



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.01.2013 Patentblatt 2013/04

(51) Int Cl.:
B21B 38/00 (2006.01) B21C 51/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11175028.7**

(22) Anmeldetag: **22.07.2011**

(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

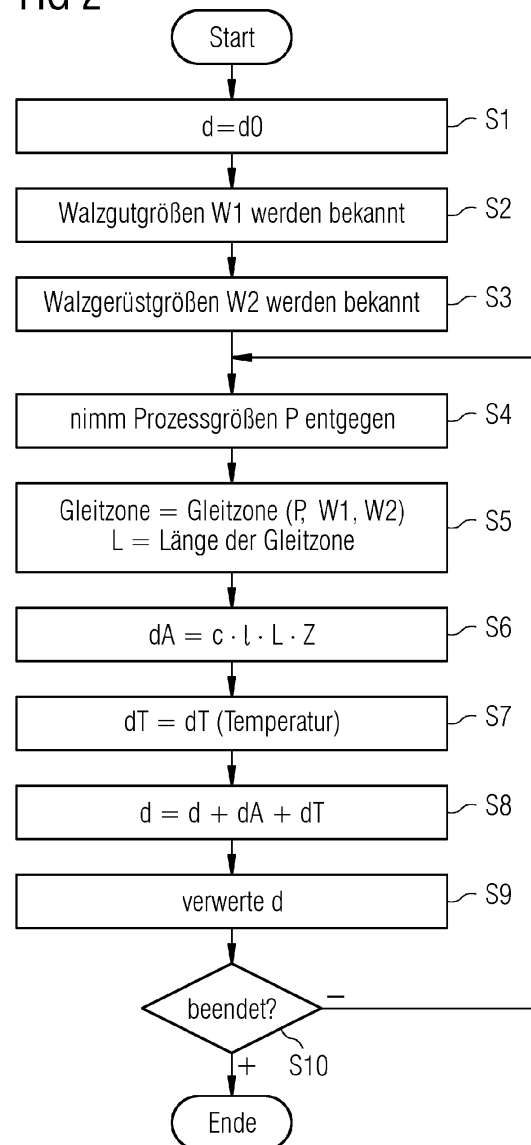
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Dagner, Johannes**
91052 Erlangen (DE)

(54) **Ermittlungsverfahren für relativbewegungsabhängigen Verschleiß einer Walze**

(57) Während des Walzens eines Walzgutes (2) in einem Walzgerüst (1) werden den Walzvorgang beschreibende Prozessgrößen (P) entgegen genommen. Anhand der Prozessgrößen (P) in Verbindung mit das Walzgerüst (1) beschreibenden Walzgerüstgrößen (W2) und das Walzgut beschreibenden Walzgutgrößen (W1) wird in Echtzeit ein Verschleiß (d) einer Walze (3) des Walzgerüsts (1) ermittelt. Der ermittelte Verschleiß (d) umfasst für Walzgutabschnitte (16) des Walzgutes (2) jeweils einen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil (dA). Für die Walzgutabschnitte (16) wird anhand der Prozessgrößen (P) in Verbindung mit das Walzgerüst (1) beschreibenden Walzgerüstgrößen (W2) und das Walzgut beschreibenden Walzgutgrößen (W1) jeweils eine Gleitzone (13) ermittelt, innerhalb derer das Walzgut (2) unter Relativbewegung zur Walze (3) auf der Walzenoberfläche gleitet. Der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil (dA) wird unter Berücksichtigung der Länge (L) der jeweiligen Gleitzone (13) ermittelt.

FIG 2



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Ermittlungsverfahren für einen Verschleiß einer Walze eines ersten Walzgerüsts zum Walzen von Walzgut,

- wobei während des Walzens des Walzgutes im ersten Walzgerüst den Walzvorgang beschreibende Prozessgrößen entgegen genommen werden,
- wobei anhand der Prozessgrößen in Verbindung mit das erste Walzgerüst beschreibenden Walzgerüstgrößen und das Walzgut beschreibenden Walzgutgrößen in Echtzeit der Verschleiß der Walze des ersten Walzgerüsts ermittelt wird,
- wobei der ermittelte Verschleiß für Walzgutabschnitte des Walzgutes jeweils einen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil umfasst.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einem Rechner unmittelbar abarbeitbar ist und dessen Abarbeitung durch den Rechner bewirkt, dass der Rechner ein derartiges Ermittlungsverfahren ausführt.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin einen Rechner, der derart ausgebildet ist, dass er ein derartiges Ermittlungsverfahren ausführt.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Walzwerk, das mindestens ein Walzgerüst zum Walzen von Walzgut umfasst und das mit einem derartigen Rechner ausgestattet ist.

[0005] Beim Walzen von Metallen tritt an den Walzen Verschleiß auf. Das Ausmaß, in dem der Verschleiß auftritt, ist von verschiedenen Parametern abhängig. Beispielsweise hängt das Ausmaß des Verschleißes von der Art der Walzen (Arbeitswalze, Stützwalze, ...), der Art des Walzens (Kaltwalzen oder Warmwalzen), der Anordnung der Walzen im Walzwerk (erstes, zweites, drittes Walzgerüst des Walzwerks usw.) bzw. - im Falle eines Reversierwalzwerks - der Stichnummer, dem Material des Walzgutes (Stahl, Aluminium, Kupfer, ...), dem Material der Walzen (Gusseisen, Stahlguss, Hochleistungsschnellstahl, ...) usw. ab.

[0006] Der Verschleiß hat Auswirkungen auf die Qualität des gewalzten Walzgutes. Insbesondere muss der Verschleiß durch entsprechende Anstellungskorrekturen - bei flachem Walzgut gegebenenfalls auch in Bezug auf Profil und Planheit - berücksichtigt und nach Möglichkeit kompensiert werden. Weiterhin müssen die Walzen von Zeit zu Zeit gewechselt und nachgeschliffen werden.

[0007] Eine direkte Messung des Walzenverschleißes ist nur möglich, wenn die betreffende Walze aus dem Walzgerüst ausgebaut ist und vermessen werden kann. Im laufenden Walzprozess ist eine direkte Messung des Walzenverschleißes hingegen nicht möglich. Es ist jedoch bekannt, Prozessgrößen des Walzprozesses zu erfassen und den Walzenverschleiß mittels eines Verschleißmodells in Echtzeit mitzurechnen. Mittels des Verschleißmodells wird in Abhängigkeit von der gewalzten Strecke des Walzgutes, dem Verlauf der Walzkraft über diese Strecke usw. der Verschleiß der jeweiligen Walze ermittelt. Das Verschleißmodell stellt den ermittelten Verschleiß anderen Steuerungssystemen zur Verfügung, beispielsweise zur entsprechenden Korrektur der Anstellung. Auch ist bekannt, ähnliche Berechnungen offline durchzuführen. Die verwendeten Prozessgrößen können in diesem Fall beispielsweise modellgestützt ermittelte erwartete Größen sein.

[0008] In jüngerer Zeit hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Verschleiß verschiedene Verschleißanteile aufweisen kann, insbesondere einen thermischen Verschleißanteil und einen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil. Der thermische Verschleißanteil ist im Wesentlichen durch das intermittierende Aufheizen der Walze während des Kontakts mit dem heißen Walzgut und das Abkühlen der Walze zwischen den Kontaktzeiten verursacht. Der relativbewegungsabhängige Verschleißanteil entsteht durch die Relativbewegung zwischen Walzgut und Walze (Voreilung und Nacheilung). Er bewirkt insbesondere eine Abrasion der Walze (abrasiver Verschleißanteil).

[0009] Für die Modellierung des thermischen Verschleißanteils sind verschiedene Vorgehensweisen bekannt. Rein beispielhaft wird auf den Fachaufsatz "Increasing work-roll life by improved roll-cooling practice" von P. G. Stevens et al., Journal of The Iron and Steel Institute, Januar 1971, Seiten 1 bis 11, verwiesen. Eine sehr gute Vorgehensweise zur Ermittlung des thermischen Verschleißanteils ist in der älteren, am Anmeldetag der vorliegenden Erfindung nicht vorherveröffentlichten europäischen Patentanmeldung 10 174 341.7 der Anmelderin (Anmeldetag 27.08.2010, Titel "Ermittlungsverfahren für einen Verschleiß einer Walze zum Walzen von Walzgut") beschrieben.

[0010] Die vorliegende Erfindung betrifft die Ermittlung des relativbewegungsabhängigen Verschleißanteils. Auf die Ermittlung und Berücksichtigung des thermischen Verschleißanteils wird daher nachfolgend nur am Rande eingegangen.

[0011] Bei der Ermittlung der Anstellungskorrektur muss im Stand der Technik ggf. auch eine thermische Balligkeit (thermal crown) der Walze berücksichtigt werden. Auch die Ermittlung und Berücksichtigung der thermischen Balligkeit ist nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

[0012] In der Regel erfolgt die Ermittlung des jeweiligen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteils gemäß der Beziehung

$$dA = c \cdot \Phi \cdot \alpha \cdot l \quad (1)$$

[0013] Hierbei bedeuten dA den erwarteten jeweiligen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil, c einen konstanten Verschleißkoeffizienten, Φ die Druckverteilung im Walzspalt, α den - für die Länge des Kontaktbereichs von Walzgut und Walze im Wesentlichen charakteristischen - Kontaktwinkel und l die Länge des jeweiligen Walzgutabschnittes. Der Verschleißkoeffizient c wird geeignet eingestellt. Er kann von den oben genannten Parametern abhängen.

[0014] In der Praxis zeigt sich jedoch, dass diese Vorgehensweise die tatsächlichen Verhältnisse nur unzureichend wiedergibt.

[0015] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, den relativbewegungsabhängigen Verschleiß der Walze auf zuverlässige Weise modellgestützt ermitteln zu können.

[0016] Die Aufgabe wird durch ein Ermittlungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Ermittlungsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 13.

[0017] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, ein Ermittlungsverfahren der eingangs genannten Art dadurch auszugestalten,

- dass anhand der Prozessgrößen in Verbindung mit das erste Walzgerüst beschreibenden Walzgerüstgrößen und das Walzgut beschreibenden Walzgutgrößen für die Walzgutabschnitte jeweils eine Gleitzone ermittelt wird, innerhalb derer das Walzgut unter Relativbewegung zur Walze auf der Walzenoberfläche gleitet, und
- dass der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil unter Berücksichtigung der Länge der jeweiligen Gleitzone ermittelt wird.

[0018] Die vorliegende Erfindung beruht somit in der Anwendung des - an sich bekannten - Umstandes, dass beim Walzen ein Bereich (Haftzone) existiert, in dem das Walzgut ohne Relativbewegung zur Walze an der Walze anliegt (anhaftet), während es für den relativbewegungsabhängigen Verschleiß auf die sogenannte geschliffene Länge ankommt, d.h. auf diejenige Länge der Walze, bei der durch die Vor- und Nacheilung des Walzgutes eine Relativbewegung zwischen Walze und Walzgut auftritt.

