15, 18, 21 entfernt sind,
- je näher die Abweichungen der ausgegebenen und zukünftig erwarteten Stellgrößen S, S' an den Zwischenwerten liegen und/oder
- je weiter die angeforderten Änderungsgeschwindigkeiten von den maximal möglichen Änderungsgeschwindigkeiten der ausgegebenen und zukünftigen Stellgrößen S, S' entfernt sind.

[0087] Alternativ oder zusätzlich - vorzugsweise alternativ - zum Berücksichtigen der Stellgrenzen und der maximal möglichen Änderungsgeschwindigkeiten der Stellgrößen S, S' ist es möglich, zusätzlich zur Zielfunktion entsprechende Gleichungsund Ungleichungsnebenbedingungen aufzustellen. In diesem Fall werden die Nebenbedingungen im Rahmen der Optimierung (= Maximierung oder Minimierung) der Zielfunktion berücksichtigt. Beispielsweise kann bei der Optimierung der Zielfunktion als zu beachtende Nebenbedingung aufgestellt werden, dass die Kühlung durch die Kühleinrichtungen 6, 15 nicht negativ sein kann und einen gewissen (anlagenspezifischen, gegebenenfalls auch dynamischen) Maximalwert nicht übersteigen kann. Das erwähnte SQP-Verfahren ist in der Lage, derartige Nebenbedingungen zu berücksichtigen.

[0088] Die Steuereinrichtung 10, die das erfindungsgemäße Steuerverfahren implementiert, muss eine hohe Rechenleistung aufweisen. Es kann möglich sein, diese Rechenleistung entsprechend der Darstellung von FIG 10 in einer einzigen, einheitlichen, nicht in mehrere Teilsteuereinrichtungen aufgeteilten Steuereinrichtung 10 zu realisieren, welche die gesamte Behandlungsanlage steuert. Alternativ ist es entsprechend der Darstellung von FIG 11 möglich, dass die Steuereinrichtung 10 in mehrere Teilsteuereinrichtungen 22 aufgeteilt ist. Wenn eine derartige Aufteilung vorgenommen wird, ist jedoch vorzugsweise jeder implementierte lokale Stellgrößenermittler 16 während des gesamten Durchlaufs des je-

weiligen Abschnitts 14 des Walzgutes 1 durch die Behandlungsanlage auf ein und derselben Teilsteuereinrichtung 22 implementiert. Es ist also vorzugsweise nicht so, dass der jeweilige lokale Stellgrößenermittler 16 beispielsweise von der in FIG 11 links dargestellten Teilsteuereinrichtung 22 zu der in FIG 11 rechts dargestellten Teilsteuereinrichtung 22 übertragen wird, wenn - beispielsweise - der entsprechende Abschnitt 14 des Walzgutes 1 vom vorgeordneten Anlagenteil 2 in den nachgeordneten Anlagenteil 3 übertritt.

[0089] Die obenstehend erläuterten Vorgehensweisen sind in analoger Form auch auf die Ausgestaltungen der Behandlungsanlage gemäß den FIG 4 und 5 anwendbar. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Abschnitte 14 des Walzgutes 1 mittels der Heizeinrichtungen 18 des Ofens nicht gekühlt, sondern erhitzt werden.

[0090] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ist erstmals eine anlagenteilübergreifende Prognose realisiert. Denn im Stand der Technik wird zwar bereits eine Modellprädiktion und damit verbunden eine Prognose verwendet. Die Prognosen erfolgen im Stand der Technik jedoch stets auf dem jeweiligen Anlagenteil 2, 3 beschränkt.

[0091] Weiterhin ist es insbesondere bei der Ausgestaltung der Behandlungsanlage gemäß den FIG 4 und 5 möglich, den Ofen als vorgeordneten Anlagenteil 2 dazu zu verwenden, die Endwalztemperatur am Auslauf der Fertigstraße als nachgeordnetem Anlagenteil 3 einzustellen. Lediglich der Prognosehorizont muss hierzu hinreichend groß gewählt werden.

[0092] Diese Ausgestaltung ist insbesondere dann von entscheidender Bedeutung, wenn in der Fertigstraße zum einen keine Zwischengerüstkühleinrichtungen 15 vorhanden sind und zum anderen die Eingangsgeschwindigkeit v, mit welcher das Walzgut 1 in die Fertigstraße einläuft, aus technologischen Gründen festgelegt ist. Denn dann stehen innerhalb der Fertigstraße keinerlei Stellglieder zur Verfügung, mittels derer die Endwalztemperatur am Ausgang der Fertigstraße eingestellt werden kann. Durch die erfindungsgemäße Vorgehensweise kann jedoch der Ofen (= vorgeordneter Anlagenteil 2) dazu verwendet werden, die Endwalztemperatur (nicht die Eingangstemperatur am Einlauf der Fertigstraße) entsprechend einzustellen.

[0093] Die Eingangsgeschwindigkeit v, mit der das Walzgut 1 in die Fertigstraße einläuft, kann beispielsweise deshalb festgelegt sein, weil der Fertigstraße entsprechend der Darstellung von FIG 5 zum einen als weitere vorgeordnete Einrichtung 7 die Vorstraße und dieser wiederum die Stranggießanlage 8 vorgeordnet sind. Denn eine Gießgeschwindigkeit der Stranggießanlage 8 ist im Wesentlichen durch das Erstarrungsverhalten des gegossenen Metalls bestimmt und nur in sehr engen Grenzen einstellbar. Die Eingangsgeschwindigkeit v des Walzgutes 1 ist in diesem Fall durch die mehr oder minder fest vorgegebene Gießgeschwindigkeit und die Querschnittabnahme des Walzgutes 1 in der Vorstraße festgelegt.

