

(19)



(11)

**EP 3 009 205 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**20.04.2016 Patentblatt 2016/16**

(51) Int Cl.:  
**B21B 37/46 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **14188795.0**

(22) Anmeldetag: **14.10.2014**

(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**

(72) Erfinder: **Weinzierl, Klaus, Dr.**  
**90480 Nürnberg (DE)**

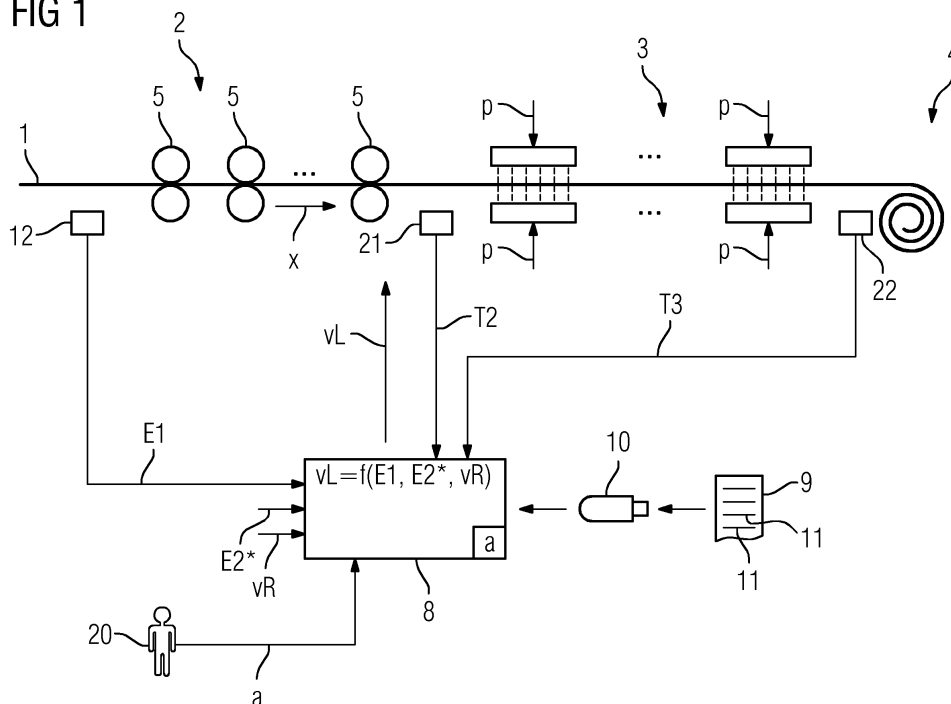
(74) Vertreter: **Metals@Linz**  
**Primetals Technologies Austria GmbH**  
**Intellectual Property Upstream IP UP**  
**Turmstraße 44**  
**4031 Linz (AT)**

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**  
**91052 Erlangen (DE)**

**(54) Berücksichtigung einer Referenzgeschwindigkeit beim Ermitteln einer Leitgeschwindigkeit**

(57) Ein Metallband (1) wird in einer Anzahl von Walzgerüsten (5) einer Walzanlage gewalzt, sodann in einer Kühlstrecke (3) der Walzanlage gekühlt und schließlich in der Haspelinrichtung (4) der Walzanlage aufgewalzt. Die Kühlstrecke (3) ist zwischen den Walzgerüsten (5) und einer Haspelinrichtung (4) angeordnet. Eine Steuereinrichtung (8) der Walzanlage ermittelt vor dem Walzen des Metallbandes (1) in den Walzgerüsten (5) eine Leitgeschwindigkeit ( $v_L$ ) für die Walzanlage. Sie

betreibt beim Walzen des Metallbandes (1) die Walzanlage entsprechend der ermittelten Leitgeschwindigkeit ( $v_L$ ). Die Steuereinrichtung (8) ermittelt die Leitgeschwindigkeit ( $v_L$ ) anhand eines Istenergieinhalts ( $E_1$ ) des Metallbandes (1) vor dem Walzen in den Walzgerüsten (5), eines Sollenergieinhalts ( $E_2^*$ ) des Metallbandes (1) nach dem Walzen in den Walzgerüsten (5) und einer Referenzgeschwindigkeit ( $v_R$ ).

**FIG 1****EP 3 009 205 A1**

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes,

- wobei das Metallband in einer Anzahl von Walzgerüsten der Walzanlage gewalzt wird, sodann in einer zwischen den Walzgerüsten und einer Haspeleinrichtung der Walzanlage angeordneten Kühlstrecke der Walzanlage gekühlt wird und schließlich in der Haspeleinrichtung aufgehaspelt wird,
- wobei eine Steuereinrichtung der Walzanlage vor dem Walzen des Metallbandes in den Walzgerüsten eine Leitgeschwindigkeit für die Walzanlage ermittelt und beim Walzen des Metallbandes die Walzanlage entsprechend der ermittelten Leitgeschwindigkeit betreibt.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Computerprogramm, 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.

**[0003]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Walzanlage, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm 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,

- wobei die Walzanlage eine Anzahl von Walzgerüsten aufweist, in denen das Metallband gewalzt wird,
- wobei die Walzanlage eine Kühlstrecke aufweist, in der das Metallband nach dem Walzen gekühlt wird,
- wobei die Walzanlage eine Haspeleinrichtung aufweist, in der das Metallband nach dem Kühlen aufgehaspelt wird,
- wobei die Kühlstrecke zwischen den Walzgerüsten und der Haspeleinrichtung angeordnet ist,
- wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung aufweist, welche die Walzstraße gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

**[0005]** Diese Gegenstände sind aus der WO 2011/138 067 A2 bekannt.

**[0006]** In Warmbandstraßen und in Grobblechstraßen wird häufig auch Stahl für Pipelines produziert, beispielsweise Stahl der Güten X70 und X80. Das sind besonders dicke Bänder bzw. Bleche, die später zu Rohren gebogen werden. Insbesondere bei Pipelines für Erdgas muss gewährleistet werden, dass der verwendete Werkstoff eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Zähigkeit besitzt, da das Gas unter einem hohen Druck steht (teilweise bis zu 200 bar) und ein Leck einen schweren Unfall verursachen kann. Die Produktion der genannten Stahlgüten gelingt in Grobblechstraßen meist mit guter Qualität, ist aber vergleichsweise teuer. Weiterhin ist der maximale Durchsatz einer Grobblechstraße erheblich geringer als der maximale Durchsatz einer Warmbandstraße. Es wird daher zunehmend versucht, auch in Warmbandstraßen qualitativ hochwertigen Stahl zu produzieren, der den Anforderungen von Pipelines genügt. Eines der Erfordernisse ist eine intensive Kühlung nach dem Walzen, da anderenfalls die erforderlichen Materialeigenschaften nicht erreicht werden können. Dennoch gelingt die Produktion hochwertiger Stähle - insbesondere der Materialgüten X70 und X80 - nicht mit hinreichend guter Reproduzierbarkeit.

**[0007]** Im Stand der Technik wird die Vorstraße zum thermodynamischen Walzen genutzt. Danach lässt man die gefertigten Vorbänder auf dem Rollgang vor der Vorstraße oder zwischen der Vorstraße und der Fertigstraße eine bestimmte Zeit lang liegen. Nach Erreichen einer vorgegebenen Vorbandtemperatur werden die restlichen Stiche der Vorstraße durchgeführt oder wird das Vorband direkt zur Fertigstraße geführt. Die Stichplanberechnung der Fertigstraße ermittelt eine Leitgeschwindigkeit oder einen Leitgeschwindigkeitsverlauf sowie die Stichabnahmen, um das dann fertig gewalzte Metallband mit einer vorgegebenen Endwalztemperatur und einer vorgegebenen Dicke in die Kühlstrecke zu transportieren. In der Kühlstrecke wird das Metallband mittels einer Intensivkühlung mit einem vorgegebenen Temperaturgradienten gekühlt und dann schließlich in der Haspeleinrichtung aufgehaspelt.

**[0008]** Ein großes Problem bei der Abkühlung dicker Metallbänder in der Intensivkühlung ist der Temperaturunterschied, der zwischen der Oberfläche des Metallbandes und dem Inneren des Metallbandes auftritt. Der Temperaturunterschied kann mehrere 100 °C betragen. Das (kalte) Metall in der Nähe der Oberfläche bildet Bainit aus, während das Metall im Inneren in der Regel ferritisch bleibt. Dadurch wird die Oberfläche deutlich härter als der Kern des Metallbandes. Dies ist ein durchaus gewünschter Effekt. Problematisch ist jedoch, dass bei der im Stand der Technik angewendeten Vorgehensweise eine große Streuung der Materialeigenschaften entsteht, die Reproduzierbarkeit also nur in begrenztem Umfang gegeben ist. Ein relativ hoher Anteil von Metallbändern hält daher weder beim Aufhaspeln die gewünschten Haspeltemperaturen ein noch weist er die gewünschten Materialeigenschaften auf. Die Abweichungen der tatsächlichen Materialeigenschaften von den gewünschten Materialeigenschaften können so weit gehen, dass die Metallbänder beim Walzen stecken bleiben oder bereits gehaspelte Coils wieder aufspringen, so dass Betriebsstörungen und erhebliche

wirtschaftliche Schäden die Folge sind. Die Metallbänder, welche die gewünschten Materialeigenschaften nicht einhalten, stellen daher Schrott dar, der wieder eingeschmolzen werden muss.