[0019] Es ist möglich, ein Modell aufzustellen, mittels dessen die Gleitzone direkt ermittelt wird. Alternativ ist es möglich, die (gesamte) Kontaktlänge und die (absolute oder relative) Länge der Haftzone zu ermitteln und sodann die Gleitzone anhand der Kontaktlänge und der Haftzone zu ermitteln. Insbesondere sind im Stand der Technik bereits Modelle bekannt, welche unter anderem die Haftzone ermitteln. Rein beispielhaft wird auf den Fachaufsatz "Effect of Sliding and Rolling Friction on the Energy-Force Parameters during Hot Rolling in Four-High Stands" von E. A. Garber et al., veröffentlicht in Russian Metallurgy (Metally), 2007, No. 6, pp. 484 - 491, verwiesen. Derartige Modelle werden oftmals auch im Rahmen der Stichplanberechnung verwendet.

[0020] Die bekannten Modelle werden im Stand der Technik lediglich zur Ermittlung von Walzkraft, Walzmoment und Voreilung verwendet. Sie ermitteln die genannten Größen unter Verwendung der Fließeigenschaften des Walzgutes, des Reibwerts zwischen Walze und Walzgut, der gewünschten Stichabnahme, der Geometrie des Walzgutes und dergleichen mehr. Sie können jedoch erfindungsgemäß auch für die Ermittlung der Haftzone und damit indirekt der Gleitzone herangezogen werden, wobei anhand der Gleitzone die Ermittlung des relativbewegungsabhängigen Verschleißes erfolgen kann.

[0021] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil gemäß der Beziehung

$$dA = c \cdot l \cdot L \cdot Z$$

ermittelt wird, wobei dA der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil, c ein von den Prozessgrößen unabhängiger Anpassungsfaktor, l die Länge des jeweiligen Walzgutabschnitts, L die Länge der Gleitzone und Z eine von den Prozessgrößen abhängige weitere Einflussgröße sind. Durch diese Vorgehensweise kann ein relativ einfaches Verschleißmodell implementiert werden, welches bereits recht gute Ergebnisse liefert.

[0022] Im einfachsten Fall ist es möglich, dass die weitere Einflussgröße vom mittleren Druck im Walzspalt (d.h. dem Quotienten von Walzkraft und Kontaktfläche) abhängt. Diese Vorgehensweise führt oftmals zu akzeptablen bis guten Ergebnissen. Es führt jedoch zu besseren Ergebnissen, wenn die weitere Einflussgröße von der (exakten) Druckverteilung im Walzspalt abhängt. Die Druckverteilung kann beispielsweise anhand der mittleren Fließspannung oder anhand des Maximums der Fließkurve (als Funktion des Umformgrades) ermittelt werden.

[0023] Die Ermittlung der Druckverteilung im Walzspalt und die Ausbildung der Haftzone sind - je nach Ermittlungsweise - sehr rechenintensiv. Vorzugsweise ist daher vorgesehen,

- dass die Druckverteilung im Walzspalt beim erstmaligen Entgegennehmen der Prozessgrößen anhand der Prozessgrößen in Verbindung mit den Walzgerüstgrößen und den Walzgutgrößen ermittelt wird,
- dass die ermittelte Druckverteilung gespeichert wird,
- dass bei einem späteren Entgegennehmen der Prozessgrößen anhand der Prozessgrößen geprüft wird, ob sich die Prozessgrößen geändert haben, und
- dass in Abhängigkeit davon, ob die Prozessgrößen sich geändert haben oder nicht, die Druckverteilung im Walzspalt anhand der neuen Prozessgrößen in Verbindung mit den Walzgerüstgrößen und den Walzgutgrößen neu ermittelt wird oder die gespeicherte Druckverteilung im Walzspalt verwendet wird.

[0024] Durch diese Vorgehensweise kann die Echtzeitfähigkeit des erfindungsgemäßen Ermittlungsverfahrens mit einer relativ geringen Rechenleistung realisiert werden.

[0025] Alternativ zur Druckverteilung im Walzspalt kann die weitere Einflussgröße von der Oberflächenhärte der Walze abhängen. Beispielsweise kann - entsprechend der in der älteren europäischen Patentanmeldung 10 174 341.7 erläuterten Vorgehensweise - der relativbewegungsabhängige Verschleißanteil in Abhängigkeit von der Oberflächenhärte und der Fließspannung des Walzgutes ermittelt werden. Alternativ kann der relativbewegungsabhängige Verschleißanteil in Abhängigkeit sowohl von der Druckverteilung im Walzspalt als auch von der Oberflächenhärte der Walze, ggf. unter zusätzlicher Berücksichtigung der Fließspannung des Walzgutes, ermittelt werden. Auch andere Vorgehensweisen sind möglich.

[0026] Wenn die weitere Einflussgröße (auch) von der Oberflächenhärte der Walze abhängt, wird vorzugsweise anhand der Prozessgrößen in Verbindung mit den Walzgerüstgrößen und den Walzgutgrößen in Echtzeit eine obere Temperatur ermittelt, auf die sich die Oberfläche der Walze während des Kontakts mit dem Walzgut aufheizt. Die Oberflächenhärte der Walze wird in diesem Fall vorzugsweise in Abhängigkeit von der ermittelten oberen Temperatur ermittelt.

[0027] Vorzugsweise wird bei der Ermittlung der Gleitzzone eine Walzspaltschmierung berücksichtigt.

[0028] Es ist möglich, dass der ermittelte Verschleiß im Rahmen der Ermittlung von Stellgrößen für das erste Walzgerüst verwendet wird. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass der ermittelte Verschleiß zur Ermittlung eines Walzenwechselzeitpunkts herangezogen wird. Sofern eine Ermittlung eines Walzenwechselzeitpunktes erfolgt, kann die Ermittlung des erwarteten Verschleißanteils ggf. mit einer in die Zukunft gerichteten Verschleißprognose verknüpft sein. Eine derartige Verschleißprognose ist in der älteren, am Anmeldetag der vorliegenden Erfindung nicht vorveröffentlichten europäischen Patentanmeldung 10 174 297.1 (Anmeldetag 27.08.2010, Titel "Betriebsverfahren für ein Walzwerk zum Walzen von flachem Walzgut mit Walzenverschleißprognose") der Anmelderin detailliert beschrieben.

[0029] Modelle für Prozesse in Walzwerken sind in der Regel fehlerbehaftet. Es ist daher üblich, sie anhand erfasster (= gemessener) Prozessgrößen zu adaptieren. Falls auch im Rahmen des erfindungsgemäßen Ermittlungsverfahrens eine Adaption erfolgen soll, sind verschiedene bevorzugte Vorgehensweisen möglich.

[0030] Zum einen ist es möglich,

- dass die Prozessgrößen eine beim Walzen des Walzgutes auftretende Walzkraft umfassen,
- dass die Walzkraft erfasst wird,
- dass unter Verwendung einer Fließkurve des Walzgutes eine erwartete Walzkraft ermittelt wird,
- dass der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil in direkter oder indirekter Abhängigkeit von der Fließkurve ermittelt wird und
- dass die Fließkurve in Abhängigkeit von der erfassten Walzkraft und der erwarteten Walzkraft nachgeführt wird.

[0031] Zum anderen ist es möglich,

- dass die Prozessgrößen eine beim Walzen des Walzgutes auftretende Walzkraft und eine beim Walzen des Walzgutes auftretende Voreilung umfassen,
- dass die Walzkraft und die Voreilung erfasst werden,
- dass unter Verwendung einer Fließkurve des Walzgutes und eines Reibwerts des Walzgutes relativ zur Walze eine erwartete Walzkraft und eine erwartete Voreilung ermittelt werden,
- dass der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil in direkter oder indirekter Abhängigkeit von der Fließkurve und dem Reibwert ermittelt wird und
- dass die Fließkurve und der Reibwert in Abhängigkeit von der erfassten Walzkraft, der erwarteten Walzkraft, der erfassten Voreilung und der erwarteten Voreilung nachgeführt werden.

[0032] Vorzugsweise wird im letztgenannten Fall die Fließkurve nicht ausschließlich anhand der Walzkraft nachgeführt. Weiterhin wird vorzugsweise der Reibwert nicht ausschließlich anhand der Voreilung nachgeführt. Vorzugsweise erfolgt vielmehr die Nachführung der Fließkurve anhand sowohl der Walzkraft als auch der Voreilung. Gleiches gilt vorzugsweise

für den Reibwert. Zur Nachführung von Fließkurve und Reibwert kann insbesondere ein nicht linearer Optimierer verwendet werden. Geeignete Optimierer sind als solche bekannt. Rein beispielhaft wird auf den Fachaufsatz "Adaptive Rolling Model for a Cold Strip Tandem Mill" von Matthias Kurz et al., AISE 2001, verwiesen.

[0033] Zum Erfassen der Voreilung ist eine Einrichtung erforderlich, mittels derer die auslaufseitige Geschwindigkeit des Walzgutes exakt erfassbar ist. Beispielsweise kann dem Walzgerüst ein Schlingenheber nachgeordnet sein, dessen Rolle an das Walzgut angestellt ist. Die Umfangsgeschwindigkeit der Schlingenheberrolle entspricht in sehr guter Näherung der auslaufseitigen Geschwindigkeit des Walzgutes. Im Falle eines Grobblech-Reversierwalzwerks kann weiterhin die Länge des Walzgutes vor (nach) dem Walzen messtechnisch erfasst werden und anhand der erfassten Länge in Verbindung mit der Dauer des Walzstichs und dem während dieser Zeit von der Walze zurückgelegten Umfangsweg die Voreilung (Nacheilung) ermittelt werden.

[0034] Die Walzkraft kann - eine entsprechende Messeinrichtung vorausgesetzt - bei jedem Walzgerüst erfasst werden. Es ist jedoch möglich, dass eine Erfassung der Voreilung nur bei manchen Walzgerüsten implementiert ist. In diesem Fall kann beispielsweise bei einem Walzgerüst, bei dem zusätzlich zur Walzkraft auch die Voreilung erfasst wird, (erstes Walzgerüst im Sinne des Anspruchs 11) eine Nachführung sowohl der Fließkurve als auch des Reibwertes erfolgen. Bei den anderen Walzgerüsten, bei denen ausschließlich die Walzkraft, nicht aber auch die Voreilung erfasst wird, (zweite Walzgerüste im Sinne des Anspruchs 11) kann anhand der Walzkraft nur die Fließkurve nachgeführt werden. Es ist jedoch möglich, dass ein im Rahmen der Ermittlung des Verschleißes der Walze des zweiten Walzgerüsts verwendeter Reibwert des Walzgutes relativ zur Walze des zweiten Walzgerüsts anhand des für das erste Walzgerüst nachgeführten Reibwerts bestimmt wird. Insbesondere kann der Reibwert des ersten Walzgerüsts übernommen werden oder mit einem Faktor skaliert werden.

[0035] In vielen Fällen durchläuft das Walzgut zuerst das zweite Walzgerüst und erst danach das erste Walzgerüst. Beispielsweise können das zweite Walzgerüst ein Vorgerüst einer Vorstraße sein und das erste Walzgerüst ein Fertiggerüst einer Fertigstraße sein.

[0036] Weiterhin ist es möglich, nach einem Ausbau der Walze aus dem Walzgerüst die Walze zu vermessen und so den tatsächlichen Verschleiß der Walze zu ermitteln. In diesem Fall kann das Verschleißmodell offline anhand des mittels des Verschleißmodells ermittelten erwarteten Verschleißes und des gemessenen tatsächlichen Verschleißes adaptiert werden.