[0094] 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. Steuerverfahren für eine Behandlungsanlage für ein langgestrecktes Walzgut (1), insbesondere ein bandförmiges Walzgut (1),

   - wobei die Behandlungsanlage zumindest einen vorgeordneten Anlagenteil (2) und einen nachgeordneten Anlagenteil (3) aufweist, die von dem Walzgut (1) unmittelbar nacheinander durchlaufen werden,
   - wobei der vorgeordnete oder der nachgeordnete Anlagenteil (2, 3) als Fertigstrasse ausgebildet ist, in der das Walzgut (1) querschnittreduzierend gewalzt wird, und der andere Anlagenteil (3, 2) als von der Fertigstrasse verschiedener Anlagenteil ausgebildet ist,
   - wobei einer Steuereinrichtung (10) für die Behandlungsanlage für Abschnitte (14) des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes (1) jeweils zumindest eine Endgröße vorgegeben ist,
   - wobei die jeweilige Endgröße aus einem jeweiligen gewünschten Endzustand (Z*) abgeleitet ist, den der jeweilige Abschnitt (14) des Walzgutes (1) nach dem Durchlaufen des nachgeordneten Anlagenteils (3) aufweisen soll,
   - wobei die Steuereinrichtung (10) mindestens einen Stellgrößenermittler (16, 20) implementiert,
   - wobei der Stellgrößenermittler (16, 20) an mindestens eine den Zustand (Z) mindestens eines der Abschnitte (14) des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes (1) beeinflussende Einrichtung (6, 15, 18, 21) eine Stellgröße (S, S') ausgibt,
   - wobei der Stellgrößenermittler (16, 20) die Stellgröße (S, S') zu einem Zeitpunkt ausgibt, zu dem der mindestens eine Abschnitt (14) sich im vorgeordneten Anlagenteil (2) befindet,
   - wobei der Stellgrößenermittler (16, 20) bei der Ermittlung der Stellgröße (S, S') modellgestützt ermittelte erwartete Zustände des mindestens einen Abschnitts (14) des Walzgutes (1) berücksichtigt, die innerhalb eines ersten Prognosehorizonts (PH1 bis PH5) des jeweiligen Stellgrößenermittlers (16, 20) liegen,
   - wobei der erste Prognosehorizont (PH1 bis PH5) derart bestimmt ist, dass der Stellgrößenermittler (16, 20) bei der Ermittlung der von ihm

ausgegebenen Stellgröße (S, S') mindestens einen für den mindestens einen Abschnitt (14) des Walzgutes (1) prognostizierten Zustand berücksichtigt, der für den mindestens einen Abschnitt (14) des Walzgutes (1) im nachgeordneten Anlagenteil (3) erwartet wird.

2. Steuerverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Steuereinrichtung (10) für jeden Abschnitt (14) des Walzgutes (1) jeweils einen Stellgrößenermittler (16) implementiert, der während des gesamten Durchlaufs des jeweiligen Abschnitts (14) des Walzgutes (1) durch die Behandlungsanlage als lokaler Stellgrößenermittler (16) an den jeweiligen Abschnitt (14) des Walzgutes (1) gekoppelt bleibt, und
- **dass** der jeweilige lokale Stellgrößenermittler (16) dann an eine den Zustand (Z) des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes (1) lokal beeinflussende Einrichtung (6, 15, 18) eine Stellgröße (S) ausgibt, wenn die jeweilige Einrichtung (6, 15, 18) auf den jeweiligen Abschnitt (14) des Walzgutes (1) wirkt.

3. Steuerverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der den Zustand (Z) des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes (1) lokal beeinflussenden Einrichtungen (15, 18) im vorgeordneten Anlagenteil (2) angeordnet ist.

4. Steuerverfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (10) als einheitliche, nicht in mehrere Teilsteuereinrichtungen aufgeteilte, die gesamte Behandlungsanlage steuernde Steuereinrichtung (10) ausgebildet ist oder dass die Steuereinrichtung (10) zwar in mehrere Teilsteuereinrichtungen (22) aufgeteilt ist, der jeweilige lokale Stellgrößenermittler (16) aber während des gesamten Durchlaufs des jeweiligen Abschnitts (14) des Walzgutes (1) durch die Behandlungsanlage auf ein und derselben Teilsteuereinrichtung (22) implementiert ist.

5. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (10) für alle Abschnitte (14) des Walzgutes (1) einen Stellgrößenermittler (20) implementiert, der als globaler Stellgrößenermittler (20) auf den Massenfluss des Walzgutes (1) wirkt.

6. Steuerverfahren nach Anspruch 5 und einem der Ansprüche 2, 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die von den lokalen Stellgrößenermittlern (16) entsprechend der obenstehend erläuterten Weise ermittelten Stellgrößen (S) zunächst vorläufige Stellgrößen (S) sind, wobei die lokalen Stellgrößenermittler (16) die vorläufigen Stellgrößen (S) unter der Annahme ermitteln, dass ein momentan gegebener Massenflussverlauf nicht verändert wird,
- **dass** der globale Stellgrößenermittler (20) anhand von Eingangsgrößen einen neuen Massenflussverlauf ermittelt,
- **dass** die Eingangsgrößen zumindest die von den lokalen Stellgrößenermittlern (16) ermittelten vorläufigen Stellgrößen (S) sowie mindestens eine Bewertungsgröße für die vorläufigen Stellgrößen (S) umfassen, wobei die Bewertungsgröße eine minimal mögliche Stellgröße, eine maximal mögliche Stellgröße, eine maximal mögliche Stellgrößenänderung oder ein Zwischenwert ist, der zwischen der minimal möglichen Stellgröße und der maximal möglichen Stellgröße liegt, und
- **dass** die lokalen Stellgrößenermittler (16) ihre endgültigen Stellgrößen (S) anhand der vorläufigen Stellgrößen (S), des momentan gegebenen Massenflussverlaufs und des neuen Massenflussverlaufs ermitteln.

7. Steuerverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eingangsgrößen auch erwartete Zustände mindestens eines Abschnitts (14) des Walzgutes (1), der noch nicht in den vorgeordneten Anlagenteil (2) eingelaufen ist, und/oder für diesen Abschnitt (14) des Walzgutes (2) von einem entsprechenden lokalen Stellgrößenermittler (16) ermittelte erwartete vorläufige Stellgrößen sowie die jeweils korrespondierende Bewertungsgröße umfassen.

8. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** der mindestens eine Stellgrößenermittler (16, 20) zu mehreren Zeitpunkten jeweils eine Stellgröße (S, S') an die den Zustand (Z) mindestens eines der Abschnitte (14) des die Behandlungsanlage durchlaufenden Walzgutes (1) beeinflussende Einrichtung (6, 15, 18, 21) ausgibt,
- **dass** der zeitliche Abstand eines ersten und eines zweiten der Zeitpunkte kleiner als der erste Prognosehorizont (PH1 bis PH5) ist,
- **dass** der mindestens eine Stellgrößenermittler (16, 20) zur Ermittlung der zum ersten der Zeitpunkte ausgegebenen Stellgröße (S, S') eine für den zweiten der Zeitpunkte erwartete Stellgröße ermittelt und
- **dass** der mindestens eine Stellgrößenermittler (16, 20) die für den zweiten der Zeitpunkte erwartete Stellgröße bei der Ermittlung der zeitlich

nach dem zweiten der Zeitpunkte, aber noch innerhalb des ersten Prognosehorizonts (PH1 bis PH5) liegenden prognostizierten Zustände berücksichtigt.

9. Steuerverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Stellgrößenermittler (16, 20) als modellprädiktiver Regler ausgebildet ist.

10. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Prognosehorizont (PH1 bis PH5) derart bestimmt ist, dass er sich zumindest vom erstmaligen Beeinflussen des Zustands (Z) des Walzgutes (1) im vorgeordneten Anlagenteil (2) bis zum Auslaufen des Walzgutes (1) aus dem nachgeordneten Anlagenteil (3) erstreckt.

11. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (10) für mindestens eine der den Zustand (Z) des Walzgutes (1) beeinflussenden Einrichtungen (6, 15, 18, 21) innerhalb eines zweiten Prognosehorizonts erwartete Zustände der jeweiligen Einrichtung (6, 15, 18, 21) ermittelt und dass die Steuereinrichtung (10) die während des zweiten Prognosehorizonts erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung (6, 15, 18, 21) bei der Ermittlung der von den Stellgrößenermittlern (16, 20) an die jeweilige Einrichtung (6, 15, 18, 21) ausgegebenen Stellgrößen (S, S') berücksichtigt.

12. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stellgrößenermittler (16, 20) die Stellgröße (S, S') durch Optimieren einer Zielfunktion ermittelt, wobei in die Zielfunktion außer der Abweichung eines prognostizierten Zustands mindestens eines Abschnitts (14) des Walzgutes (1) von einem entsprechenden Sollzustand ein Energieverbrauch der Behandlungsanlage eingeht.

13. Computerprogramm, das Maschinencode (12) aufweist, der von einer Steuereinrichtung (10) für eine Behandlungsanlage für ein Walzgut (1), insbesondere ein bandförmiges Walzgut (1), unmittelbar abarbeitbar ist und dessen Abarbeitung durch die Steuereinrichtung (10) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (10) ein Steuerverfahren mit allen Schritten eines Steuerverfahrens nach einem der obigen Ansprüche ausführt.

14. Computerprogramm nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** es auf einem Datenträger (13) in maschinenlesbarer Form gespeichert ist.

15. Steuereinrichtung für eine Behandlungsanlage für ein Walzgut (1), insbesondere ein bandförmiges Walzgut (1), **dadurch gekennzeichnet, dass** sie derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein Steuerverfahren mit allen Schritten eines Steuerverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ausführt.