**[0009]** Der Grund für die unterschiedlichen Materialeigenschaften liegt in den unterschiedlichen Bainitanteilen des Stahls an der Oberfläche und den unterschiedlichen Dicken des rein ferritischen Kerns. Die Ursache hierfür ist das Walzen in den Walzgerüsten der Walzanlage. Denn je nachdem, mit welcher Temperatur das Vorband den Walzgerüsten der Walzanlage zugeführt wird, werden von der Steuereinrichtung unterschiedliche Leitgeschwindigkeiten ermittelt. Dies führt - sogar bei gleicher Endwalztemperatur und gleicher Haspeltemperatur - zu unterschiedlichen zeitlichen Abkühlverläufen in der Kühlstrecke.

**[0010]** Die Streuungen der Vorbandtemperatur sind oftmals nicht vermeidbar. Sie entstehen oftmals aus produktionstechnischen Notwendigkeiten heraus, weil beispielsweise die Liegezeit beim thermodynamischen Walzen nicht genau genug berechnet werden konnte oder weil die nächste Bramme bereits aus dem Ofen gezogen wurde und daher vorgewalzt werden muss, so dass das Liegen des bereits vorgewalzten Metallbandes vorzeitig abgebrochen werden muss.

**[0011]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer der Anteil an Metallbändern, welche die gewünschten Materialeigenschaften aufweisen vergrößert werden kann - möglichst bis auf 100 %.

**[0012]** Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 9.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass die Steuereinrichtung die Leitgeschwindigkeit anhand eines Istenergieinhalts des Metallbandes vor dem Walzen in den Walzgerüsten, eines Sollenergieinhalts des Metallbandes nach dem Walzen in den Walzgerüsten und einer Referenzgeschwindigkeit ermittelt.

**[0014]** Es wird also als Ersatzgröße für das nicht direkt ermittelbare Gefüge des Metallbandes nicht die Angleichung an einen Sollenergieinhalt als solchen und allein verwendet, sondern eine Mischung aus diesem Energieinhalt und einer Referenzgeschwindigkeit. Durch diese Vorgehensweise können zwar nicht - zumindest nicht zwingend und notwendigerweise - die Materialeigenschaften des Metallbandes nach dem Durchlaufen der Kühlstrecke zuverlässiger vorhergesagt werden. Dies ist auch nicht erforderlich. Entscheidend ist, dass diese Maßnahme zu einer besseren Reproduzierbarkeit führt. Es muss also lediglich ermittelt werden, in welchem Ausmaß die Referenzgeschwindigkeit bei der Ermittlung der Leitgeschwindigkeit berücksichtigt werden muss, um Materialeigenschaften gut reproduzieren zu können.

**[0015]** Zum Ermitteln der Leitgeschwindigkeit ist es möglich,

- dass die Steuereinrichtung, ausgehend von dem Istenergieinhalt des Metallbandes vor dem Walzen in den Walzgerüsten, mittels eines Modells der Walzgerüste der Walzanlage einen erwarteten Energieinhalt ermittelt, der bei einer angesetzten Leitgeschwindigkeit nach dem Walzen in den Walzgerüsten erwartet wird,
- dass die Steuereinrichtung durch Variieren der angesetzten Leitgeschwindigkeit eine Zielfunktion optimiert, in welche sowohl die Abweichung des erwarteten Energieinhalts vom Sollenergieinhalt des Metallbandes nach dem Walzen in den Walzgerüsten als auch eine Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit von der Referenzgeschwindigkeit eingehen, und
- dass die Steuereinrichtung als Leitgeschwindigkeit diejenige angesetzte Leitgeschwindigkeit verwendet, bei welcher die Zielfunktion ihren optimalen Wert aufweist.

**[0016]** Alternativ ist es zum Ermitteln der Leitgeschwindigkeit möglich,

- dass die Steuereinrichtung, ausgehend von dem Istenergieinhalt des Metallbandes vor dem Walzen in den Walzgerüsten, mittels eines Modells der Walzgerüste der Walzanlage einen erwarteten Energieinhalt ermittelt, der bei einer angesetzten Leitgeschwindigkeit nach dem Walzen in den Walzgerüsten erwartet wird,
- dass die Steuereinrichtung durch Variieren der angesetzten Leitgeschwindigkeit eine Zielfunktion optimiert, in welche zwar die Abweichung des erwarteten Energieinhalts vom Sollenergieinhalt des Metallbandes nach dem Walzen in den Walzgerüsten, aber nicht eine Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit von der Referenzgeschwindigkeit eingehen, und
- dass die Steuereinrichtung als Leitgeschwindigkeit eine Linearkombination derjenigen angesetzten Leitgeschwindigkeit, bei welcher die Zielfunktion ihren optimalen Wert aufweist, und der Referenzgeschwindigkeit verwendet.

**[0017]** Im einfachsten Fall ist es möglich, dass ein Ausmaß, zu welchem die Steuereinrichtung die Referenzgeschwindigkeit bei der Ermittlung der Leitgeschwindigkeit berücksichtigt, der Steuereinrichtung fest vorgegeben ist oder von einem Bediener der Walzanlage vorgegeben wird. In diesem Fall kann der optimale Wert für das Ausmaß beispielsweise

auf Basis von Gefügeuntersuchungen von bereits gewalzten Metallbändern ermittelt werden, indem man auf der Walzanlage verschiedene Werte des Ausmaßes ansetzt und später denjenigen Wert weiter verwendet, bei dem man die niedrigste Streuung der Materialeigenschaften erhalten hat.

**[0018]** Eine besonders bevorzugte Vorgehensweise ist jedoch dadurch gegeben,

- dass es wiederholt mit verschiedenen Metallbändern ausgeführt wird,
- dass der Steuereinrichtung eine jeweilige Endwalztemperatur, die das jeweilige Metallband nach dem Walzen, aber vor dem Kühlen aufweist, zugeführt wird,
- dass die Steuereinrichtung, ausgehend von der jeweiligen Endwalztemperatur, für das jeweilige Metallband mittels eines Modells der Kühlstrecke der Walzanlage jeweils eine erwartete Haspeltemperatur ermittelt, die für das jeweilige Metallband beim Haspeln erwartet wird,
- dass die Steuereinrichtung jeweils die erwartete Haspeltemperatur mit einer jeweiligen tatsächlichen Haspeltemperatur vergleicht und anhand des Vergleichs einen Korrekturfaktor für das Modell der Kühlstrecke ermittelt und
- dass die Steuereinrichtung durch Auswertung der Korrekturfaktoren in Abhängigkeit von den jeweiligen Leitgeschwindigkeiten und/oder den jeweiligen Endwalztemperaturen das Ausmaß derart nachführt, dass der Einfluss der Leitgeschwindigkeit und/oder der Endwalztemperatur auf den Korrekturfaktor minimiert wird.

**[0019]** Es ist möglich, dass die Leitgeschwindigkeit einheitlich für das gesamte Metallband ermittelt wird. Alternativ ist es möglich, dass die Leitgeschwindigkeit individuell für einzelne Abschnitte des Metallbandes ermittelt wird. Im letztgenannten Fall kann die Referenzgeschwindigkeit individuell für die einzelnen Abschnitte des Metallbandes bestimmt sein. Auch eine Ermittlung der Leitgeschwindigkeit als Funktion des Ortes eines bestimmten Abschnitts des Metallbandes - beispielsweise des Bandkopfes - oder als Funktion der Zeit ist möglich. In diesem Fall kann auch die Referenzgeschwindigkeit eine Funktion des Ortes des bestimmten Abschnitts des Metallbandes oder der Zeit sein.

**[0020]** Vorzugsweise erfolgt in der Kühlstrecke eine sogenannte Intensivkühlung. In diesem Fall wird das Metallband in der Kühlstrecke mit unter einem Druck zwischen 1,5 bar und 5,0 bar stehendem Wasser gekühlt.

**[0021]** Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

**[0022]** Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für eine Walzanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

**[0023]** Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Walzanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Erfindungsgemäß betreibt die Steuereinrichtung die Walzanlage jeweils gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren.

**[0024]** 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 und 2 je eine Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes,  
 FIG 3 und 4 mögliche Vorgehensweisen zur Ermittlung einer Leitgeschwindigkeit,  
 FIG 5 ein Ablaufdiagramm,  
 FIG 6 ein Modell einer Kühlstrecke und  
 FIG 7 und 8 Metallbänder.

**[0025]** Gemäß FIG 1 ist eine Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes 1 als Fertigstraße 2 mit nachgeordneter Kühlstrecke 3 und der Kühlstrecke 3 nachgeordneter Haspeleinrichtung 4 ausgebildet. Die Kühlstrecke 3 ist also zwischen der Fertigstraße 2 und der Haspeleinrichtung 4 angeordnet. Die Fertigstraße 2 weist mehrere Walzgerüste 5 auf, die von dem Metallband 1 nacheinander in einer Transportrichtung x durchlaufen werden. Die Anzahl an Walzgerüsten 5 ist bei der Walzanlage von FIG 1 größer als 1. Meist liegt sie bei 5, 6, 7 oder 8. Das Metallband 1 ist in der Regel ein Stahlband.