[0037] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm der eingangs genannten Art gelöst. Das Computerprogramm ist in diesem Fall derart ausgestaltet, dass die Abarbeitung des Maschinencodes durch den Rechner bewirkt, dass der Rechner ein Ermittlungsverfahren mit allen Schritten eines erfindungsgemäßen Ermittlungsverfahrens ausführt.

[0038] Die Aufgabe wird weiterhin durch einen Rechner gelöst, der derart ausgebildet ist, dass er ein derartiges Ermittlungsverfahren ausführt.

[0039] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Walzwerk der eingangs genannten Art gelöst, das mit einem derartigen Rechner ausgestattet ist.

[0040] 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

FIG 1 schematisch ein Walzwerk,
FIG 2 ein Ablaufdiagramm,
FIG 3 schematisch einen Walzspalt,
FIG 4 bis 7 Ablaufdiagramme,
FIG 8 schematisch ein Walzwerk und
FIG 9 und 10 Ablaufdiagramme.

[0041] Gemäß FIG 1 weist ein Walzwerk mehrere Walzgerüste 1 auf. Alternativ könnte das Walzwerk - beispielsweise im Falle eines Reversierwalzwerks - nur ein einziges Walzgerüst 1 aufweisen. In den Walzgerüsten 1 wird ein Walzgut 2 gewalzt. Das Walzgut 2 besteht aus Metall, beispielsweise aus Kupfer, Aluminium, Messing oder Stahl. Es kann in dem Walzgerüst 1 alternativ kalt oder warm gewalzt werden, wobei im Rahmen der vorliegenden Erfindung in der Regel ein Warmwalzen erfolgt.

[0042] Die Walzgerüste 1 weisen gemäß FIG 1 zusätzlich zu Arbeitswalzen 3 Stützwalzen 4 auf. Das Walzgut 2 ist daher ein flaches Walzgut, d.h. ein Band oder Grobblech. Alternativ könnten - insbesondere zum Walzen von profiliertem, stabförmigem oder rohrförmigem Walzgut 2 - die Stützwalzen 4 entfallen, also nur die Arbeitswalzen 3 vorhanden sein.

[0043] Das Walzwerk ist mit einem Rechner 5 ausgestattet. Der Rechner 5 kann entsprechend der Darstellung von FIG 1 das Walzwerk steuern, also als Steuerrechner ausgebildet sein. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Der Rechner 5 ist mit einem Computerprogramm 6 programmiert. Das Computerprogramm 6 kann dem Rechner 5 beispielsweise über einen Datenträger 7 zugeführt werden, auf dem das Computerprogramm 6 in maschinenlesbarer Form

gespeichert ist. Rein beispielhaft ist der Datenträger 7 in FIG 1 als USB-Memory-Stick dargestellt. Diese Darstellung ist jedoch nicht beschränkend zu verstehen.

[0044] Das Computerprogramm 6 umfasst Maschinencode 8, der von dem Rechner 5 unmittelbar abarbeitbar ist. Das Abarbeiten des Maschinencodes 8 durch den Rechner 5 bewirkt, dass der Rechner 5 ein Ermittlungsverfahren ausführt, das nachfolgend in Verbindung mit FIG 2 näher erläutert wird. Die Programmierung mit dem Computerprogramm 6 bewirkt somit eine entsprechende Ausbildung des Rechners 5.

[0045] Gemäß FIG 2 - siehe ergänzend FIG 1 - setzt der Rechner 5 in einem Schritt S1 für eine bestimmte Walze 3, 4 - beispielsweise die obere Arbeitswalze 3 des in FIG 1 mittleren Walzgerüsts 1 - den Verschleiß d auf einen Anfangswert d_0 . Der Anfangswert d_0 kann dem Rechner 5 beispielsweise von einem Bediener 9 oder anderweitig zur Verfügung gestellt werden. Eine Möglichkeit, den Anfangswert d_0 anderweitig zur Verfügung zu stellen, besteht beispielsweise darin, dass der Anfangswert d_0 dem Rechner 5 automatisiert aus einer Schleiferei übermittelt wird, in welcher die betreffende Walze 3, 4 nachgeschliffen wurde.

[0046] In einem Schritt S2 werden dem Steuerrechner 5 Walzgutgrößen $W1$ bekannt, die das zu walzende Walzgut 2 beschreiben. Die Walzgutgrößen $W1$ umfassen beispielsweise die chemische Zusammensetzung, die Temperatur und Geometriedaten des Walzgutes 2. Insbesondere die Geometriedaten und in der Regel auch die Temperatur sind auf den Zustand bezogen, in dem das Walzgut 2 in das betrachtete Walzgerüst 1 einläuft. Die Geometriedaten können im Falle eines flachen Walzgutes 2 insbesondere dessen Breite und dessen Dicke umfassen. Die Walzgutgrößen $W1$ können dem Rechner 5 auf zum Anfangswert d_0 analoge Weise bekannt werden.

[0047] In einem Schritt S3 werden dem Rechner 5 Walzgerüstgrößen $W2$ bekannt, die das Walzgerüst 1 und dessen Walzen 3, 4 beschreiben. Die Walzgerüstgrößen $W2$ umfassen beispielsweise den Einbauort der betrachteten Walze 3, also beispielsweise im ersten, zweiten, dritten usw. Walzgerüst 1 einer mehrgerüstigen Walzstraße. Weiterhin umfassen die Walzgerüstgrößen $W2$ das Material der Walze 3 (beispielsweise Hochleistungsschnellstahl - HSS), die Art der Walze 3 (Arbeitswalze, Stützwalze, Zwischenwalze usw.) sowie die statischen Geometriedaten (Breite und Durchmesser) der betrachteten Walze 3. Die Walzgerüstdaten $W2$ können dem Rechner 5 auf zu den Walzgutdaten $W1$ analoge Weise bekannt werden.

[0048] In einem Schritt S4 nimmt der Rechner 5 während des Walzens des Walzgutes 2 in dem betrachteten Walzgerüst 1 Prozessgrößen P entgegen. Die Prozessgrößen P beschreiben den Walzvorgang im betrachteten Walzgerüst 1. Sie können beispielsweise vollständig oder teilweise mittels entsprechender Messgeber erfasst und dem Rechner 5 zugeführt werden. Insbesondere die Walzkraft FW kann mittels entsprechender Kraftmessdosen ohne Weiteres erfasst werden. In analoger Weise kann mittels entsprechender Sensoren die Drehzahl nW der betrachteten Walze 3 erfasst werden, so dass sich in Verbindung mit dem - bekannten - Durchmesser der betrachteten Walze 3 sofort deren Umfangsgeschwindigkeit ergibt. Alternativ können die Prozessgrößen P ganz oder teilweise rechnerisch ermittelt werden. Beispielsweise kann die Voreilung oftmals nur rechnerisch ermittelt werden. Falls die Geschwindigkeit des aus dem Walzgerüst 1 auslaufenden Walzgutes 2 messtechnisch erfasst wird, ist jedoch auch die Voreilung durch das Verhältnis dieser Geschwindigkeit zur Umfangsgeschwindigkeit der betrachteten Walze 3 ermittelbar. Sie stellt also in diesem Fall ebenfalls eine auf Messungen basierende Größe dar. Die Geschwindigkeit des aus dem Walzgerüst 1 auslaufenden Walzgutes 2 kann beispielsweise über die Drehzahl nS einer Schlingenheberrolle 10, die hinter dem betrachteten Walzgerüst 1 an das Walzgut 2 angestellt ist, erfasst werden. Andere Prozessgrößen P - beispielsweise eine Anstellung des Walzgerüsts 1 oder eine Schmierung zwischen Walze 3 und Walzgut 2 - können beispielsweise aufgrund einer Stichplanberechnung bekannt sein.

[0049] In einem Schritt S5 ermittelt der Rechner 5 anhand der Prozessgrößen P in Verbindung mit den Walzgutgrößen $W1$ und den Walzgerüstgrößen $W2$ mittels eines Walzspaltmodells 11 eine Gleitzone 13 (siehe FIG 3) und deren Länge L . Die Gleitzone 13 entspricht - siehe FIG 3 - demjenigen Bereich des Walzspalts, innerhalb dessen das Walzgut 2 unter Relativbewegung zur Walze 3 auf der Walzenoberfläche gleitet. Innerhalb der Gleitzone 13 ist daher die Walzgutgeschwindigkeit am betrachteten Ort also entweder (nämlich im einlaufseitigen Bereich) kleiner als die Umfangsgeschwindigkeit der Walze 3 oder (nämlich im auslaufseitigen Bereich) größer als die Umfangsgeschwindigkeit der betrachteten Walze 3. Die Gleitzone 13 steht im Kontrast zu einer Haftzone 14, innerhalb derer die Walzgutgeschwindigkeit am betrachteten Ort gleich der Umfangsgeschwindigkeit der betrachteten Walze 3 ist. Die Gleitzone 13 und die Haftzone 14 bilden zusammen einen Kontaktbereich 15 der Walze 3, innerhalb dessen die Walze 3 das Walzgut 2 kontaktiert. Die Gleitzone 13 und die Haftzone 14 sind in FIG 3 - rein zeichentechnisch - dadurch unterschieden, dass eine Geschwindigkeit des Walzgutes 2 in der einlaufseitigen Gleitzone 13 mit einem kleinen und in der auslaufseitigen Gleitzone 13 mit einem großen Pfeil angedeutet ist, während die Geschwindigkeit des Walzgutes 2 in der Haftzone 14 mit einem Pfeil mittlerer Größe angedeutet ist. Bei der Ermittlung der Gleitzone 13 berücksichtigt der Rechner 5 vorzugsweise unter anderem eine Walzspaltschmierung.

[0050] Für die Ermittlung der Gleitzone 13 gibt es verschiedene Möglichkeiten. Derzeit ist bevorzugt, zunächst in an sich bekannter Weise - noch ohne Unterscheidung zwischen Gleitzone 13 und Haftzone 14 - den Kontaktbereich 15 zu ermitteln, sodann in ebenfalls an sich bekannter Weise die Haftzone 14 zu ermitteln und schließlich - je nachdem, ob die Haftzone 14 als absoluter oder als relativer Wert ermittelt wird - die Gleitzone 13 gemäß einer der Beziehungen

$$\begin{aligned} \text{Gleitzone} &= \text{Kontaktbereich} - \text{Haftzone} && \text{oder} \\ \text{Gleitzone} &= \text{Kontaktbereich} \cdot (1 - \text{Haftzone}) \end{aligned}$$

zu ermitteln. Gegebenenfalls kann bei der Ermittlung der Gleitzone 13, der Haftzone 14 und/oder des Kontaktbereichs 15 eine Walzenabplattung mit berücksichtigt werden. Zum Ermitteln des Kontaktbereichs 15 und der Haftzone 14 kann insbesondere das Walzspaltmodell 11 verwendet werden. Entsprechende Walzspaltmodelle 11 sind an sich bekannt. Rein beispielhaft wird auf den eingangs genannten Fachaufsatz von Garber et al. verwiesen.

[0051] In einem Schritt S6 ermittelt der Rechner 5 einen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil dA. Der Rechner 5 ermittelt den relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil dA im Schritt S6 unter Berücksichtigung der im Schritt S5 ermittelten Gleitzone 13. Insbesondere ist der relativbewegungsabhängige Verschleißanteil dA proportional zur Länge L der Gleitzone 13.