FIG 1

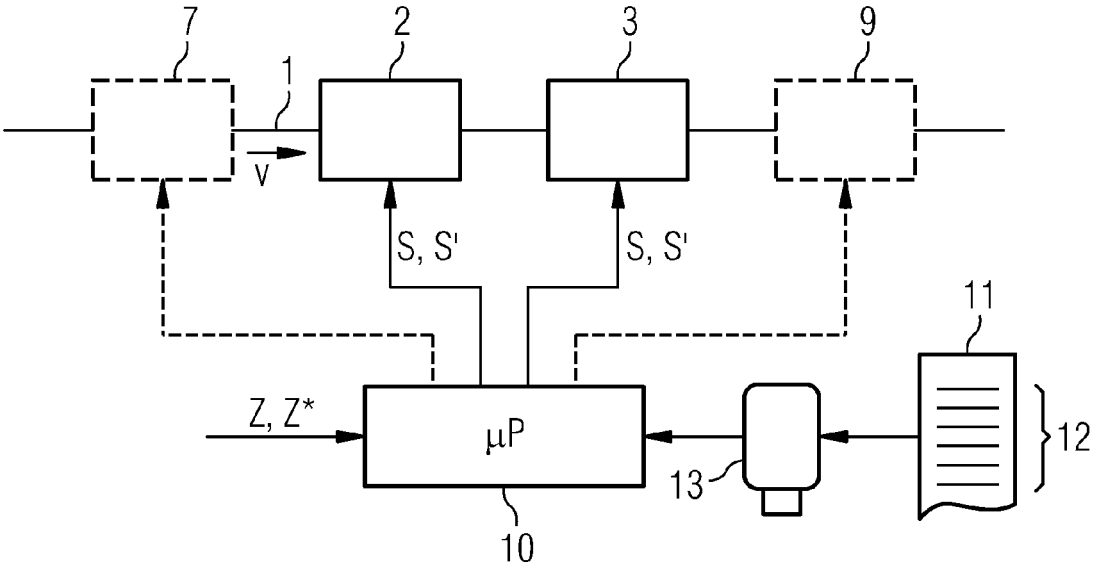


FIG 2

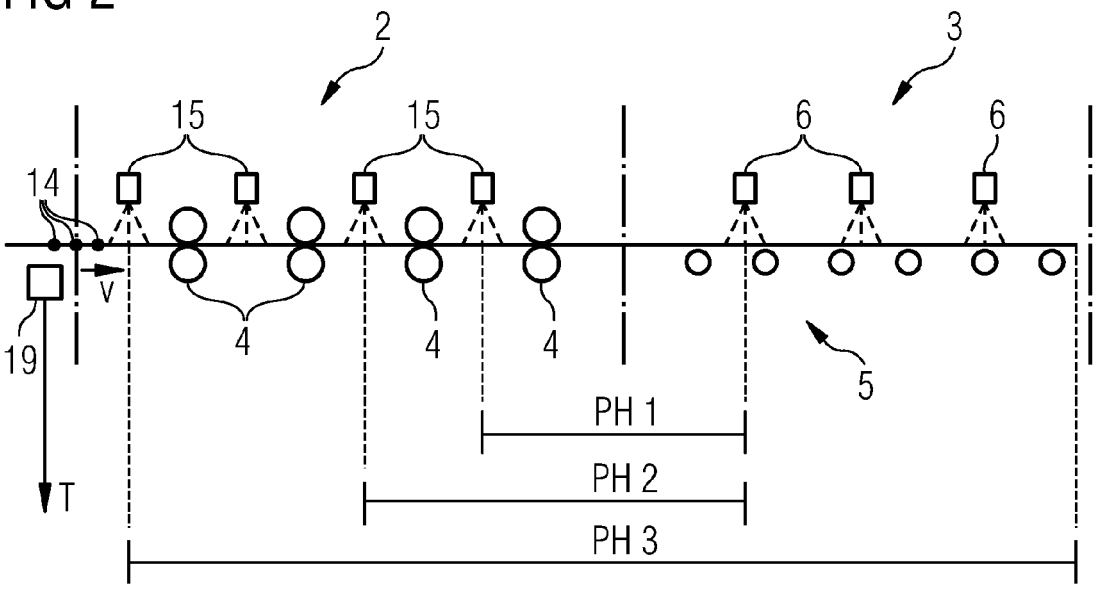


FIG 3

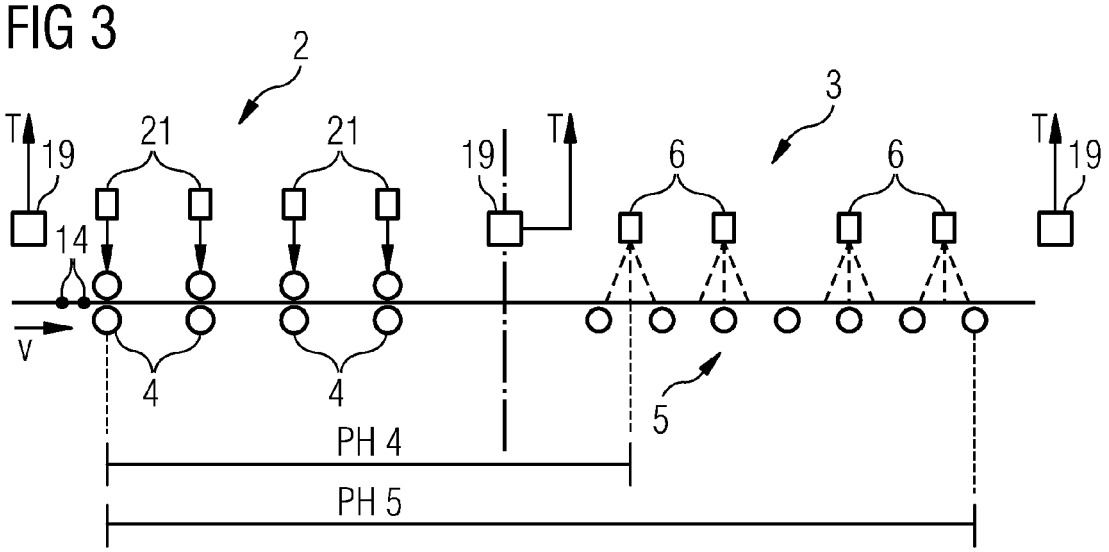


FIG 4

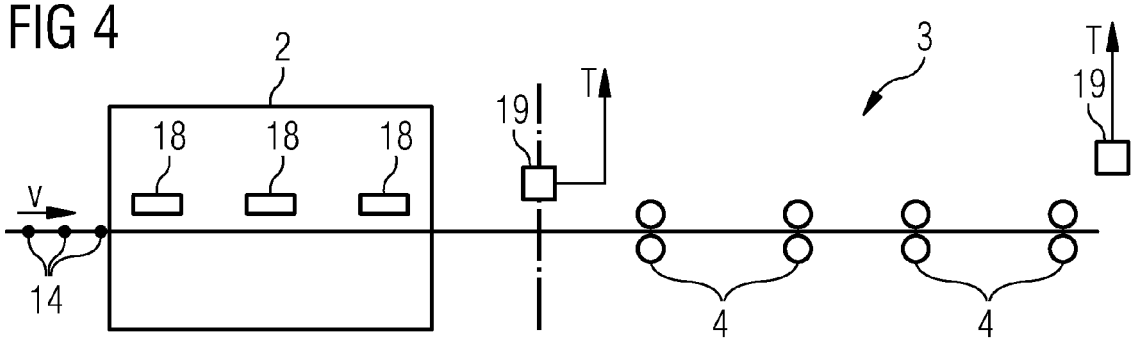


FIG 5

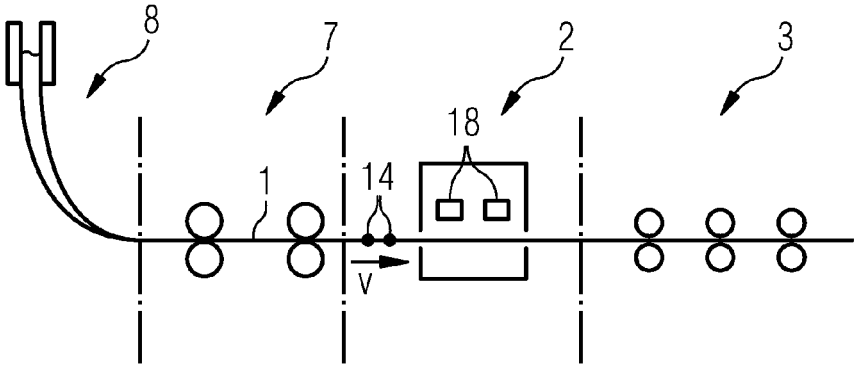


FIG 6

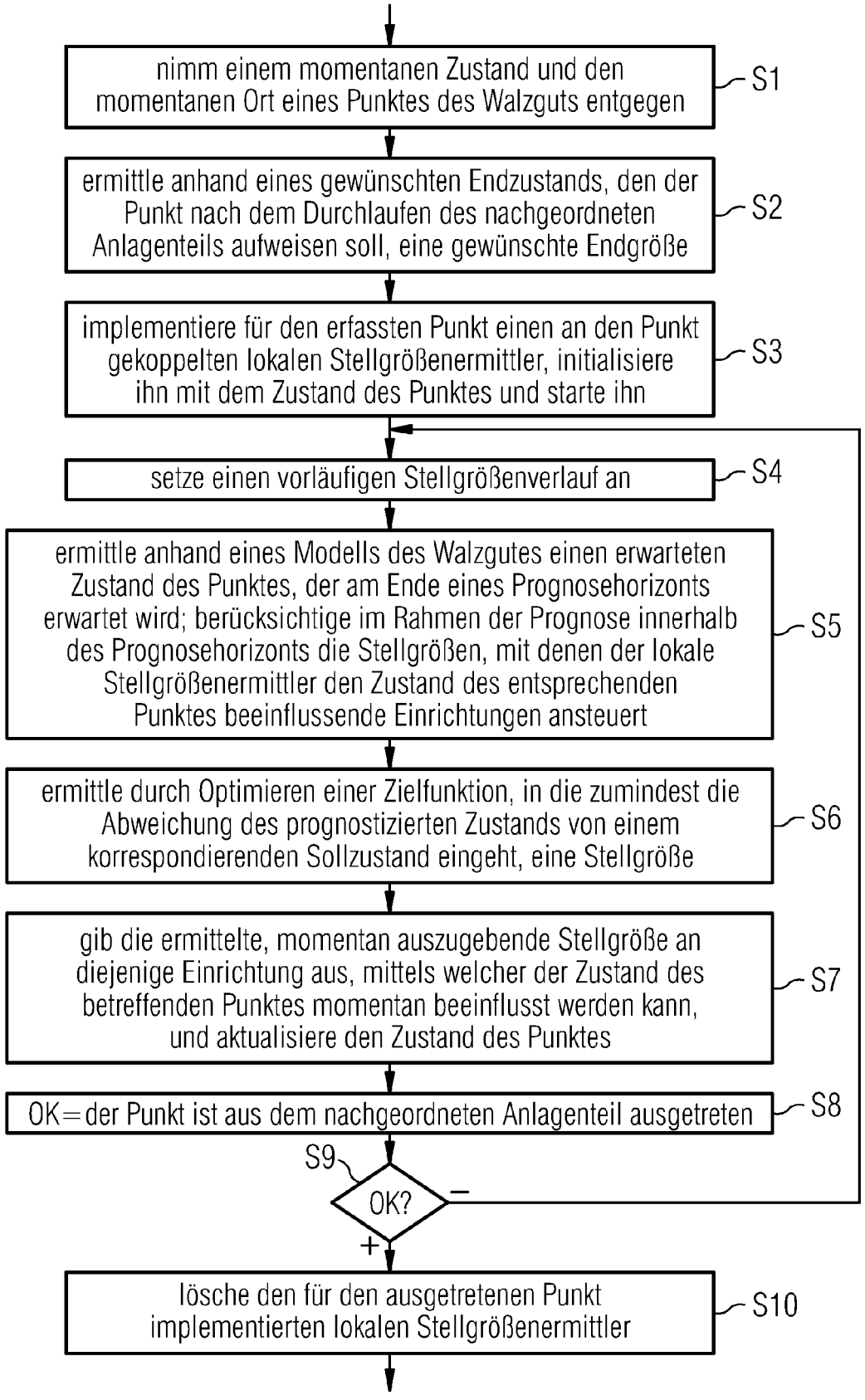

nimm einem momentanen Zustand und den momentanen Ort eines Punktes des Walzguts entgegen
S1
ermittle anhand eines gewünschten Endzustands, den der Punkt nach dem Durchlaufen des nachgeordneten Anlagenteils aufweisen soll, eine gewünschte Endgröße
S2
implementiere für den erfassten Punkt einen an den Punkt gekoppelten lokalen Stellgrößenermittler, initialisiere ihn mit dem Zustand des Punktes und starte ihn
S3
setze einen vorläufigen Stellgrößenverlauf an
S4
ermittle anhand eines Modells des Walzgutes einen erwarteten Zustand des Punktes, der am Ende eines Prognosehorizonts erwartet wird; berücksichtige im Rahmen der Prognose innerhalb des Prognosehorizonts die Stellgrößen, mit denen der lokale Stellgrößenermittler den Zustand des entsprechenden Punktes beeinflussende Einrichtungen ansteuert
S5
ermittle durch Optimieren einer Zielfunktion, in die zumindest die Abweichung des prognostizierten Zustands von einem korrespondierenden Sollzustand eingeht, eine Stellgröße
S6
gib die ermittelte, momentan auszugebende Stellgröße an diejenige Einrichtung aus, mittels welcher der Zustand des betreffenden Punktes momentan beeinflusst werden kann, und aktualisiere den Zustand des Punktes
S7
OK=der Punkt ist aus dem nachgeordneten Anlagenteil ausgetreten
S8
S9
OK?
−
+
lösche den für den ausgetretenen Punkt implementierten lokalen Stellgrößenermittler
S10