**[0026]** In den Walzgerüsten 5 wird das Metallband 1 gewalzt. Jedes Walzgerüst 5 der Fertigstraße 2 führt einen einzigen Walzstich aus. Nach dem Walzen in den Walzgerüsten 5 der Fertigstraße 2 wird das Metallband 1 in der Kühlstrecke 3 gekühlt. Vorzugsweise wird das Metallband 1 in der Kühlstrecke 3 mit Wasser gekühlt, das unter einem Druck p zwischen 1,5 bar und 5,0 bar steht (sogenannte Intensivkühlung). Nach dem Kühlen des Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 wird das Metallband 1 in der Haspeleinrichtung 4 aufgehaspelt.

**[0027]** FIG 2 zeigt eine mögliche alternative Ausgestaltung der Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes 1. Vergleichbare Elemente sind in FIG 2 mit dem gleichen Bezugszeichen versehen wie in FIG 1. Auch hier ist das Metallband 1 in der Regel ein Stahlband.

**[0028]** Gemäß FIG 2 ist die Walzanlage als Steckelwalzwerk 6 ausgebildet. Das Steckelwalzwerk 6 weist in der Regel ein einziges Walzgerüst 5 auf, in dem das Metallband 1 in mehreren Walzstichen reversierend gewalzt wird. In Einzelfällen können auch zwei Walzgerüste 5 vorhanden sein. Auch in diesem Fall wird das Metallband in den beiden Walzgerüsten 5 jedoch reversierend gewalzt. Beidseits des Walzgerüsts 5 (bzw. der Walzgerüste 5) ist je eine Coilbox 7 vorhanden,

in denen das Metallband 1 zwischen den einzelnen Walzstichen gehaspelt wird.  
**[0029]** Auf einer Seite des Steckelwalzwerks 6 schließt sich eine Kühlstrecke 3 an. Nach dem letzten Walzstich wird das Metallband 1 nicht in der Coilbox 7 zwischen dem Walzgerüst 5 und der Kühlstrecke 3 gehaspelt, sondern der Kühlstrecke 3 zugeführt. Dort wird das Metallband 1 nach dem Walzen gekühlt. Auch bei der Walzanlage von FIG 2 wird das Metallband 1 in der Kühlstrecke 3 vorzugsweise mit Wasser gekühlt, das unter einem Druck  $p$  zwischen 1,5 bar und 5,0 bar steht (sogenannte Intensivkühlung). Der Kühlstrecke 3 ist eine Haspeleinrichtung 4 nachgeordnet. Die Kühlstrecke 3 ist also auch bei der Ausgestaltung der Walzanlage gemäß FIG 2 zwischen dem Walzgerüst 5 und der Haspeleinrichtung 4 angeordnet. In der Regel ist weiterhin zwischen dem Walzgerüst 5 und der Kühlstrecke 3 eine der beiden Coilboxen 7 angeordnet.

**[0030]** Die jeweilige Walzanlage weist gemäß den FIG 1 und 2 eine Steuereinrichtung 8 auf. Die Steuereinrichtung 8 ist mit einem Computerprogramm 9 programmiert. Das Computerprogramm 9 kann der Steuereinrichtung 8 beispielsweise über einen Datenträger 10 zugeführt werden, auf dem das Computerprogramm 9 in (ausschließlich) maschinenlesbarer Form - beispielsweise in elektronischer Form - gespeichert ist. Das Computerprogramm 9 umfasst Maschinencode 11, der von der Steuereinrichtung 8 abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 11 durch die Steuereinrichtung 8 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 8 die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird.

**[0031]** Die Abarbeitung des Maschinencodes 11 durch die Steuereinrichtung 8 bewirkt zunächst den obenstehend in Verbindung mit dem konstruktiven Aufbau der Walzanlagen erläuterten Betrieb der Walzanlage, also das Walzen des Metallbandes 1 in den Walzgerüsten 5 (FIG 1) bzw. dem Walzgerüst 5 (FIG 2), das Kühlen des Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 nach dem Walzen sowie das Aufhaspeln des Metallbandes 1 nach dem Kühlen in der Kühlstrecke 3.

**[0032]** Die Abarbeitung des Maschinencodes 11 durch die Steuereinrichtung 8 bewirkt weiterhin, dass die Steuereinrichtung 8 die Walzanlage beim Walzen des Metallbandes 1 und auch beim Kühlen des Metallbandes 1 mit einer Leitgeschwindigkeit  $v_L$  betreibt. Die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  ist eine Geschwindigkeit, aus der - gegebenenfalls in Verbindung mit den in der Walzanlage einzustellenden Stichabnahmen und Zügen - die innerhalb der Walzanlage auftretenden Transportgeschwindigkeiten des Metallbandes 1 und die jeweils korrespondierenden Walzenumfangsgeschwindigkeiten der Arbeitswalzen der Walzgerüste 5 eindeutig ermittelbar sind. Beispielsweise kann es sich um eine fiktive Geschwindigkeit des Bandkopfes oder um die Drehzahl des ersten Walzgerüsts 5 der Fertigstraße 2 oder um die Drehzahl der Arbeitswalzen des Walzgerüsts 5 des Steckelwalzwerks 6 beim ersten Walzstich handeln. Die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  kann beispielsweise als Funktion des Ortes des Bandkopfes definiert sein.

**[0033]** Die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  wird von der Steuereinrichtung 8 ermittelt, bevor das Metallband 1 in den Walzgerüsten 5 der Walzanlage gewalzt wird. Die Steuereinrichtung 8 ermittelt die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  entsprechend der Darstellung in den FIG 1 und 2 anhand eines Istenergieinhalts  $E_1$  des Metallbandes 1, eines Sollenergieinhalts  $E_2^*$  des Metallbandes 1 und einer Referenzgeschwindigkeit  $v_R$ .

**[0034]** Der Istenergieinhalt  $E_1$  ist auf einen Zeitpunkt vor dem Walzen des Metallbandes 1 in den Walzgerüsten 5 bezogen. Es kann sich bei dem Istenergieinhalt  $E_1$  beispielsweise um die Temperatur oder die Enthalpie des Metallbandes 1 vor dem Walzen in den Walzgerüsten 5 handeln. Der Istenergieinhalt  $E_1$  kann beispielsweise anhand einer Messung an einem ersten Temperaturmessplatz 12 ermittelt werden oder direkt durch diese Messung gegeben sein. Im Falle einer Temperatur handelt es sich um die Anfangswalztemperatur, mit der das Metallband 1 der Fertigstraße 2 bzw. dem Steckelwalzwerk 6 zugeführt wird.

**[0035]** Der Sollenergieinhalt  $E_2^*$  des Metallbandes 1 ist auf einen Zeitpunkt nach dem Walzen des Metallbandes 1 in den Walzgerüsten 5, aber vor dem Kühlen des Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 bezogen. Es kann sich bei dem Sollenergieinhalt  $E_2^*$  - analog zum Istenergieinhalt  $E_1$  - beispielsweise um die Temperatur oder die Enthalpie des Metallbandes 1 nach dem Walzen in den Walzgerüsten 5 handeln. Der Sollenergieinhalt  $E_2^*$  wird entsprechend den technologischen Erfordernissen nach Bedarf festgelegt. Im Falle einer Temperatur handelt es sich um die Endwalztemperatur, mit der das Metallband 1 von der Fertigstraße 2 bzw. dem Steckelwalzwerk 6 der Kühlstrecke 3 zugeführt wird. In der Regel ist der Sollenergieinhalt  $E_2^*$  vom gleichen Typ wie der Istenergieinhalt  $E_1$ . Wenn also der Istenergieinhalt  $E_1$  eine Temperatur ist, ist in der Regel auch der Sollenergieinhalt  $E_2^*$  eine Temperatur. In analoger Weise ist in dem Fall, dass der Istenergieinhalt  $E_1$  eine Enthalpie ist, in der Regel auch der Sollenergieinhalt  $E_2^*$  eine Enthalpie. Zwingend ist dies jedoch nicht erforderlich.

**[0036]** Die Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  ist ein auf Erfahrungswerten basierender sinnvoller Wert für die Leitgeschwindigkeit  $v_L$ .

**[0037]** Gemäß FIG 3 kann die Steuereinrichtung 8 die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  beispielsweise wie folgt ermitteln:

**[0038]** Gemäß FIG 3 implementiert die Steuereinrichtung 8 einen Funktionsblock 13. Mittels des Funktionsblocks 13 ermittelt die Steuereinrichtung 8 einen Stichplan SP. Im Rahmen des Funktionsblocks 13 setzt die Steuereinrichtung 8

auch einen Wert für die zugehörige Leitgeschwindigkeit  $v_L$  an. Dieser Wert wird - weil er nur vorläufig und damit noch nicht endgültig ist - nachfolgend als angesetzte Leitgeschwindigkeit bezeichnet und mit dem Bezugszeichen  $v_L'$  versehen. Mögliche Implementierungen des Funktionsblocks 13 sind Fachleuten allgemein bekannt.