[0052] In einem optionalen Schritt S7 ermittelt der Rechner 5 weitere Verschleißanteile, insbesondere einen thermischen Verschleißanteil dT. Für die Ermittlung der zweiten Verschleißanteile ist in der Regel zwar der Kontaktbereich 15 von Bedeutung. Zwischen Gleitzone 13 und Haftzone 14 muss in der Regel jedoch nicht unterschieden werden. Die Ermittlung des thermischen Verschleißanteils dT kann insbesondere gemäß dem Verfahren erfolgen, das in der eingangs erwähnten europäischen Patentanmeldung 10 174 341.7 detailliert erläutert ist.

[0053] In einem Schritt S8 aktualisiert der Rechner 5 den Verschleiß d dadurch, dass er den relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil dA und ggf. die weiteren Verschleißanteile dT zum bisher aufgelaufenen Verschleiß d hinzu addiert.

[0054] In einem Schritt S9 verwertet der Rechner 5 den ermittelten Verschleiß d. Beispielsweise kann der Rechner 5, falls er entsprechend der Darstellung von FIG 1 das Walzwerk steuert, den ermittelten Verschleiß d im Rahmen der Ermittlung von Stellgrößen S für das betrachtete Walzgerüst 1 verwenden. Alternativ oder zusätzlich kann der Rechner 5 den ermittelten Verschleiß d mit einem maximal zulässigen Verschleiß vergleichen und ggf. eine Warnmeldung an den Bediener 9 ausgeben, dass zu einem - in Abhängigkeit von dem Verschleiß d ermittelten - Walzenwechselzeitpunkt ein Austausch der betrachteten Walze 3 erfolgen muss. Auch andere Vorgehensweisen sind möglich.

[0055] In einem Schritt S10 prüft der Rechner 5, ob das Walzen des Walzgutes 2 beendet ist. Falls dies nicht der Fall ist, geht der Rechner 5 zum Schritt S4 zurück, so dass er erneut die Schritte S4 bis S10 ausführt.

[0056] Aus den oben stehenden Ausführungen ist ersichtlich, dass der Rechner 5 den relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil dA und ggf. auch die weiteren Verschleißanteile dT jeweils nur für einen Walzgutabschnitt 16 ausführt, der während des betreffenden Durchlaufs durch die aus den Schritten S4 bis S10 bestehende Schleife im betrachteten Walzgerüst 1 gewalzt wird. Der Rechner 5 ermittelt den relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil dA im Schritt S6 daher, wie im Schritt S6 von FIG 2 angegeben, gemäß der Beziehung

$$dA = c \cdot l \cdot L \cdot Z$$

wobei c ein von den Prozessgrößen P unabhängiger Anpassungsfaktor, l die Länge des jeweiligen Walzgutabschnitts 16 und Z eine weitere, von den Prozessgrößen P abhängige Einflussgröße sind.

[0057] Die Ermittlung der weiteren Einflussgröße Z kann auf verschiedene Weise erfolgen. Nachfolgend wird in Verbindung mit FIG 4 eine mögliche Vorgehensweise zur Ermittlung der weiteren Einflussgröße Z erläutert.

[0058] Gemäß FIG 4 ermittelt der Rechner 5 in einem Schritt S21 anhand der Prozessgrößen P, der Walzgutgrößen W1 und der Walzgerüstgrößen W2 wie beispielsweise der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung des Walzgutes 2 in Verbindung mit der Geometrie des Walzgutes 2 und der gewünschten Stichabnahme eine Druckverteilung im Walzspalt. Auch hierfür kann das Walzspaltmodell 11 verwendet werden. Die Auslegung des Walzspaltmodells 11 ist dem Fachmann bekannt.

[0059] In einem Schritt S22 ermittelt der Rechner 5 anhand der Prozessgrößen P, der Walzgutgrößen W1 und der Walzgerüstgrößen W2 wie beispielsweise des Walzendurchmessers, der Walzendrehzahl, der Walzgutgeometrie und der Walzguttemperatur eine obere Temperatur der betrachteten Walze 3. Die obere Temperatur entspricht - zumindest im Wesentlichen - derjenigen Temperatur, auf welche sich die Oberfläche der betrachteten Walze 3 während des Kontakts mit dem Walzgut 2 aufheizt. Entsprechende Walzenmodelle sind dem Fachmann bekannt. In einem Schritt S23 ermittelt der Rechner 5 sodann in Abhängigkeit von der oberen Temperatur der Walze 3 eine Oberflächenhärte der betrachteten Walze 3.

[0060] In einem Schritt S24 ermittelt der Rechner 5 die weitere Einflussgröße Z. Beispielsweise kann der Rechner 5 entsprechend der Ausgestaltung des Schrittes S24 die weitere Einflussgröße Z

- anhand der Druckverteilung im Walzspalt ermitteln, insbesondere proportional zur Druckverteilung im Walzspalt ermitteln,

- anhand der Oberflächenhärte der betrachteten Walze 3 ermitteln, beispielsweise derart, dass die weitere Einflussgröße Z umso kleiner ist, je größer die Oberflächenhärte ist,
- anhand weiterer Prozessgrößen (insbesondere der Walzspaltschmierung) ermitteln oder
- gemäß einer kombinierten Vorgehensweise ermitteln.

[0061] Im Schritt S6 ermittelt der Rechner 5 den relativbewegungsabhängigen Verschleiß dA entsprechend der bereits erläuterten Beziehung

$$dA = c \cdot l \cdot L \cdot Z \cdot$$

[0062] Die Ermittlung der Druckverteilung im Walzspalt ist relativ rechenintensiv. Die Vorgehensweise von FIG 4 wird daher vorzugsweise gemäß FIG 5 ausgestaltet.

[0063] Gemäß FIG 5 prüft der Rechner nach dem Entgegennehmen der Prozessgrößen P in einem Schritt S31, ob die Prozessgrößen P sich geändert haben. Wenn dies der Fall ist, ermittelt der Rechner 5 im Schritt S21 die Druckverteilung im Walzspalt und speichert sie in einem Speicher 17 (siehe FIG 1) ab. Wenn die Prozessgrößen P sich nicht geändert haben, geht der Rechner 5 vom Schritt S31 zu einem Schritt S33 über, in dem der Rechner 5 die Druckverteilung im Walzspalt ohne erneute Ermittlung aus dem Speicher 17 ausliest.

[0064] Bei der erstmaligen Abarbeitung des Schrittes S31 muss gewährleistet sein, dass der Rechner zu den Schritten S21 und S32 übergeht. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass der Rechner 5 die Prozessgrößen P bei der Initialisierung, also noch bevor der erste Abschnitt 16 des Walzgutes 2 gewalzt wird, auf sinnlose Werte setzt, beispielsweise die Walzkraft FW auf den Wert 0 setzt.

[0065] Falls die Ermittlung des relativbewegungsabhängigen Verschleißanteils dA unter Verwendung der Fließspannung des Walzgutes 2 erfolgt, werden der Reibwert und/oder die Fließspannung vorzugsweise von Zeit zu Zeit aktualisiert. Falls der Reibwert und/oder die Fließspannung außerhalb des erfindungsgemäßen Ermittlungsverfahrens aktualisiert werden - beispielsweise im Rahmen eines Walzkraftmodells oder einer Stichplanberechnung -, ist es möglich, diese Werte jeweils in das erfindungsgemäße Ermittlungsverfahren zu übernehmen. Alternativ kann das Ermittlungsverfahren zur Ermittlung des Verschleißes d adaptiert werden. Die FIG 6 und 7 zeigen zwei bevorzugte Vorgehensweisen.

[0066] Gemäß FIG 6 ermittelt der Rechner 5 anhand der Prozessgrößen P, der Walzgutgrößen W1 und der Walzgerüstgrößen W2 mittels des Walzspaltmodells 11 in einem Schritt S41 die Druckverteilung im Walzspalt, eine erwartete Walzkraft FW' und eine erwartete Voreilung v'.

[0067] Die Prozessgrößen P umfassen in der Regel unter anderem die Walzkraft FW und die Voreilung v. Die Walzkraft FW wird in der Regel messtechnisch erfasst. Diese Walzkraft FW, also die tatsächliche Walzkraft, wird im Rahmen des Schrittes S41 jedoch nicht verwendet. Bei der Ausführung des Schrittes S41 wird stattdessen eine Fließkurve des Walzgutes 2 verwendet, die sowohl in die Ermittlung der Druckverteilung als auch in die Ermittlung der erwarteten Walzkraft FW' und der erwarteten Voreilung v' eingeht. Aufgrund der Abhängigkeit des relativbewegungsabhängigen Verschleißanteils dA von der Druckverteilung im Walzspalt wird daher der relativbewegungsabhängige Verschleißanteil dA in Abhängigkeit von der Fließkurve ermittelt. Die Abhängigkeit ist im vorliegenden Fall indirekter Natur. Alternativ wäre unter Umständen eine direkte Abhängigkeit möglich.

[0068] Der Rechner 5 kann daher gemäß FIG 6 in einem Schritt S42 die von ihm ermittelte erwartete Walzkraft FW' mit der tatsächlichen Walzkraft FW vergleichen. Ergeben sich (deutliche) Abweichungen, geht der Rechner 5 zu einem Schritt S43 über. Im Schritt S43 führt der Rechner 5 die Fließkurve in Abhängigkeit von der erfassten Walzkraft FW und der erwarteten Walzkraft FW' nach.

[0069] FIG 7 geht im Wesentlichen von FIG 6 aus. Es sind jedoch die Schritte S42 und S43 durch Schritte S46 und S47 ersetzt.

[0070] Bei der Ausgestaltung von FIG 7 wird vorausgesetzt, dass zusätzlich zur Walzkraft FW auch die Voreilung v als tatsächliche Messgröße zur Verfügung steht, also erfasst wird. Die Ermittlung der erwarteten Voreilung v' des Schrittes S41 hingegen erfolgt ohne Verwertung der tatsächlichen Voreilung v. Stattdessen wird die erwartete Voreilung v' unter Verwendung der Fließkurve und eines Reibwertes des Walzgutes 2 relativ zur betrachteten Walze 3 ermittelt. Die Ermittlung der erwarteten Walzkraft FW' erfolgt wie bereits beschrieben unter Verwendung auch der Fließkurve.

[0071] Der Reibwert geht - ebenso wie die Fließkurve - in die Ermittlung des relativbewegungsabhängigen Verschleißes dA ein. Insbesondere geht der Reibwert in die Ermittlung der Gleitzzone 13 ein. Im Schritt S46 werden daher - zusätzlich zur Walzkraft FW und der erwarteten Walzkraft FW' - die tatsächliche Voreilung v und die erwartete Voreilung v' miteinander verglichen. Bei deutlichen Abweichungen geht der Rechner 5 zum Schritt S47 über. Im Schritt S47 führt der Rechner 5 die Fließkurve und den Reibwert in Abhängigkeit von der Walzkraft FW, der erwarteten Walzkraft FW', der Voreilung v und der erwarteten Voreilung v' nach. Das Nachführen kann insbesondere mittels eines nicht linearen

Optimierers (in den FIG nicht dargestellt) erfolgen.