FIG 7

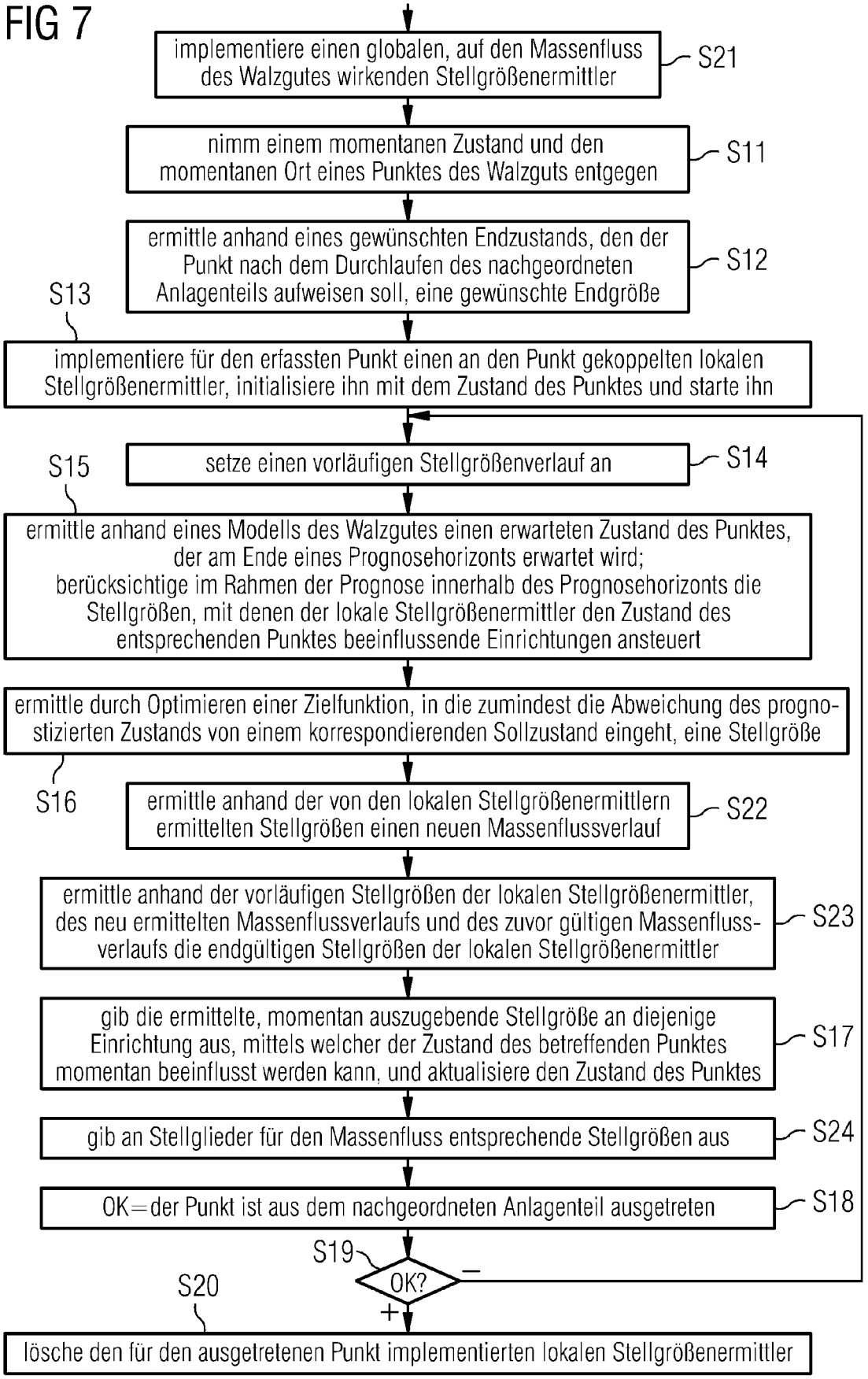

implementiere einen globalen, auf den Massenfluss des Walzgutes wirkenden Stellgrößenermittler
S21
nimm einem momentanen Zustand und den momentanen Ort eines Punktes des Walzguts entgegen
S11
ermittle anhand eines gewünschten Endzustands, den der Punkt nach dem Durchlaufen des nachgeordneten Anlagenteils aufweisen soll, eine gewünschte Endgröße
S12
S13
implementiere für den erfassten Punkt einen an den Punkt gekoppelten lokalen Stellgrößenermittler, initialisiere ihn mit dem Zustand des Punktes und starte ihn
S15
setze einen vorläufigen Stellgrößenverlauf an
S14
ermittle anhand eines Modells des Walzgutes einen erwarteten Zustand des Punktes, der am Ende eines Prognosehorizonts erwartet wird; berücksichtige im Rahmen der Prognose innerhalb des Prognosehorizonts die Stellgrößen, mit denen der lokale Stellgrößenermittler den Zustand des entsprechenden Punktes beeinflussende Einrichtungen ansteuert
ermittle durch Optimieren einer Zielfunktion, in die zumindest die Abweichung des prognostizierten Zustands von einem korrespondierenden Sollzustand eingeht, eine Stellgröße
S16
ermittle anhand der von den lokalen Stellgrößenermittlern ermittelten Stellgrößen einen neuen Massenflussverlauf
S22
ermittle anhand der vorläufigen Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler, des neu ermittelten Massenflussverlaufs und des zuvor gültigen Massenflussverlaufs die endgültigen Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler
S23
gib die ermittelte, momentan auszugebende Stellgröße an diejenige Einrichtung aus, mittels welcher der Zustand des betreffenden Punktes momentan beeinflusst werden kann, und aktualisiere den Zustand des Punktes
S17
gib an Stellglieder für den Massenfluss entsprechende Stellgrößen aus
S24
OK=der Punkt ist aus dem nachgeordneten Anlagenteil ausgetreten
S18
S19
OK?
−
+
S20
lösche den für den ausgetretenen Punkt implementierten lokalen Stellgrößenermittler