**[0039]** Die Steuereinrichtung 8 implementiert weiterhin ein Modell 14. Das Modell 14 ist ein Modell der Walzgerüste 5 der Walzanlage. Mittels des Modells 14 wird das Verhalten des Metallbandes 1 beim Walzen in den Walzgerüsten 5 der Walzanlage modelliert. Insbesondere kann mittels des Modells 14 auch die zeitliche Entwicklung der Temperatur bzw. der Enthalpie des Metallbandes 1 ermittelt werden. Der ermittelte Stichplan SP und die angesetzte Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  werden dem Modell 14 zugeführt. Dem Modell 14 wird weiterhin der Istenergieinhalt  $E_1$  des Metallbandes 1 zugeführt. Ausgehend vom Istenergieinhalt  $E_1$  ermittelt die Steuereinrichtung 8 mittels des Modells 14 einen erwarteten Energieinhalt  $E_{2E}$ . Der Energieinhalt  $E_{2E}$  ist derjenige Energieinhalt, der bei der angesetzten Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  nach dem Walzen in den Walzgerüsten 5 der Walzanlage im Metallband 1 erwartet wird. Der erwartete Energieinhalt  $E_{2E}$  ist vom gleichen Typ wie der Sollenergieinhalt  $E_{2*}$ . Es handelt sich also bei dem erwarteten Energieinhalt  $E_{2E}$  und dem Sollenergieinhalt  $E_{2*}$  entweder beide Male um Temperaturen oder beide Male um Enthalpien.

**[0040]** In einem Funktionsblock 15 bildet die Steuereinrichtung 8 eine Zielfunktion Z. In die Zielfunktion Z gehen sowohl eine Abweichung des erwarteten Energieinhalts  $E_{2E}$  vom Sollenergieinhalt  $E_{2*}$  des Metallbandes 1 als auch eine Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  von der Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  ein. Beispielsweise kann die Zielfunktion Z die Form

$$Z = |E_{2E} - E_{2*}|^{n_1} + a \cdot |v_L' - v_R|^{n_2} \quad (1)$$

aufweisen.  $n_1$  und  $n_2$  sind positive - nicht notwendigerweise natürliche - Zahlen. In der Regel weisen die Zahlen  $n_1$  und  $n_2$  denselben Wert auf. Zwingend ist dies jedoch nicht erforderlich. Beispielsweise können die Zahlen  $n_1$  und  $n_2$  beide den Wert 2 aufweisen.  $a$  ist ein frei wählbarer Wichtungsfaktor. Der Wichtungsfaktor  $a$  legt fest, in welchem Ausmaß die Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  von der Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  bei der endgültigen Ermittlung der Leitgeschwindigkeit  $v_L$  berücksichtigt wird.

**[0041]** Gleichung (1) kann im einfachsten Fall als skalare Gleichung gelöst werden. Alternativ kann Gleichung (1) als Funktional über den Ort eines bestimmten Abschnitts des Metallbandes 1 - beispielsweise des Bandkopfes - oder der Zeit angesetzt werden. Beispielsweise kann im Falle eines Funktional der Zeit Gleichung (1) wie folgt angesetzt werden:

$$Z = \int_{t_A}^{t_E} |E_{2E}(t) - E_{2*}(t)|^{n_1} + a(t) \cdot |v_L'(t) - v_R(t)|^{n_2} dt \quad (1')$$

**[0042]**  $t_A$  ist hierbei der Zeitpunkt, zu dem der Bandkopf des Metallbandes 1 in das vorderste Walzgerüst 5 der Fertigstraße 2 oder erstmals in das Walzgerüst 5 des Steckelwalzwerks 6 einläuft.  $t_E$  ist der Zeitpunkt, zu dem der Bandfuß des Metallbandes 1 aus dem letzten Walzgerüst 5 der Fertigstraße oder letztmals aus dem Walzgerüst 5 des Steckelwalzwerks 6 ausläuft.

**[0043]** In einem Entscheidungsblock 16 prüft die Steuereinrichtung 8, ob die Zielfunktion Z bereits optimiert ist, beispielsweise minimal ist oder - bei geeigneter Definition der Zielfunktion Z - maximal ist. Wenn dies nicht der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 8 zum Funktionsblock 13 zurück. Dort wird zumindest die angesetzte Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  variiert. Gegebenenfalls wird auch der Stichplan SP variiert. Das Variieren erfolgt mit dem Ziel, die Zielfunktion Z zu optimieren. Wenn dies hingegen der Fall ist, die Zielfunktion Z also bereits optimiert ist, übernimmt die Steuereinrichtung 8 in einem Funktionsblock 17 die zuletzt angesetzte Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  - also diejenige angesetzte Leitgeschwindigkeit  $v_L'$ , bei welcher die Zielfunktion Z ihren optimalen Wert aufweist - als Leitgeschwindigkeit  $v_L$ . Dieser Wert wird also als Leitgeschwindigkeit  $v_L$  verwendet.

**[0044]** Gemäß FIG 4 kann die Steuereinrichtung 8 - alternativ zur Vorgehensweise gemäß FIG 3 - die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  beispielsweise wie folgt ermitteln:

**[0045]** Gemäß FIG 4 implementiert die Steuereinrichtung 8 analog zu FIG 3 den Funktionsblock 13, das Modell 14 und den Entscheidungsblock 16. Diese Elemente 13, 14, 16 sind identisch mit denen von FIG 3. Die Funktionsblöcke 15 und 17 sind jedoch durch Funktionsblöcke 18 und 19 ersetzt.

**[0046]** Im Funktionsblock 18 bildet die Steuereinrichtung 8 - analog zum Funktionsblock 15 - eine Zielfunktion Z. In die Zielfunktion Z des Funktionsblocks 18 geht jedoch ausschließlich die Abweichung des erwarteten Energieinhalts  $E_{2E}$  vom Sollenergieinhalt  $E_{2*}$  des Metallbandes 1 ein. Hingegen geht in die Zielfunktion Z des Funktionsblocks 18 nicht die Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit  $v_L'$  von der Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  ein. Beispielsweise kann die Zielfunktion Z die Form

$$Z = |E2E - E2^*|^n \quad (2)$$

5 aufweisen.  $n$  ist eine positive - nicht notwendigerweise natürliche - Zahl. Beispielsweise kann die Zahl  $n$  den Wert 2 aufweisen. Analog zu Gleichung (1) kann auch Gleichung (2) alternativ als skalare Gleichung oder als Funktional angesetzt werden.

10 **[0047]** Im Funktionsblock 19 bildet die Steuereinrichtung 8 eine Linearkombination derjenigen angesetzten Leitgeschwindigkeit  $vL'$ , bei welcher die Zielfunktion  $Z$  ihren optimalen Wert aufweist, und der Referenzgeschwindigkeit  $vR$ . Beispielsweise kann dies dadurch geschehen, dass die Steuereinrichtung 8 die Leitgeschwindigkeit  $vL$  durch die Gleichung

$$15 \quad vL = (1 - a) \cdot vL' + a \cdot vR \quad (3)$$

ermittelt.  $a$  ist - wie auch in Gleichung 1 - ein frei wählbarer Wichtungsfaktor. Der Wichtungsfaktor  $a$  legt fest, in welchem Ausmaß die Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit  $vL'$  von der Referenzgeschwindigkeit  $vR$  bei der endgültigen Ermittlung der Leitgeschwindigkeit  $vL$  berücksichtigt wird. Den im Funktionsblock 19 ermittelten Wert übernimmt die Steuereinrichtung 8 als Leitgeschwindigkeit  $vL$ . Dieser Wert wird also als Leitgeschwindigkeit  $vL$  verwendet.

20 **[0048]** Es ist möglich, dass der Wichtungsfaktor  $a$  der Steuereinrichtung 8 fest vorgegeben ist. Dies ist in den FIG 1 und 2 dadurch angedeutet, dass der Wichtungsfaktor  $a$  innerhalb der Steuereinrichtung 8 eingetragen ist. Alternativ ist es möglich, dass der Wichtungsfaktor  $a$  der Steuereinrichtung 8 von einem Bediener 20 vorgegeben wird. Auch dies ist in den FIG 1 und 2 schematisch dargestellt. Besonders bevorzugt ist jedoch eine Vorgehensweise, die nachstehend in Verbindung mit FIG 5 näher erläutert wird. Ergänzend sind die FIG 1 und 2 mit heranzuziehen.

25 **[0049]** Im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 5 ist es zunächst erforderlich, dass die Vorgehensweise wiederholt mit verschiedenen Metallbändern 1 ausgeführt wird. Dies ist in FIG 5 dadurch angedeutet, dass die dortigen Maßnahmen in eine Schleife eingebunden sind. Weiterhin ist es im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 5 erforderlich, dass der Steuereinrichtung 8 eine jeweilige Endwalztemperatur  $T2$  zugeführt wird. Die Endwalztemperatur  $T2$  ist diejenige Temperatur, die das Metallband 1 nach dem Walzen, aber vor dem Kühlen aufweist. Beispielsweise kann die Endwalztemperatur  $T2$  durch eine Messung an einem zweiten Temperaturmessplatz 21 ermittelt werden. Der zweite Temperaturmessplatz 21 ist entsprechend der Darstellung in den FIG 1 und 2 ausgangsseitig der Walzgerüste 5, aber vor der Kühlstrecke 3 angeordnet. Schließlich ist es erforderlich, dass der Steuereinrichtung 8 eine jeweilige Haspeltemperatur  $T3$  zugeführt wird. Die Haspeltemperatur  $T3$  ist diejenige Temperatur, die das Metallband 1 nach dem Kühlen in der Kühlstrecke 3 aufweist. Beispielsweise kann die Haspeltemperatur  $T3$  durch eine Messung an einem dritten Temperaturmessplatz 22 ermittelt werden. Der dritte Temperaturmessplatz 22 ist entsprechend der Darstellung in den FIG 1 und 2 ausgangsseitig der Kühlstrecke 3, aber vor der Haspelinrichtung 4 angeordnet.