[0072] Die Vorgehensweisen der FIG 6 und 7 können miteinander kombiniert werden. Insbesondere ist es - siehe FIG 8 - möglich, dass für manche Walzgerüste 1 einer mehrgerüstigen Walzstraße sowohl die Walzkraft FW als auch die Voreilung v als gemessene Prozessgrößen P zur Verfügung stehen, während für andere Walzgerüste 1 der Walzstraße nur die Walzkraft FW, nicht aber die Voreilung v als Messgröße zur Verfügung steht. Gemäß der Darstellung von FIG 8 wird beispielsweise bei den vorderen Walzgerüsten 1 nur die jeweilige Walzkraft erfasst, während bei den hinteren Walzgerüsten 1 sowohl die jeweilige Walzkraft FW als auch - über die Drehzahlen nS, nH von Schlingenheberrollen 10 und eines Haspels 18 - die jeweilige Voreilung v erfasst werden.

[0073] Um für die Walzgerüste 1, bei denen nur die Walzkraft FW, nicht aber auch die Voreilung v erfasst wird, ein Nachführen des Reibwertes zu ermöglichen, können beispielsweise die Vorgehensweisen der FIG 6 und 7 gemäß den FIG 9 und 10 modifiziert werden. FIG 9 ist hierbei eine Modifikation von FIG 7, FIG 10 eine Modifikation von FIG 6.

[0074] Gemäß FIG 9 wird für eines der Walzgerüste 1, bei denen auch die Voreilung v als Messgröße erfasst wird, der nachgeführte Reibwert in einem Schritt S51 für andere Walzgerüste 1 zur Verfügung gestellt. Gemäß FIG 10 wird in einem Schritt S56 der zur Verfügung gestellte Reibwert von einem Walzgerüst 1, bei dem keine Voreilung erfasst wird, entgegengenommen und daraus ein eigener Reibwert ermittelt. Beispielsweise kann der Reibwert im Schritt S56 mit einem geeigneten Faktor skaliert werden.

[0075] Gemäß FIG 8 durchläuft das Walzgut 2 zuerst diejenigen Walzgerüste 1, bei denen nur die Walzkraft FW, nicht aber auch die Voreilung erfasst wird, und erst danach die Walzgerüste 1, bei denen sowohl die Walzkraft FW als auch die Voreilung v erfasst wird. Insbesondere können die vorderen Walzgerüste 1 Vorgerüste einer Vorstraße sein, die hinteren Walzgerüste 1 Fertigerüste einer Fertigstraße.

[0076] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ermöglicht die erfindungsgemäße Vorgehensweise eine gute und zuverlässige Vorhersage des relativbewegungsabhängigen Verschleißanteils dA. Weiterhin ist insbesondere in Verbindung mit der Ermittlung des thermischen Verschleißanteils dT gemäß der Lehre der europäischen Patentanmeldung 10 174 341.7 die Möglichkeit gegeben, ein einziges Verschleißmodell 12 vorzusehen, das für alle Walzgerüste 1 einer mehrgerüstigen Walzstraße verwendet wird. Das Verschleißmodell 12 kann hierbei entsprechend der Darstellung von FIG 1 das Walzspaltmodell 11 mit umfassen. Alternativ kann das Walzspaltmodell 11 außerhalb des Verschleißmodells 12 - beispielsweise innerhalb einer Stichplanberechnung - angesiedelt sein. Weiterhin ergibt sich eine verbesserte Sensitivität gegenüber Prozessänderungen, beispielsweise Variationen in der Walzspaltschmierung oder sonstigen Änderungen im Reibwert zwischen Walzgut 2 und betrachteter Walze 3. Auch kann der Einfluss der Walzspaltschmierung auf den Verschleiß d besser modelliert werden.

[0077] Die vorliegende Erfindung wird vorzugsweise beim Warmwalzen von flachem Walzgut 2 angewendet. Sie ist jedoch ebenso beim Kaltwalzen von flachem Walzgut 2 anwendbar. Auch ist sie sowohl beim Warm- als auch beim Kaltwalzen von andersartigem Walzgut 2, beispielsweise stabförmigem Walzgut 2 oder profiliertem Walzgut 2 anwendbar. Weiterhin wurde obenstehend nicht darauf eingegangen, ob der relativbewegungsabhängige Verschleißanteil dA (und ggf. auch die weiteren Verschleißanteile dT im Falle eines flachen Walzgutes 2 in Breitenrichtung mit oder ohne Ortsauflösung ermittelt werden. Selbstverständlich sind beide Vorgehensweisen möglich.

[0078] 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 Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Ermittlungsverfahren für einen Verschleiß (d) einer Walze (3) eines ersten Walzgerüsts (1) zum Walzen von Walzgut (2),

- wobei während des Walzens des Walzgutes (2) im ersten Walzgerüst (1) den Walzvorgang beschreibende Prozessgrößen (P) entgegengenommen werden,
- wobei anhand der Prozessgrößen (P) in Verbindung mit das erste Walzgerüst (1) beschreibenden Walzgerüstgrößen (W2) und das Walzgut beschreibenden Walzgutgrößen (W1) in Echtzeit der Verschleiß (d) der Walze (3) des ersten Walzgerüsts (1) ermittelt wird,
- wobei der ermittelte Verschleiß (d) für Walzgutabschnitte (16) des Walzgutes (2) jeweils einen relativbewegungsabhängigen Verschleißanteil (dA) umfasst,
- wobei anhand der Prozessgrößen (P) in Verbindung mit das erste Walzgerüst (1) beschreibenden Walzgerüstgrößen (W2) und das Walzgut beschreibenden Walzgutgrößen (W1) für die Walzgutabschnitte (16) jeweils eine Gleitzone (13) ermittelt wird, innerhalb derer das Walzgut (2) unter Relativbewegung zur Walze (3) auf der Walzenoberfläche gleitet, und
- wobei der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil (dA) unter Berücksichtigung der Länge (L)

der jeweiligen Gleitzzone (13) ermittelt wird.

2. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil (dA) gemäß der Beziehung

$$dA = c \cdot l \cdot L \cdot Z$$

ermittelt wird, wobei dA der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil, c ein von den Prozessgrößen (P) unabhängiger Anpassungsfaktor, l die Länge des jeweiligen Walzgutabschnitts (16), L die Länge der Gleitzzone (13) und Z eine von den Prozessgrößen (P) abhängige weitere Einflussgröße sind.

3. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die weitere Einflussgröße (Z) von der Druckverteilung im Walzspalt abhängt.

4. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Druckverteilung im Walzspalt beim erstmaligen Entgegennehmen der Prozessgrößen (P) anhand der Prozessgrößen (P) in Verbindung mit den Walzgerüstgrößen (W2) und den Walzgutgrößen (W1) ermittelt wird,
- **dass** die ermittelte Druckverteilung gespeichert wird,
- **dass** bei einem späteren Entgegennehmen der Prozessgrößen (P) anhand der Prozessgrößen (P) geprüft wird, ob sich die Prozessgrößen (P) geändert haben, und
- **dass** in Abhängigkeit davon, ob die Prozessgrößen (P) sich geändert haben oder nicht, die Druckverteilung im Walzspalt anhand der neuen Prozessgrößen (P) in Verbindung mit den Walzgerüstgrößen (W2) und den Walzgutgrößen (W1) neu ermittelt wird oder die gespeicherte Druckverteilung im Walzspalt verwendet wird.

5. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die weitere Einflussgröße (Z) von der Oberflächenhärte der Walze (3) abhängt.

6. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass anhand der Prozessgrößen (P) in Verbindung mit den Walzgerüstgrößen (W2) und den Walzgutgrößen (W1) in Echtzeit einer obere Temperatur ermittelt wird, auf die sich die Oberfläche der Walze (3) während des Kontakts mit dem Walzgut (2) aufheizt, und dass die Oberflächenhärte der Walze (3) in Abhängigkeit von der ermittelten oberen Temperatur ermittelt wird.

7. Ermittlungsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
dass bei der Ermittlung der Gleitzzone (13) eine Walzspaltschmierung berücksichtigt wird.

8. Ermittlungsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
dass der ermittelte Verschleiß (d) im Rahmen der Ermittlung von Stellgrößen (S) für das erste Walzgerüst (1) verwendet wird und/oder zur Ermittlung eines Walzenwechselzeitpunkts herangezogen wird.

9. Ermittlungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Prozessgrößen (P) eine beim Walzen des Walzgutes (2) auftretende Walzkraft (FW) umfassen,
- **dass** die Walzkraft (FW) erfasst wird,
- **dass** unter Verwendung einer Fließkurve des Walzgutes (2) eine erwartete Walzkraft (FW') ermittelt wird,
- **dass** der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil (dA) in direkter oder indirekter Abhängigkeit von der Fließkurve ermittelt wird und
- **dass** die Fließkurve in Abhängigkeit von der erfassten Walzkraft (FW) und der erwarteten Walzkraft (FW') nachgeführt wird.

10. Ermittlungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Prozessgrößen P eine beim Walzen des Walzgutes (2) auftretende Walzkraft (FW) und eine beim Walzen des Walzgutes (2) auftretende Voreilung (v) umfassen,
- **dass** die Walzkraft (FW) und die Voreilung (v) erfasst werden,
- **dass** unter Verwendung einer Fließkurve des Walzgutes (2) und eines Reibwerts des Walzgutes (2) relativ zur Walze (3) eine erwartete Walzkraft (FW') und eine erwartete Voreilung (v') ermittelt werden,
- **dass** der jeweilige relativbewegungsabhängige Verschleißanteil (dA) in direkter oder indirekter Abhängigkeit von der Fließkurve und dem Reibwert ermittelt wird und
- **dass** die Fließkurve und der Reibwert in Abhängigkeit von der erfassten Walzkraft (FW), der erwarteten Walzkraft (FW'), der erfassten Voreilung (v) und der erwarteten Voreilung (v') nachgeführt werden.

11. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Bezug auf eine Walze (3) eines zweiten Walzgerüsts (1) ein zu Anspruch 9 analoges Ermittlungsverfahren ausgeführt wird und dass ein im Rahmen der Ermittlung des Verschleißes (d) der Walze (3) des zweiten Walzgerüsts (1) verwendeter Reibwert des Walzgutes (2) relativ zur Walze (3) des zweiten Walzgerüsts (1) anhand des für das erste Walzgerüst (1) nachgeführten Reibwerts bestimmt wird.

12. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Walzgut (2) zuerst das zweite Walzgerüst (1) und erst danach das erste Walzgerüst (1) durchläuft.

13. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass das zweite Walzgerüst (1) ein Vorgerüst einer Vorstraße ist und das erste Walzgerüst (1) ein Fertiggerüst einer Fertigstraße ist.

14. Computerprogramm, das Maschinencode (8) umfasst, der von einem Rechner (5) unmittelbar abarbeitbar ist und dessen Abarbeitung durch den Rechner (5) bewirkt, dass der Rechner (5) ein Ermittlungsverfahren mit allen Schritten eines Ermittlungsverfahrens nach einem der obigen Ansprüche ausführt.

15. Rechner,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Rechner derart ausgebildet ist, dass er ein Ermittlungsverfahren mit allen Schritten eines Ermittlungsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 ausführt.