FIG 8

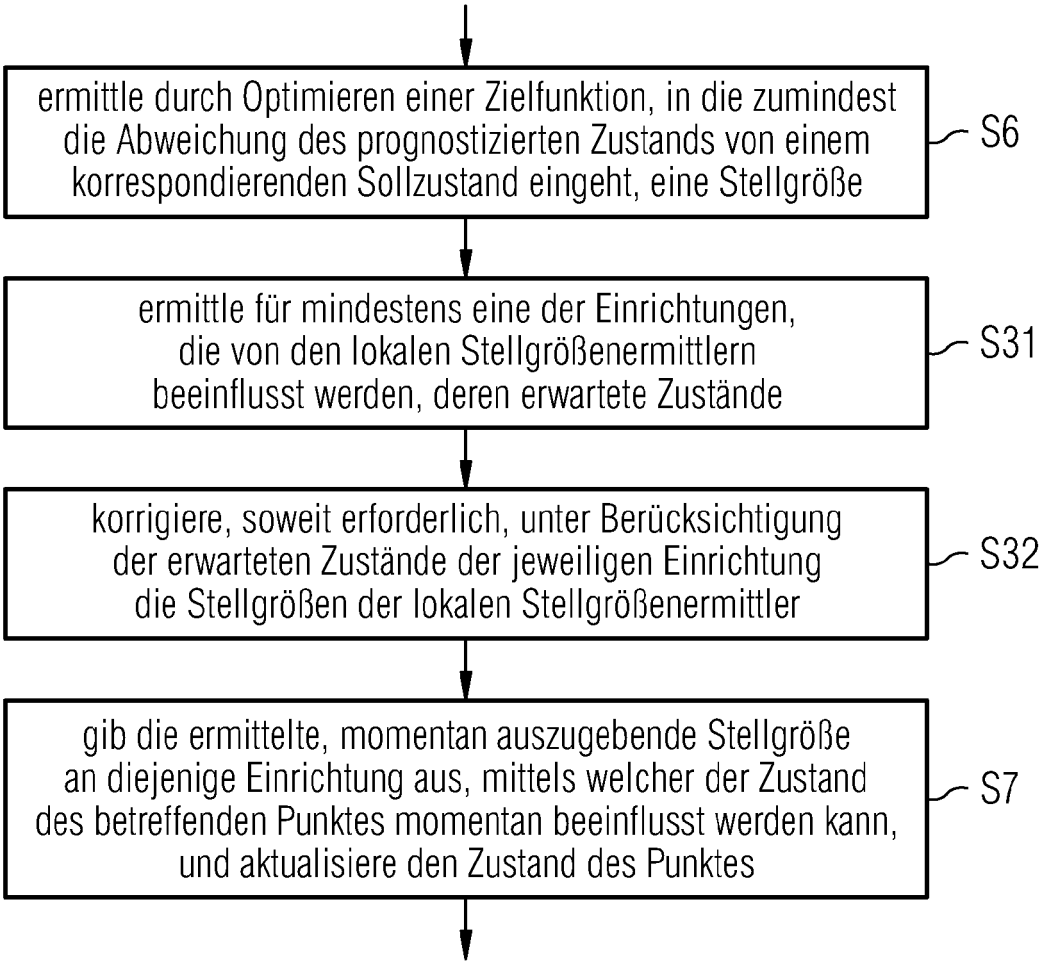

ermittle durch Optimieren einer Zielfunktion, in die zumindest die Abweichung des prognostizierten Zustands von einem korrespondierenden Sollzustand eingeht, eine Stellgröße
S6
ermittle für mindestens eine der Einrichtungen, die von den lokalen Stellgrößenermittlern beeinflusst werden, deren erwartete Zustände
S31
korrigiere, soweit erforderlich, unter Berücksichtigung der erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung die Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler
S32
gib die ermittelte, momentan auszugebende Stellgröße an diejenige Einrichtung aus, mittels welcher der Zustand des betreffenden Punktes momentan beeinflusst werden kann, und aktualisiere den Zustand des Punktes
S7

FIG 9

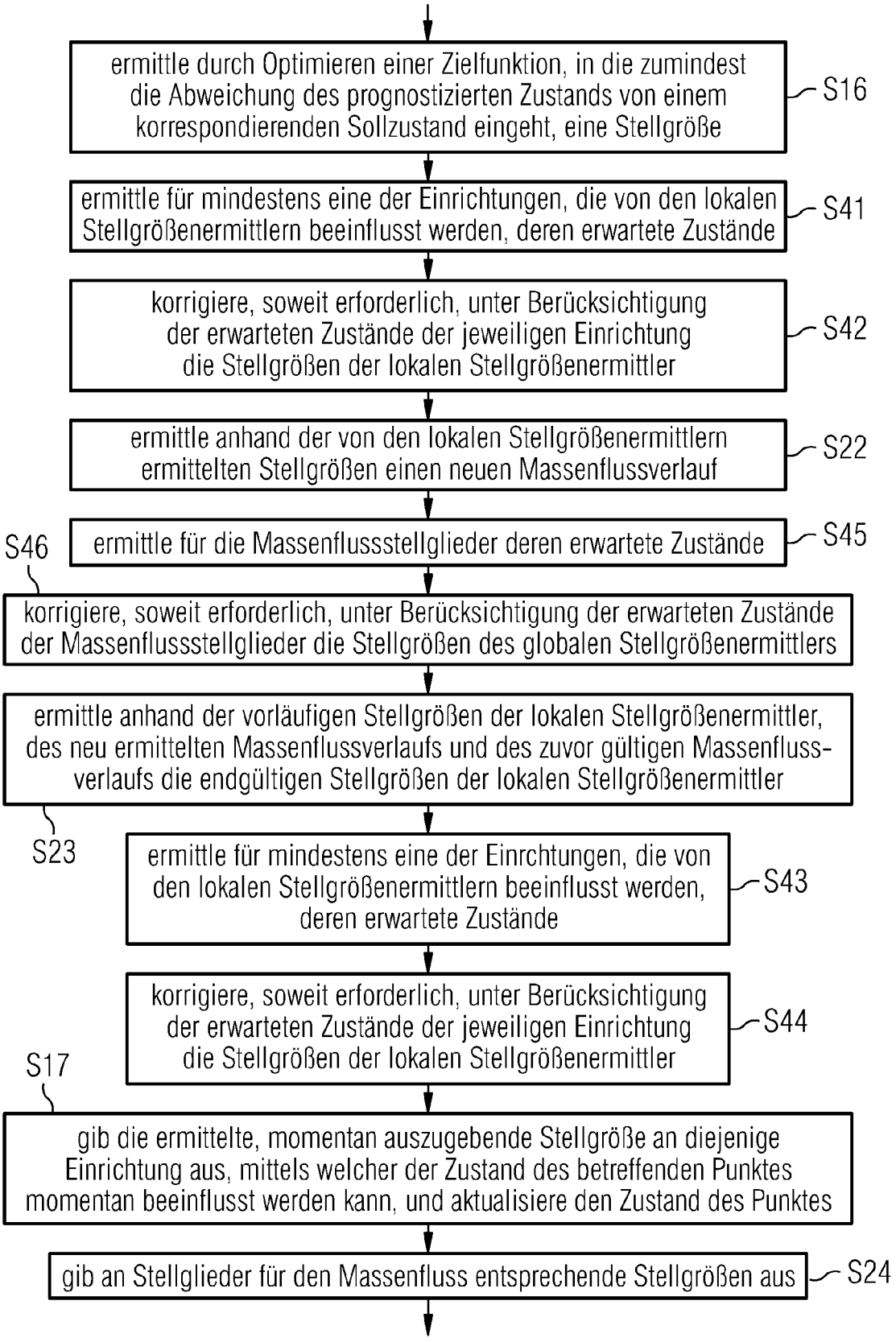

ermittle durch Optimieren einer Zielfunktion, in die zumindest die Abweichung des prognostizierten Zustands von einem korrespondierenden Sollzustand eingeht, eine Stellgröße
S16
ermittle für mindestens eine der Einrichtungen, die von den lokalen Stellgrößenermittlern beeinflusst werden, deren erwartete Zustände
S41
korrigiere, soweit erforderlich, unter Berücksichtigung der erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung die Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler
S42
ermittle anhand der von den lokalen Stellgrößenermittlern ermittelten Stellgrößen einen neuen Massenflussverlauf
S22
ermittle für die Massenflussstellglieder deren erwartete Zustände
S45
S46
korrigiere, soweit erforderlich, unter Berücksichtigung der erwarteten Zustände der Massenflussstellglieder die Stellgrößen des globalen Stellgrößenermittlers
ermittle anhand der vorläufigen Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler, des neu ermittelten Massenflussverlaufs und des zuvor gültigen Massenfluss-verlaufs die endgültigen Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler
S23
ermittle für mindestens eine der Einrchtungen, die von den lokalen Stellgrößenermittlern beeinflusst werden, deren erwartete Zustände
S43
korrigiere, soweit erforderlich, unter Berücksichtigung der erwarteten Zustände der jeweiligen Einrichtung die Stellgrößen der lokalen Stellgrößenermittler
S44
S17
gib die ermittelte, momentan auszugebende Stellgröße an diejenige Einrichtung aus, mittels welcher der Zustand des betreffenden Punktes momentan beeinflusst werden kann, und aktualisiere den Zustand des Punktes
gib an Stellglieder für den Massenfluss entsprechende Stellgrößen aus
S24