30 **[0050]** Gemäß FIG 5 nimmt die Steuereinrichtung 8 in einem Schritt  $S1$  die erfasste Endwalztemperatur  $T2$  entgegen. Der Schritt  $S1$  wird - selbstverständlich - vor dem Kühlen des Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 durchgeführt.

40 **[0051]** In einem Schritt  $S2$  ermittelt die Steuereinrichtung 8, ausgehend von der jeweiligen Endwalztemperatur  $T2$ , mittels eines Modells 23 eine erwartete Haspeltemperatur  $T3E$ . Das Modell 23 ist ein Modell der Kühlstrecke 3 der Walzanlage. Dem Modell 23 werden in an sich bekannter Weise gemäß FIG 6 zusätzlich zur Endwalztemperatur  $T2$  Beeinflussungen  $B$  zugeführt, mit denen das Metallband 1 in der Kühlstrecke 4 beaufschlagt wird. Im Rahmen des Modells 23 wird - in der Regel durch iteratives Lösen einer Wärmeleitungsgleichung und einer Phasenumwandlungsgleichung - die Temperaturentwicklung und die Phasenentwicklung im Metallband 1 ermittelt.

45 **[0052]** Die Ermittlung erfolgt für das jeweilige Metallband 1. Es wird also durch das Modell 23 die Endwalztemperatur  $T2$  des jeweiligen Metallbandes 1 verwendet und (zumindest unter anderem) die erwartete Haspeltemperatur  $T3E$  für das jeweilige Metallband 1 ermittelt. Die erwartete Haspeltemperatur  $T3E$  entspricht derjenigen Temperatur, die für das jeweilige Metallband 1 beim Einlaufen in die Haspelinrichtung 4 und damit beim Haspeln erwartet wird.

50 **[0053]** Der Schritt  $S2$  kann während des Kühlens des jeweiligen Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 ausgeführt werden.

**[0054]** In einem Schritt  $S3$  nimmt die Steuereinrichtung 8 die erfasste Haspeltemperatur  $T3$  entgegen. Der Schritt  $S3$  wird - selbstverständlich - nach dem Kühlen des Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 durchgeführt.

**[0055]** In einem Schritt  $S4$  vergleicht die Steuereinrichtung 8 jeweils die erwartete Haspeltemperatur  $T3E$  mit der jeweiligen tatsächlichen Haspeltemperatur  $T3$ . Anhand des Vergleichs ermittelt die Steuereinrichtung 8 einen Korrekturfaktor  $k$  für das Modell 23 der Kühlstrecke 3. Das aufgrund der Änderung des Korrekturfaktors  $k$  angepasste Modell 23 verwendet die Steuereinrichtung 8 im Rahmen des nachfolgenden Metallbandes 1, also bei der erneuten Abarbeitung der Schritte  $S1$  bis  $S4$ .

**[0056]** Soweit bisher erläutert, ist die Vorgehensweise von FIG 5 im Stand der Technik bekannt und wird allgemein

angewendet. Zusätzlich ist bei der Vorgehensweise von FIG 5 jedoch ein Schritt S5 vorhanden. Im Schritt S5 führt die Steuereinrichtung 8 den Wichtungsfaktor  $a$  nach. Die Nachführung erfolgt durch Auswertung der Korrekturfaktoren  $k$  in Abhängigkeit von den jeweiligen Leitgeschwindigkeiten  $v_L$  und/oder den jeweiligen Endwalztemperaturen  $T_2$ . Die Nachführung erfolgt derart, dass der Einfluss der Leitgeschwindigkeit  $v_L$  und/oder der Endwalztemperatur  $T_2$  auf den Korrekturfaktor  $k$  minimiert wird.

**[0057]** Die Vorgehensweise von FIG 5 beruht auf folgenden Überlegungen:

Im Rahmen der Ausführung des Modells 23 wird in der Regel zunächst eine mittlere Temperatur über die Banddicke ermittelt und anhand dieser Temperatur die Entwicklung der Phasenanteile ermittelt. Es wird also im Rahmen des Modells 23 zuerst die Mitteilung über die Temperatur durchgeführt und danach die Phasenentwicklung ermittelt. In der Realität erfolgt die Phasenentwicklung jedoch individuell entsprechend der jeweiligen Temperatur am jeweiligen Ort des Metallbandes 1. Aufgrund des Vorziehens der Mittelung über die Temperatur vor die Phasenentwicklung kann das Modell 23 das Gefüge, das sich beim Abkühlen des Metallbandes 1 in der Kühlstrecke 3 im Metallband 1 bildet, nicht korrekt ermitteln. Dieser systematische Fehler spiegelt sich im Korrekturfaktor  $k$  wieder. In der Praxis zeigt sich weiterhin, dass - für gleichartige Metallbänder 1 vor dem Walzen in der Walzanlage - sich größere Werte für den Korrekturfaktor  $k$  ergeben, wenn die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  größer wird. In der Praxis entspricht dies einer verstärkten Bildung von Bainit. In analoger Weise zeigt sich in der Praxis, dass sich bei größeren Endwalztemperaturen  $T_2$  ebenfalls größere Werte für den Korrekturfaktor  $k$  ergeben. Somit kann eine Verringerung des Korrekturfaktors  $k$  aufgrund einer Absenkung der Endwalztemperatur  $T_2$  eine Zunahme des Korrekturfaktors  $k$  aufgrund einer Zunahme der Leitgeschwindigkeit  $v_L$  kompensieren. Das Ausmaß der Kompensation kann bei gleicher Zunahme der Leitgeschwindigkeit  $v_L$  je nach Ausmaß der Absenkung der Endwalztemperatur  $T_2$  teilweise, vollständig oder übergroß sein. Das Ausmaß der Kompensation wiederum ist durch den Wichtungsfaktor  $a$  bestimmt. Es ist also möglich, den Wichtungsfaktor  $a$  derart zu bestimmen, dass eine (möglichst) vollständige Kompensation erfolgt.

**[0058]** Im einfachsten Fall wird bei dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren entsprechend der Darstellung in FIG 7 die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  einheitlich für das gesamte Metallband 1 (bzw. einheitlich für das gesamte jeweilige Metallband 1) ermittelt. In diesem Fall ist auch die Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  einheitlich für das gesamte Metallband 1 bzw. für das gesamte jeweilige Metallband 1 definiert. Alternativ ist es entsprechend der Darstellung in FIG 8 möglich, dass die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  - vom Ansatz her so, wie es in der WO 2011/138 067 A2 erläutert wird - individuell für einzelne Abschnitte 24 des Metallbandes 1 bzw. des jeweiligen Metallbandes 1 ermittelt wird. In diesem Fall kann die Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  einheitlich für das gesamte Metallband 1 bzw. für das gesamte jeweilige Metallband 1 definiert sein. Vorzugsweise ist in diesem Fall jedoch die Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  entsprechend der Darstellung in FIG 8 individuell für die einzelnen Abschnitte 24 des Metallbandes 1 bzw. des gesamten jeweiligen Metallbandes 1 bestimmt. Wiederum alternativ ist es möglich, dass die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  als Funktion des Ortes eines bestimmten Abschnitts des Metallbandes 1 - beispielsweise des Bandkopfes - oder als Funktion der Zeit ermittelt wird. In diesen Fällen kann die Referenzgeschwindigkeit  $v_R$  alternativ einheitlich definiert sein oder aber ebenfalls als Funktion des Ortes des bestimmten Abschnitts des Metallbandes 1 bzw. als Funktion der Zeit definiert sein.

**[0059]** Zusammengefasst betrifft die vorliegende Erfindung somit folgenden Sachverhalt:

Ein Metallband 1 wird in einer Anzahl von Walzgerüsten 5 einer Walzanlage gewalzt, sodann in einer Kühlstrecke 3 der Walzanlage gekühlt und schließlich in der Haspeleinrichtung 4 der Walzanlage aufgehaspelt. Die Kühlstrecke 3 ist zwischen den Walzgerüsten 5 und einer Haspeleinrichtung 4 angeordnet. Eine Steuereinrichtung 8 der Walzanlage ermittelt vor dem Walzen des Metallbandes 1 in den Walzgerüsten 5 eine Leitgeschwindigkeit  $v_L$  für die Walzanlage. Sie betreibt beim Walzen des Metallbandes 1 die Walzanlage entsprechend der ermittelten Leitgeschwindigkeit  $v_L$ . Die Steuereinrichtung 8 ermittelt die Leitgeschwindigkeit  $v_L$  anhand eines Istenergieinhalts  $E_1$  des Metallbandes 1 vor dem Walzen in den Walzgerüsten 5, eines Sollenergieinhalts  $E_2^*$  des Metallbandes 1 nach dem Walzen in den Walzgerüsten 5 und einer Referenzgeschwindigkeit  $v_R$ .