16. Walzwerk, das mindestens ein Walzgerüst (1) zum Walzen von Walzgut (2) umfasst,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Walzwerk mit einem Rechner (5) nach Anspruch 15 ausgestattet ist.

FIG 1

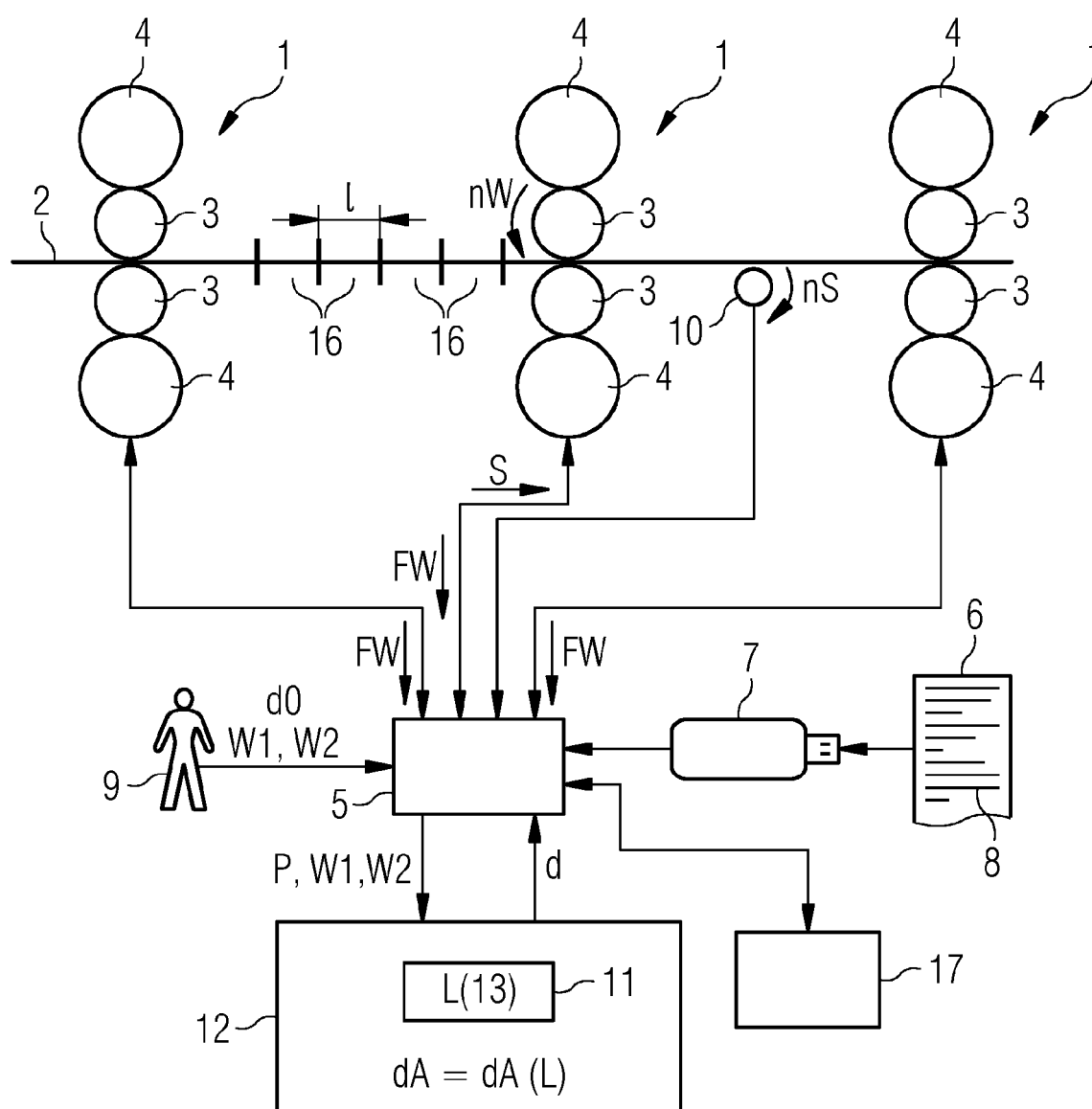


FIG 2

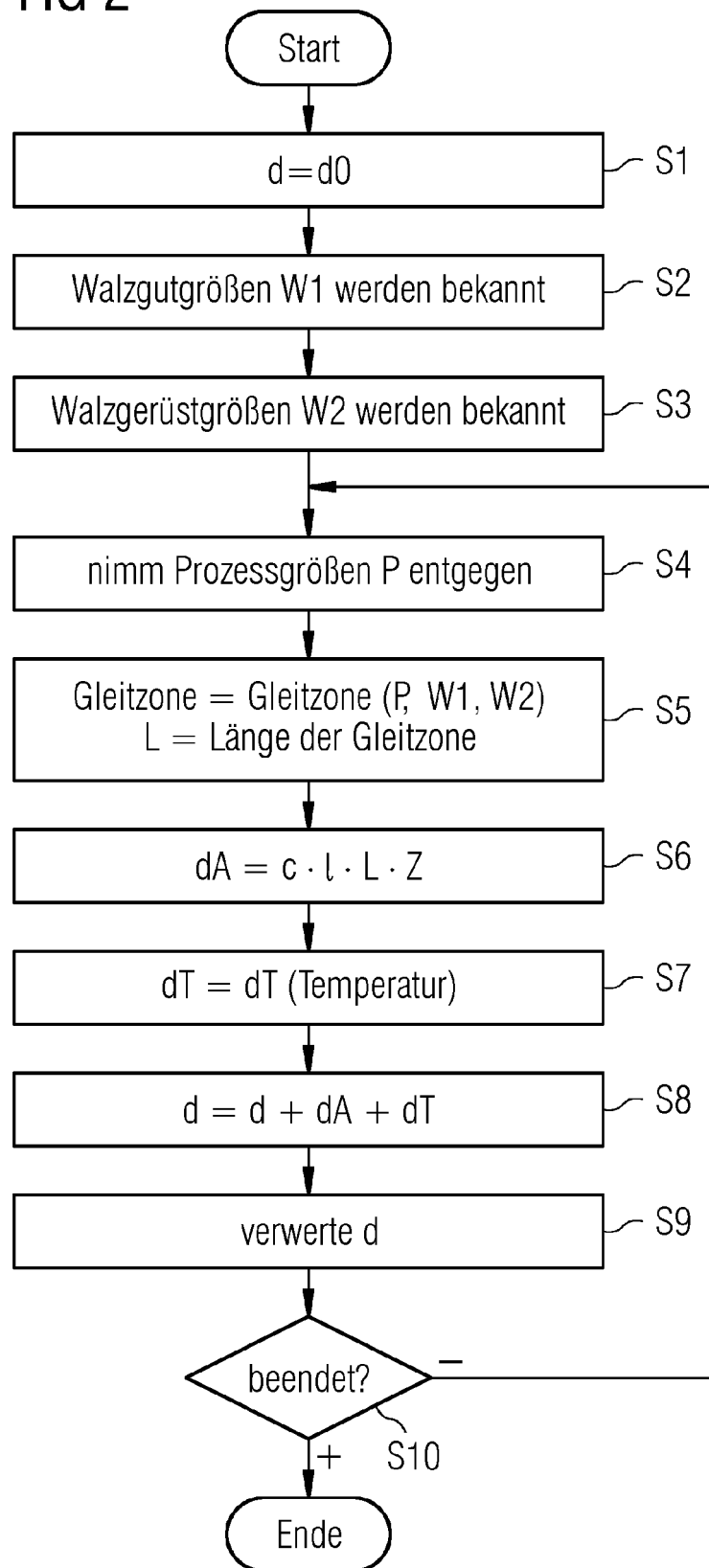


FIG 3

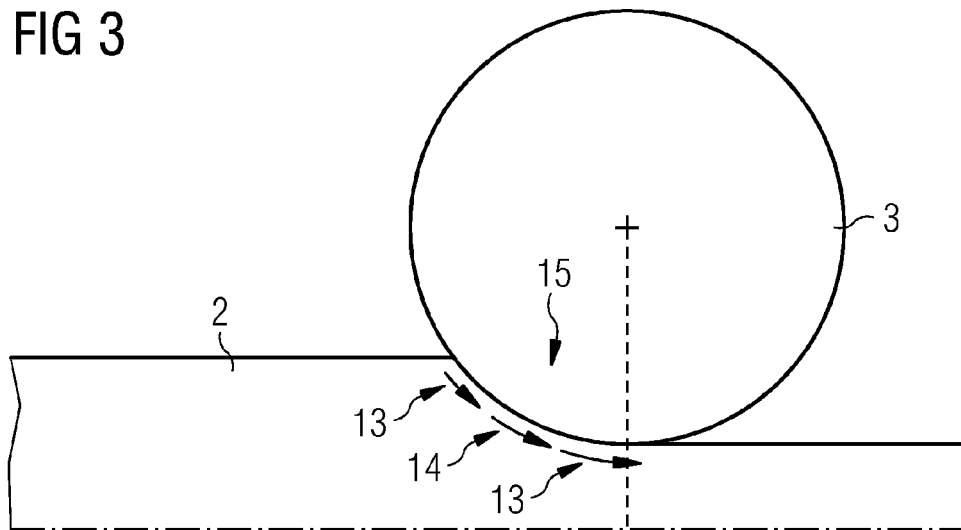


FIG 4

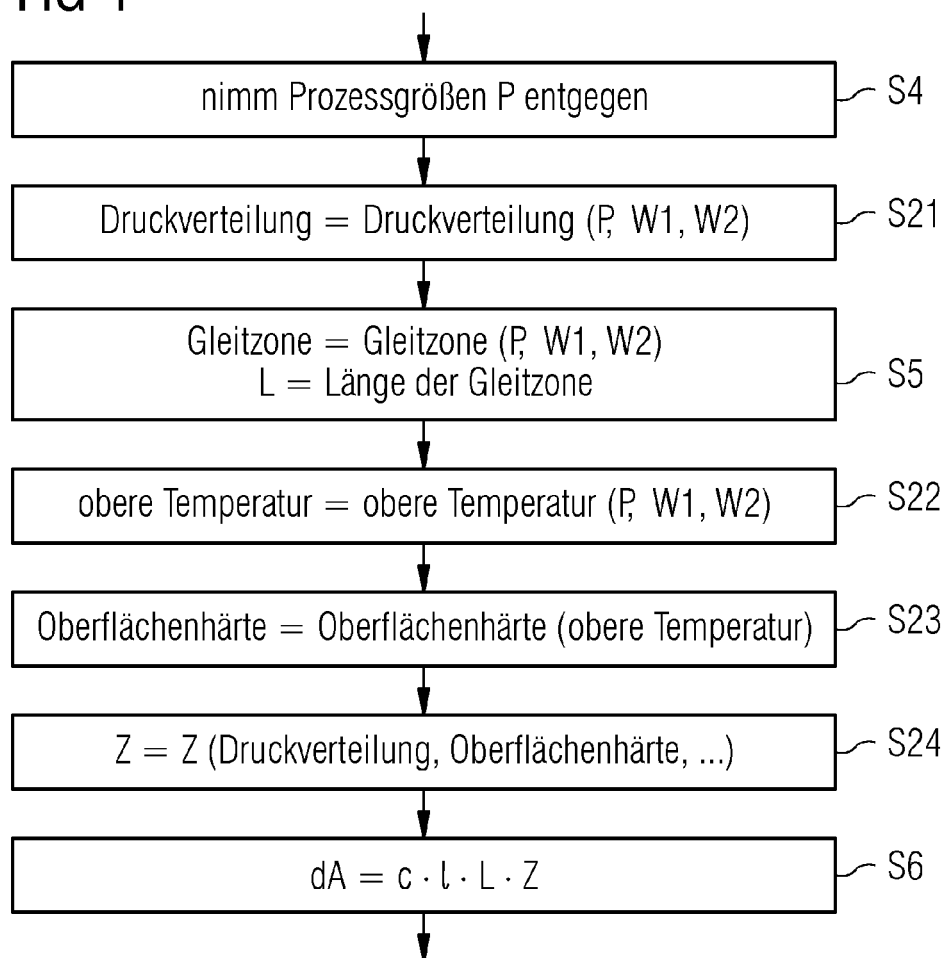


FIG 5

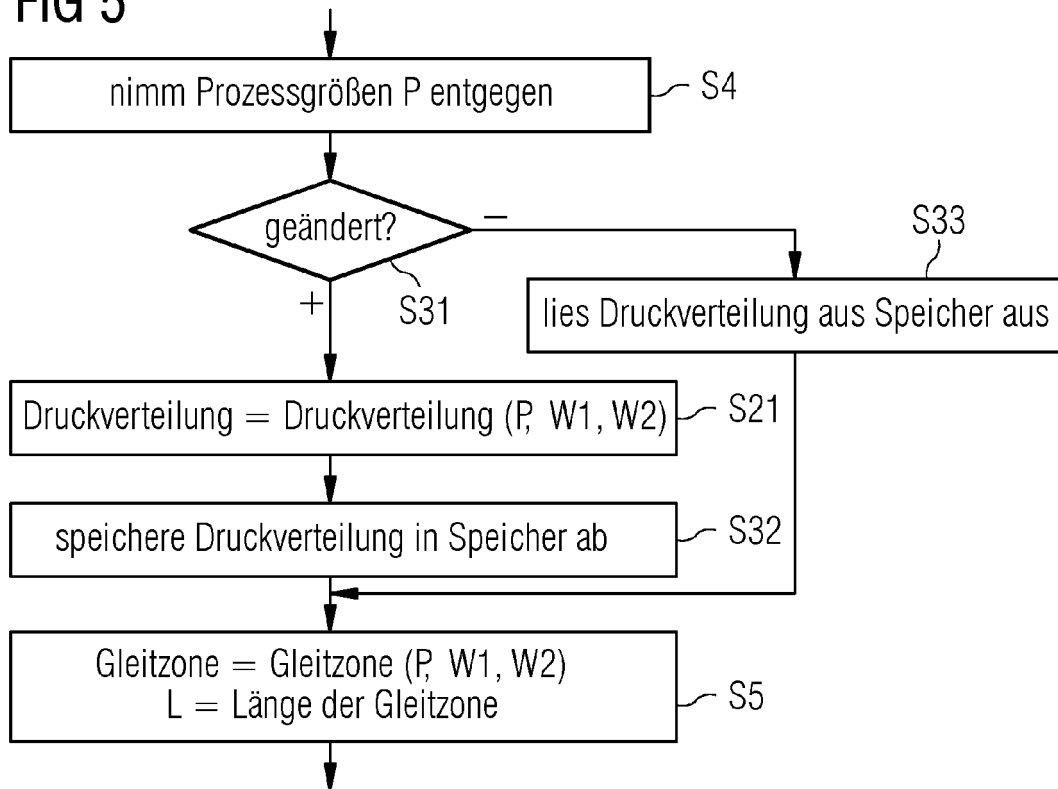


FIG 6

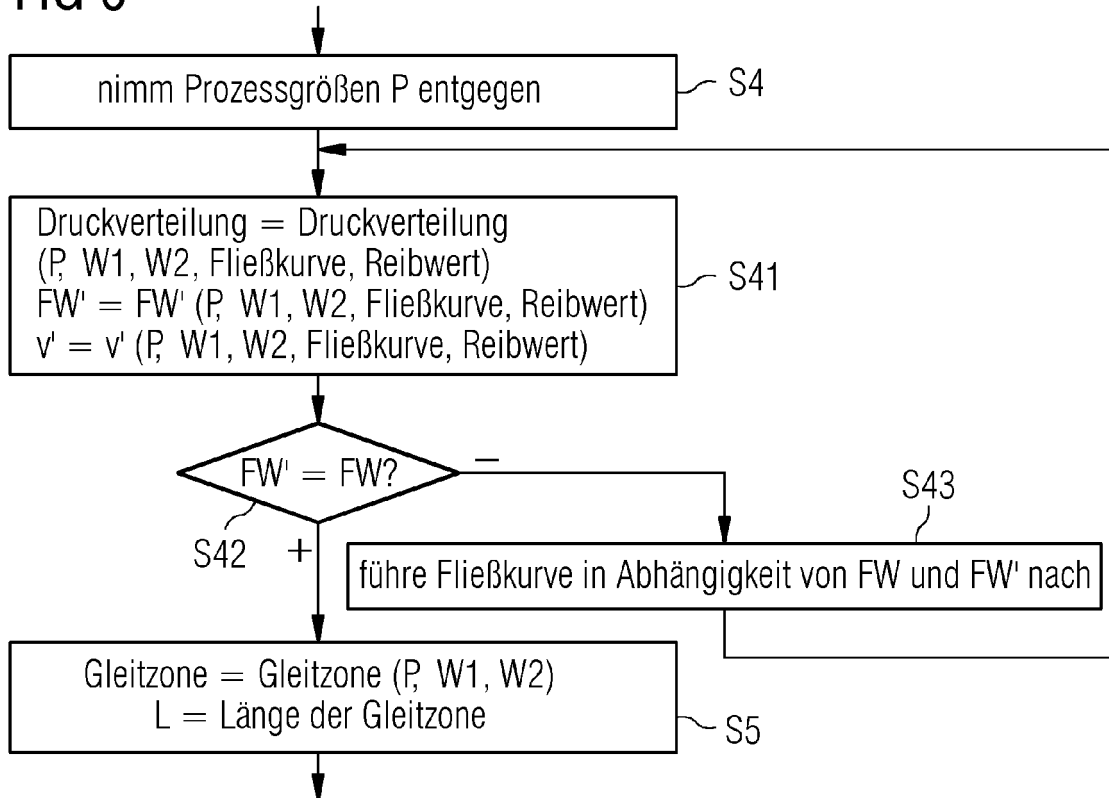


FIG 7

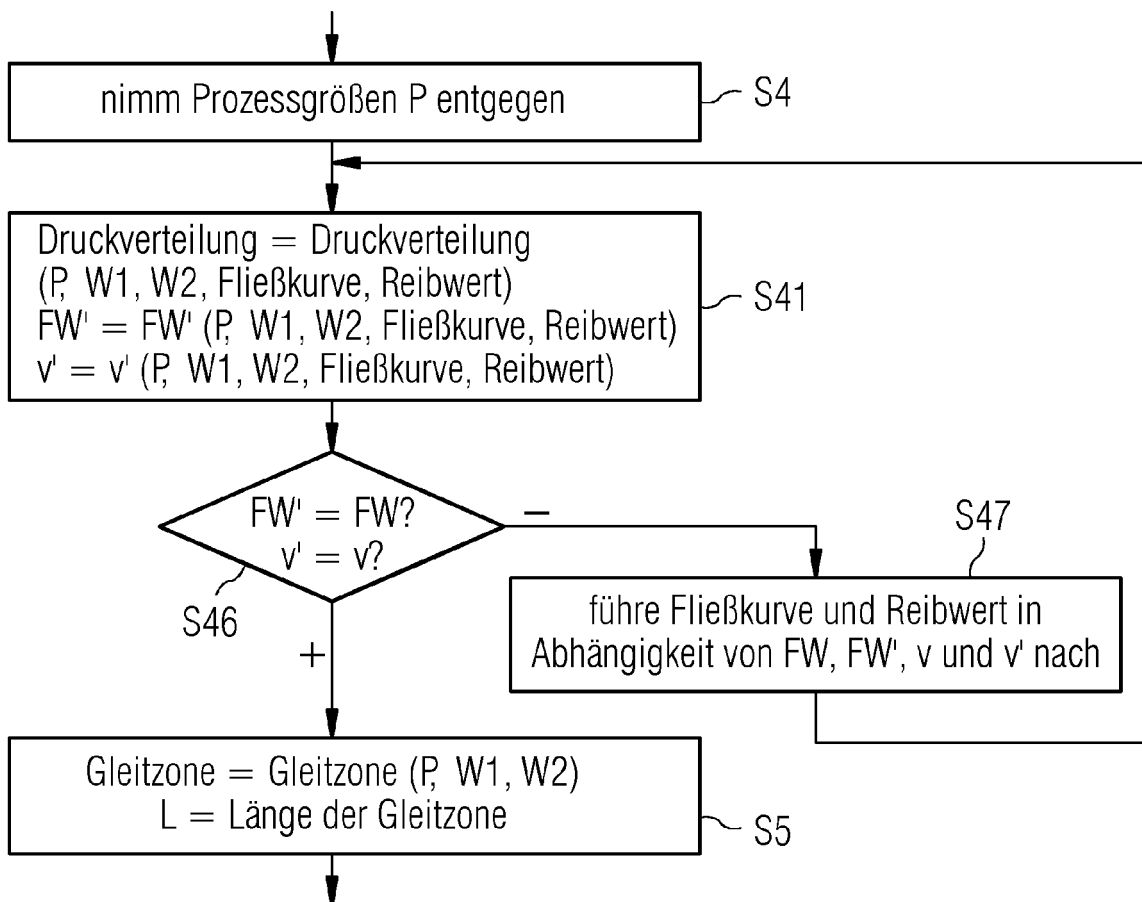


FIG 8