FIG 10

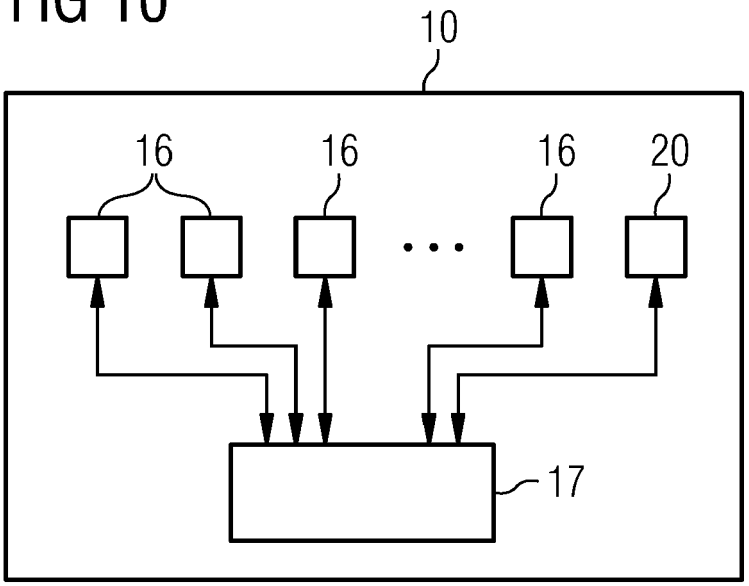
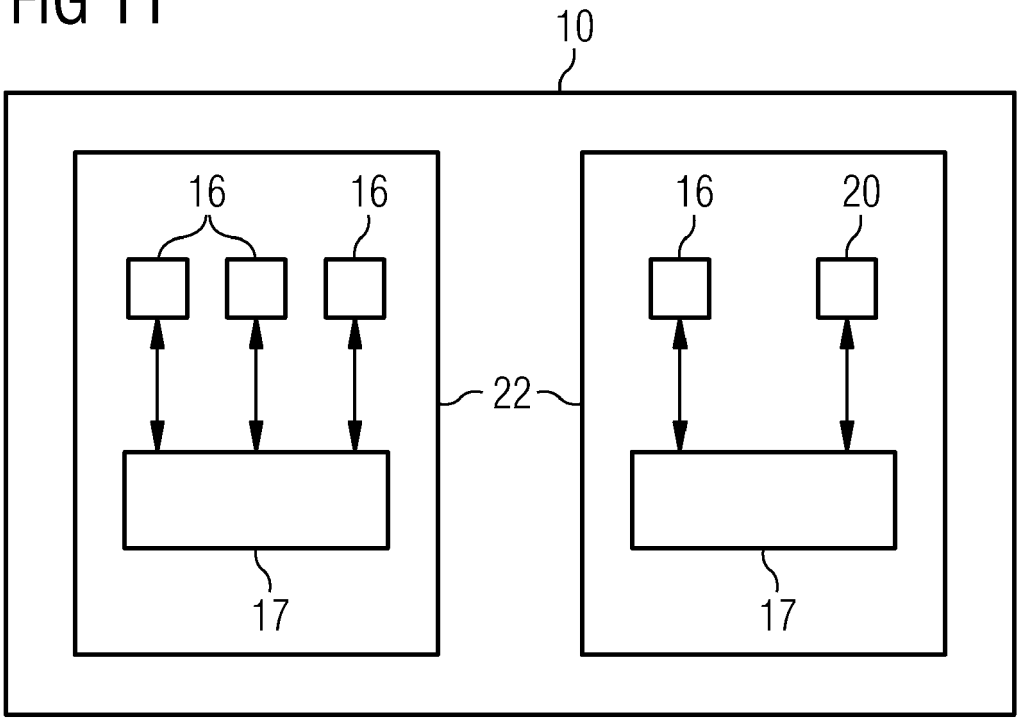


FIG 11



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 09 17 1068

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	DE 101 56 008 A1 (SIEMENS AG [DE]) 5. Juni 2003 (2003-06-05) * Spalte 3, Absatz 26 - Spalte 7, Absatz 55; Abbildungen 1-4 *	1-15	INV. B21B37/74 B21B37/76
A,D	EP 1 596 999 A2 (SIEMENS AG [DE]) 23. November 2005 (2005-11-23) * Spalte 3, Absatz 17 - Spalte 6, Absatz 39; Abbildungen 1-3 *	1-15	
A	JP 63 168211 A (SUMITOMO METAL IND) 12. Juli 1988 (1988-07-12) * Zusammenfassung *	1-15	
A	US 6 286 349 B1 (MUELLER ULRICH [DE] ET AL) 11. September 2001 (2001-09-11) * Spalte 4, Zeile 17 - Zeile 34; Abbildung 4 *	1-15	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

B21B

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	18. März 2010	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 : nichtschriftliche 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

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 09 17 1068

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.

18-03-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10156008 A1	05-06-2003	AT 440681 T	15-09-2009
		CN 1589184 A	02-03-2005
		WO 03045599 A1	05-06-2003
		EP 1444059 A1	11-08-2004
		JP 2005510359 T	21-04-2005
		RU 2291750 C2	20-01-2007
		US 2004205951 A1	21-10-2004
EP 1596999 A2	23-11-2005	AT 348671 T	15-01-2007
		WO 2004076085 A2	10-09-2004
		JP 2006518669 T	17-08-2006
		US 2006225474 A1	12-10-2006
JP 63168211 A	12-07-1988	KEINE	
US 6286349 B1	11-09-2001	US 2005089210 A1	28-04-2005

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

- DE 10156008 A1 **[0003]**
- US 7197802 B2 **[0003]**
- EP 1596999 B1 **[0003]**
- US 7251971 B2 **[0003]**
- US 7310981 B2 **[0003]**