**[0060]** Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ist es möglich, das Metallband 1 derart zu walzen und zu kühlen, dass es reproduzierbare Materialeigenschaften aufweist. Streuungen aufgrund von unterschiedlichen Istenergieinhalten  $E_1$  vor dem Walzen in den Walzgerüsten 5 oder aufgrund von unterschiedlichen Leitgeschwindigkeiten  $v_L$  können reduziert werden. Weiterhin ergibt sich eine genauere Steuerung der Kühlstrecke 3, weil auch die Korrekturfaktoren  $k$  der Kühlstrecke 3 weniger streuen als im Stand der Technik. Dadurch ergibt sich eine noch weitergehende Verringerung bei der Streuung der Materialeigenschaften. Stillstandszeiten wegen zu kalter Metallbänder 1, die nicht mehr aufgehaspelt werden können oder beim Transport des gehaspelten Metallbandes 1 wegen zu hoher Spannungen aufspringen, können verringert oder sogar ganz vermieden werden. Das Betriebsverfahren kann in einfacher Weise und auf jeder Walzanlage realisiert werden. Das Betriebsverfahren ist nicht nur für die Herstellung von sogenanntem Rohrband geeignet, sondern auch bei anderen Stahlgüten. In vielen Fällen wird die wirtschaftliche Pro-



duktion der Güten X70 und X80 durch das erfindungsgemäße Betriebsverfahren erst ermöglicht.

**[0061]** 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 Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

## Patentansprüche

### 1. Betriebsverfahren für eine Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes (1),

- wobei das Metallband (1) in einer Anzahl von Walzgerüsten (5) der Walzanlage gewalzt wird, sodann in einer zwischen den Walzgerüsten (5) und einer Haspeleinrichtung (4) der Walzanlage angeordneten Kühlstrecke (3) der Walzanlage gekühlt wird und schließlich in der Haspeleinrichtung (4) aufgehaspelt wird,
- wobei eine Steuereinrichtung (8) der Walzanlage vor dem Walzen des Metallbandes (1) in den Walzgerüsten (5) eine Leitgeschwindigkeit (vL) für die Walzanlage ermittelt und beim Walzen des Metallbandes (1) die Walzanlage entsprechend der ermittelten Leitgeschwindigkeit (vL) betreibt,
- wobei die Steuereinrichtung (8) die Leitgeschwindigkeit (vL) anhand eines Istenergieinhalts (E1) des Metallbandes (1) vor dem Walzen in den Walzgerüsten (5), eines Sollenergieinhalts (E2\*) des Metallbandes (1) nach dem Walzen in den Walzgerüsten (5) und einer Referenzgeschwindigkeit (vR) ermittelt.

### 2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,

- **dass** die Steuereinrichtung (8), ausgehend von dem Istenergieinhalt (E1) des Metallbandes (1) vor dem Walzen in den Walzgerüsten (5), mittels eines Modells (15) der Walzgerüste (5) der Walzanlage einen erwarteten Energieinhalt (E2E) ermittelt, der bei einer angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL') nach dem Walzen in den Walzgerüsten (5) erwartet wird,
- **dass** die Steuereinrichtung (8) durch Variieren der angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL') eine Zielfunktion (Z) optimiert, in welche sowohl die Abweichung des erwarteten Energieinhalts (E2E) vom Sollenergieinhalt (E2\*) des Metallbandes (1) nach dem Walzen in den Walzgerüsten (5) als auch eine Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL') von der Referenzgeschwindigkeit (vR) eingehen, und
- **dass** die Steuereinrichtung (8) als Leitgeschwindigkeit (vL) diejenige angesetzte Leitgeschwindigkeit (vL') verwendet, bei welcher die Zielfunktion (Z) ihren optimalen Wert aufweist.

### 3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,

- **dass** die Steuereinrichtung (8), ausgehend von dem Istenergieinhalt (E1) des Metallbandes (1) vor dem Walzen in den Walzgerüsten (5), mittels eines Modells (15) der Walzgerüste (5) der Walzanlage einen erwarteten Energieinhalt (E2E) ermittelt, der bei einer angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL') nach dem Walzen in den Walzgerüsten (5) erwartet wird,
- **dass** die Steuereinrichtung (8) durch Variieren der angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL') eine Zielfunktion (Z) optimiert, in welche zwar die Abweichung des erwarteten Energieinhalts (E2E) vom Sollenergieinhalt (E2\*) des Metallbandes (1) nach dem Walzen in den Walzgerüsten (5), aber nicht eine Abweichung der angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL') von der Referenzgeschwindigkeit (vR) eingehen, und
- **dass** die Steuereinrichtung (8) als Leitgeschwindigkeit (vL) eine Linearkombination derjenigen angesetzten Leitgeschwindigkeit (vL'), bei welcher die Zielfunktion (Z) ihren optimalen Wert aufweist, und der Referenzgeschwindigkeit (vR) verwendet.

### 4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Ausmaß (a), zu welchem die Steuereinrichtung (8) die Referenzgeschwindigkeit (vR) bei der Ermittlung der Leitgeschwindigkeit (vL) berücksichtigt, der Steuereinrichtung (8) fest vorgegeben ist oder von einem Bediener (20) der Walzanlage vorgegeben wird.

### 5. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**,

- dass es wiederholt mit verschiedenen Metallbändern (1) ausgeführt wird,
- dass der Steuereinrichtung (8) eine jeweilige Endwalztemperatur (T2), die das jeweilige Metallband (1) nach dem Walzen, aber vor dem Kühlen aufweist, zugeführt wird,
- dass die Steuereinrichtung (8), ausgehend von der jeweiligen Endwalztemperatur (T2), für das jeweilige Metallband (1) mittels eines Modells (23) der Kühlstrecke (3) der Walzanlage jeweils eine erwartete Haspel-

temperatur (T3E) ermittelt, die für das jeweilige Metallband (1) beim Haspeln erwartet wird,

- dass die Steuereinrichtung (8) jeweils die erwartete Haspeltemperatur (T3E) mit einer jeweiligen tatsächlichen Haspeltemperatur (T3) vergleicht und anhand des Vergleichs einen Korrekturfaktor (k) für das Modell (23) der Kühlstrecke (3) ermittelt und

- dass die Steuereinrichtung (8) durch Auswertung der Korrekturfaktoren (k) in Abhängigkeit von den jeweiligen Leitgeschwindigkeiten (vL) und/oder den jeweiligen Endwalztemperaturen (T2) das Ausmaß (a) derart nachführt, dass der Einfluss der Leitgeschwindigkeit (vL) und/oder der Endwalztemperatur (T2) auf den Korrekturfaktor (k) minimiert wird.

**6.** Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **da- durch gekennzeichnet**, dass die Leitgeschwindigkeit (vL) einheitlich für das gesamte Metallband (1) ermittelt wird.

**7.** Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **da- durch gekennzeichnet**, dass die Leitgeschwindigkeit (vL) individuell für einzelne Abschnitte (24) des Metallbandes (1) ermittelt wird.

**8.** Betriebsverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenzgeschwindigkeit (vR) individuell für die einzelnen Abschnitte (24) des Metallbandes (1) bestimmt ist.

**9.** Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **da- durch gekennzeichnet**, dass das Metallband (1) in der Kühlstrecke (3) mit unter einem Druck (p) zwischen 1,5 bar und 5,0 bar stehendem Wasser gekühlt wird.

**10.** Computerprogramm, das Maschinencode (11) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (8) für eine Walzanlage abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (11) durch die Steuereinrichtung (8) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (8) die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

**11.** Steuereinrichtung für eine Walzanlage, wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (9) nach Anspruch 10 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 betreibt.

**12.** Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes (1),

- wobei die Walzanlage eine Anzahl von Walzgerüsten (5) aufweist, in denen das Metallband (1) gewalzt wird,

- wobei die Walzanlage eine Kühlstrecke (3) aufweist, in der das Metallband (1) nach dem Walzen gekühlt wird,

- wobei die Walzanlage eine Haspeleinrichtung (4) aufweist, in der das Metallband (1) nach dem Kühlen aufgehaspelt wird,

- wobei die Kühlstrecke (3) zwischen den Walzgerüsten (5) und der Haspeleinrichtung (4) angeordnet ist,

- wobei die Walzanlage eine Steuereinrichtung (8) aufweist, welche die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 betreibt.

FIG 1

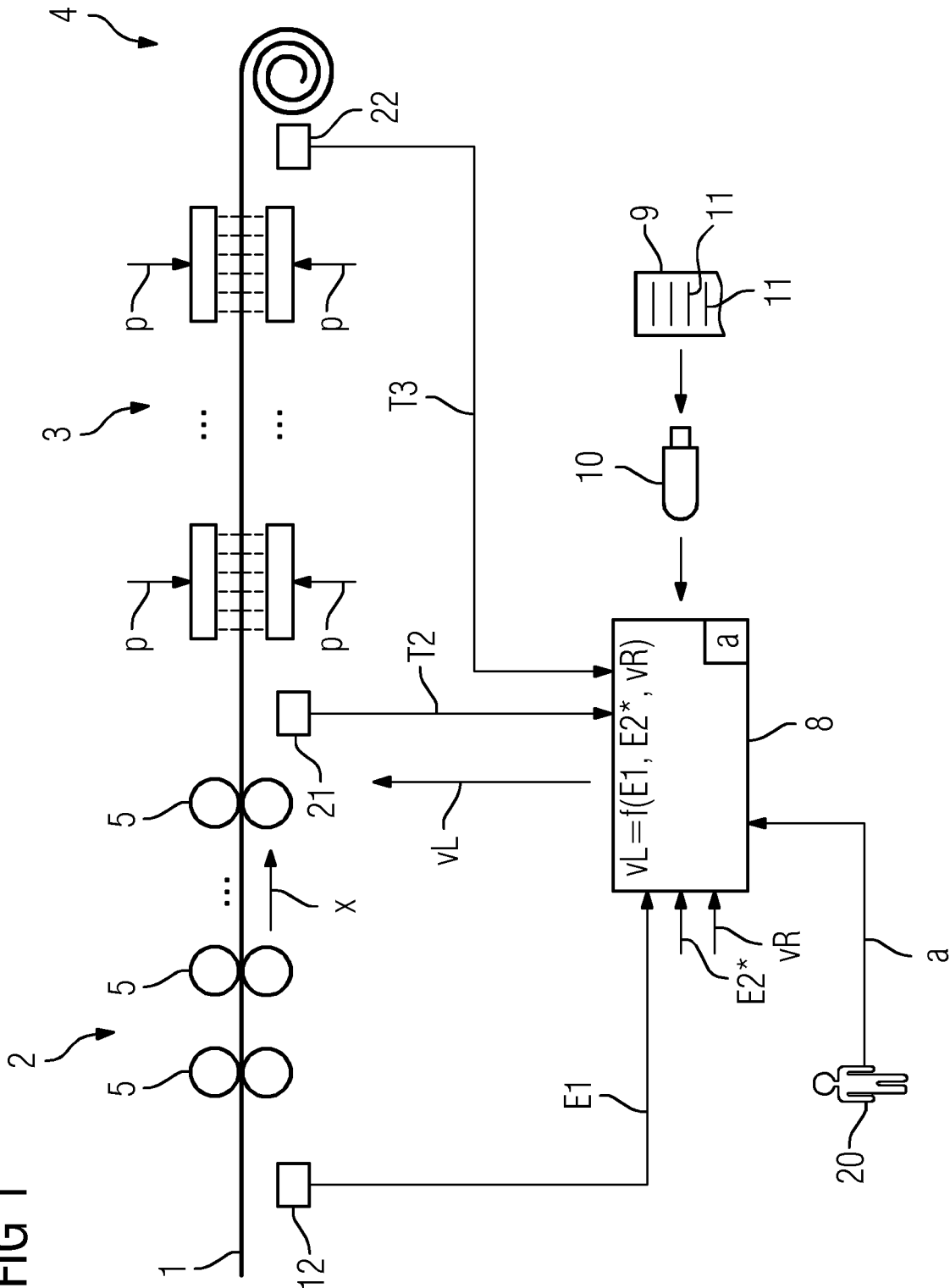


FIG 2

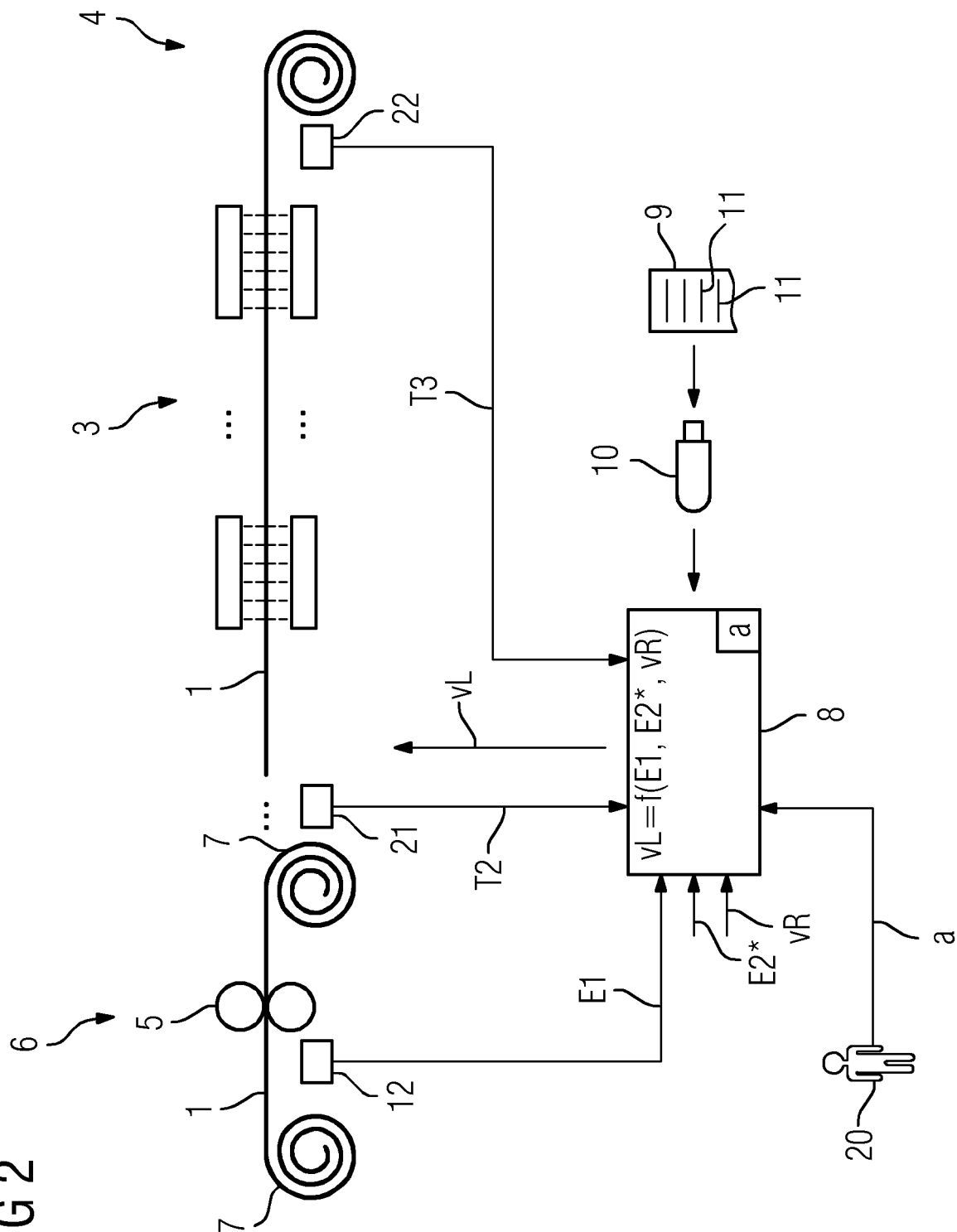


FIG 3

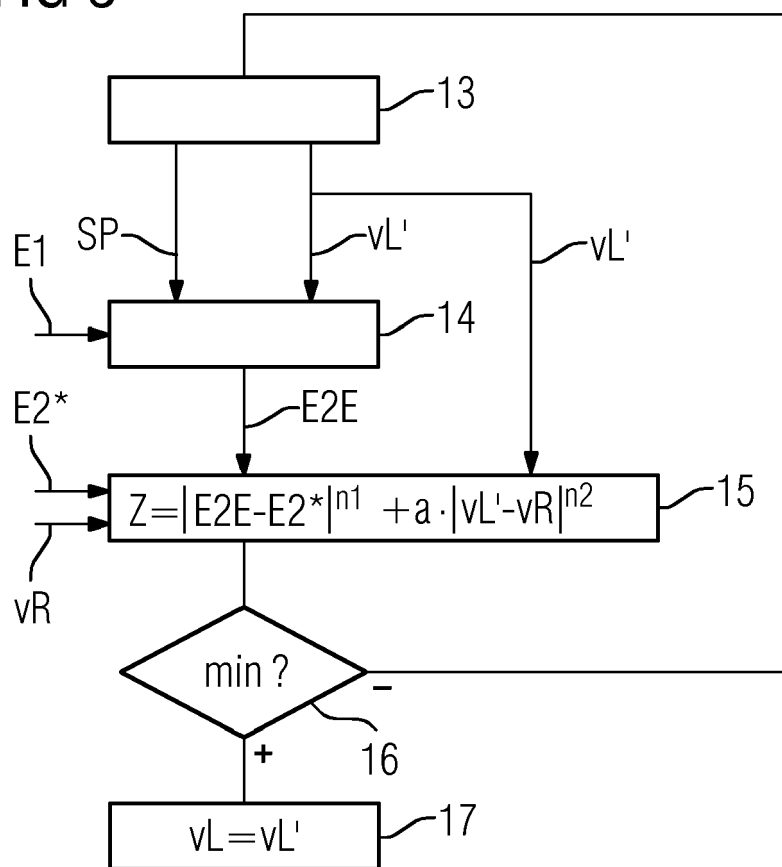


FIG 4

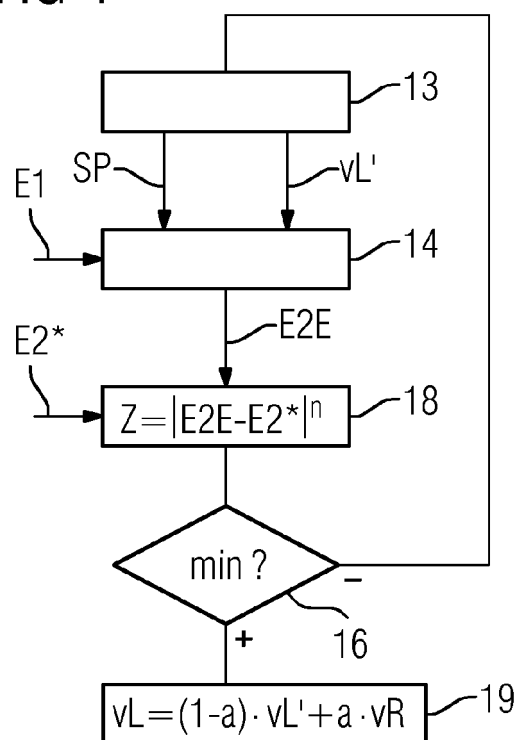


FIG 5

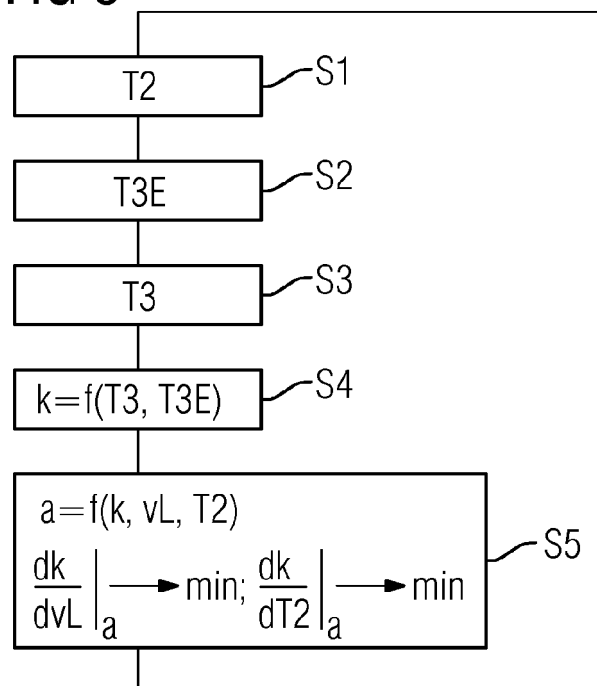


FIG 6

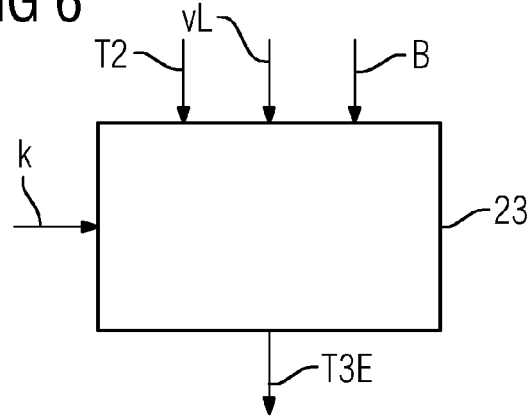


FIG 7

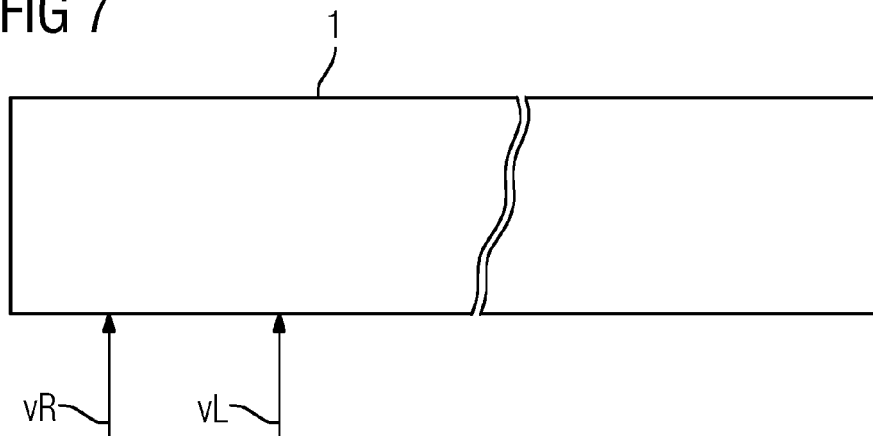
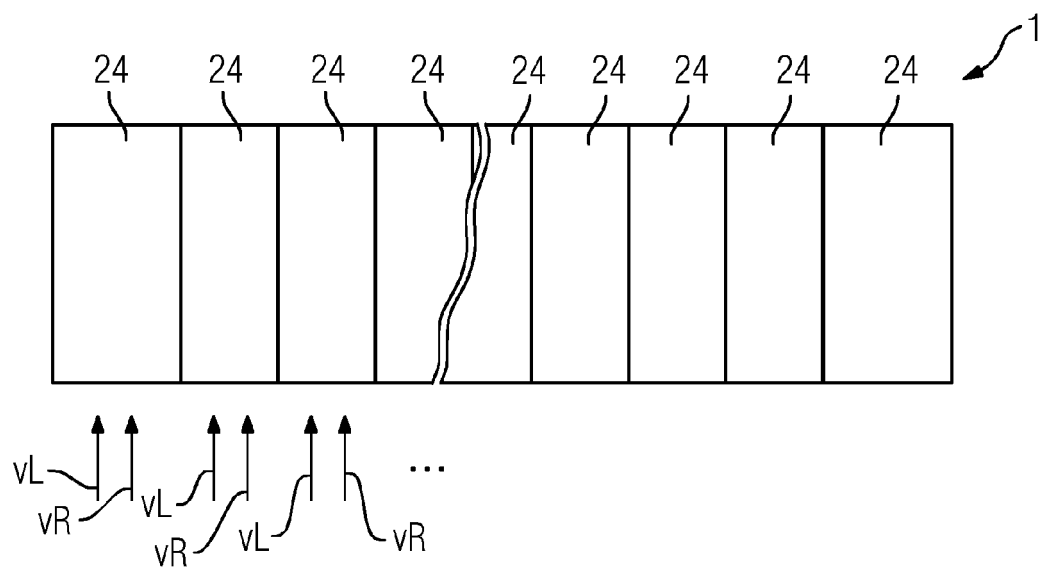


FIG 8





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 14 18 8795

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) |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP S63 168211 A (SUMITOMO METAL IND)<br>12. Juli 1988 (1988-07-12)                                                                                             | 1-8,<br>10-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | INV.<br>B21B37/46                  |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 | * Zusammenfassung *                                                                                                                                            | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 | DE 101 10 324 A1 (SMS DEMAG AG [DE])<br>5. September 2002 (2002-09-05)<br>* Spalte 2, Absatz 14; Anspruch 4 *                                                  | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | DE 103 21 791 A1 (SIEMENS AG [DE])<br>30. Dezember 2004 (2004-12-30)<br>* Seite 2, Absatz 25 - Seite 4, Absatz 42;<br>Abbildungen 1-3 *<br>* Zusammenfassung * | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP H04 197510 A (NIPPON KOKAN KK)<br>17. Juli 1992 (1992-07-17)<br>* Zusammenfassung *                                                                         | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | B21B                               |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                | Abschlußdatum der Recherche<br><b>31. März 2015</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Prüfer<br><b>Forciniti, Marco</b>  |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)



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

EP 14 18 8795

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.

31-03-2015

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| JP S63168211 A                                     | 12-07-1988                    | KEINE                             |                               |
| DE 10110324 A1                                     | 05-09-2002                    | AT 280003 T                       | 15-11-2004                    |
|                                                    |                               | CN 1494466 A                      | 05-05-2004                    |
|                                                    |                               | CZ 20032377 A3                    | 18-02-2004                    |
|                                                    |                               | DE 10110324 A1                    | 05-09-2002                    |
|                                                    |                               | EP 1365870 A1                     | 03-12-2003                    |
|                                                    |                               | JP 4136662 B2                     | 20-08-2008                    |
|                                                    |                               | JP 2004529771 A                   | 30-09-2004                    |
|                                                    |                               | RU 2281174 C2                     | 10-08-2006                    |
|                                                    |                               | TW 505549 B                       | 11-10-2002                    |
|                                                    |                               | UA 76744 C2                       | 17-11-2003                    |
|                                                    |                               | US 2004069034 A1                  | 15-04-2004                    |
|                                                    |                               | WO 02070157 A1                    | 12-09-2002                    |
| DE 10321791 A1                                     | 30-12-2004                    | KEINE                             |                               |
| JP H04197510 A                                     | 17-07-1992                    | KEINE                             |                               |

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**

- WO 2011138067 A2 [0005] [0058]