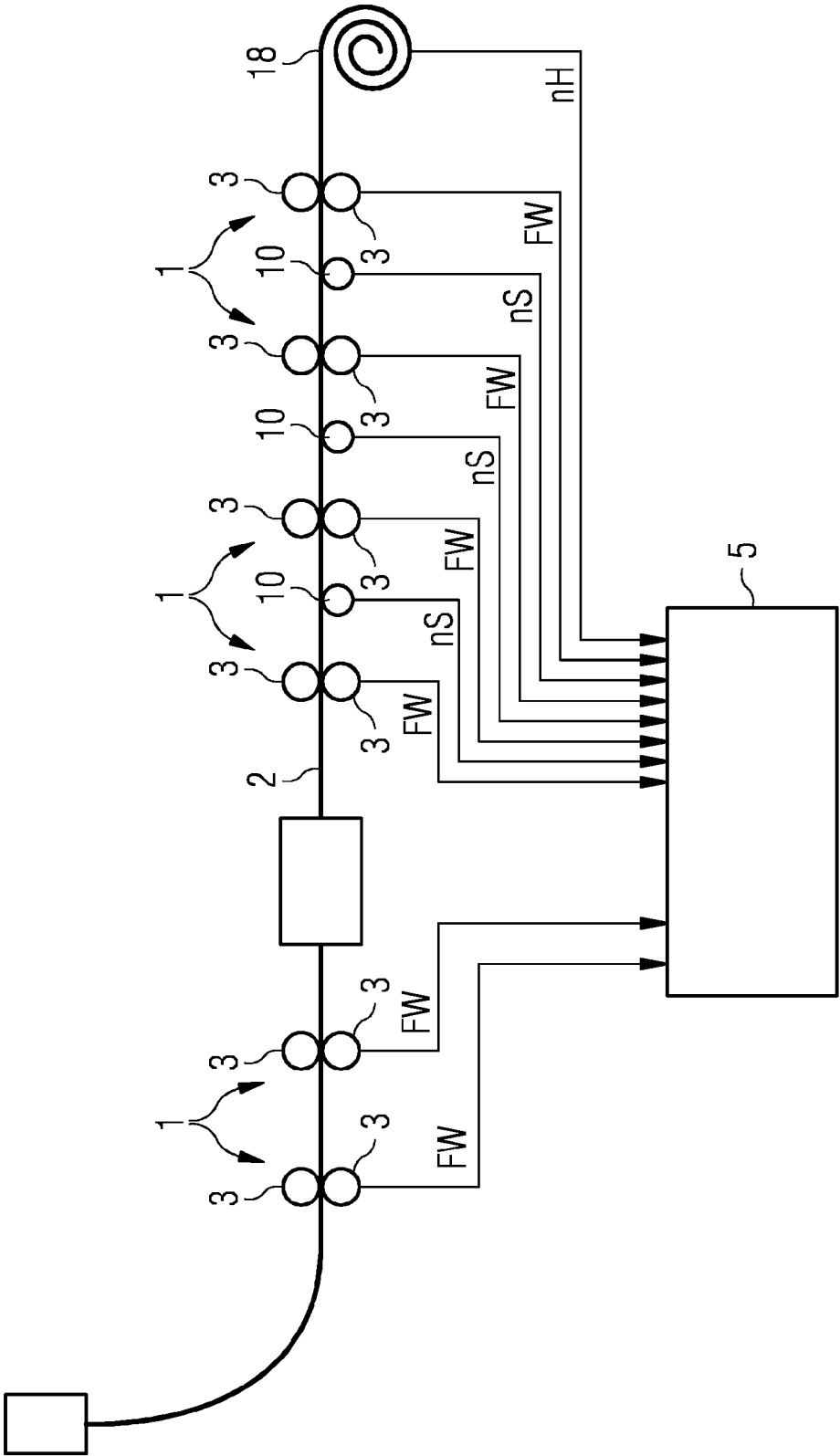


FIG 9

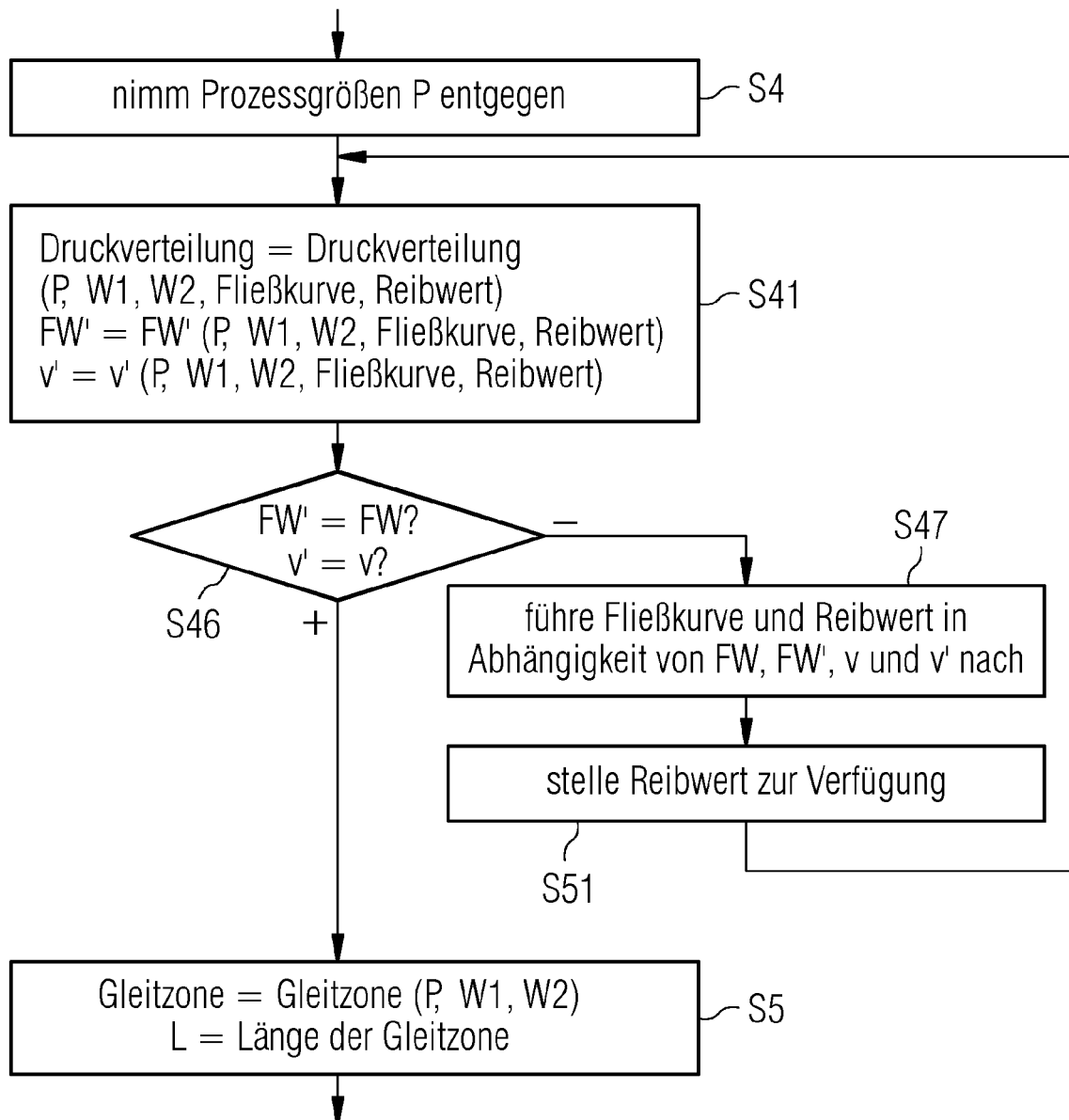
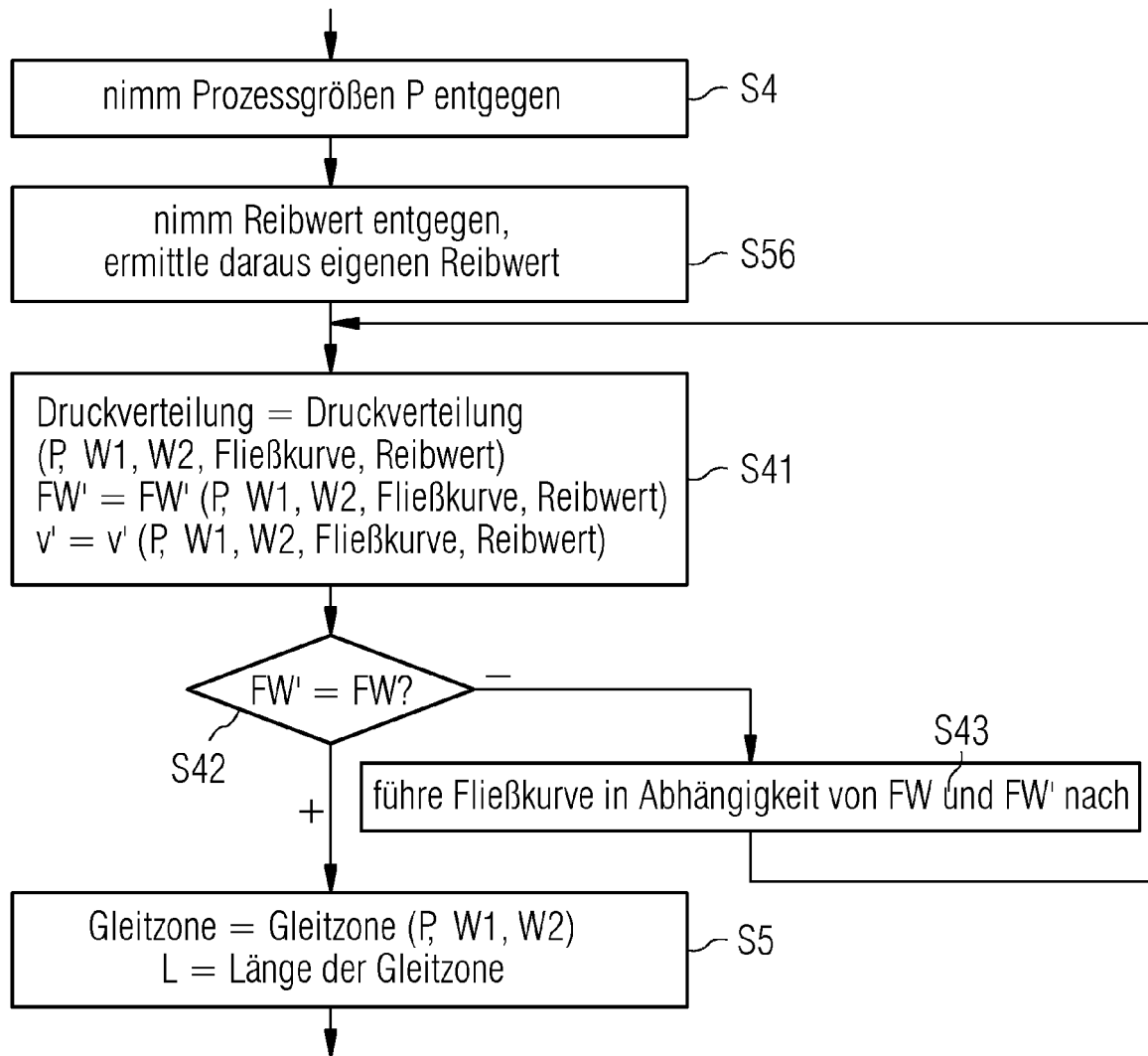


FIG 10





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 11 17 5028

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	SU 1 329 858 A1 (KRIVOROZH KI I AVTOMATIKI [SU]) 15. August 1987 (1987-08-15) * Zusammenfassung *	1-16	INV. B21B38/00 B21C51/00
A	JP 2001 353513 A (NIPPON STEEL CORP) 25. Dezember 2001 (2001-12-25) * Zusammenfassung *	1-16	
A	JP 3 138013 A (KAWASAKI STEEL CO) 12. Juni 1991 (1991-06-12) * Zusammenfassung *	1-16	
A	JP 2 255207 A (KAWASAKI STEEL CO) 16. Oktober 1990 (1990-10-16) * Zusammenfassung *	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B B21C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 2. Januar 2012	Prüfer Forciniti, Marco
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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 11 17 5028

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.

02-01-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
SU 1329858 A1	15-08-1987	KEINE	
JP 2001353513 A	25-12-2001	JP 3548514 B2 JP 2001353513 A	28-07-2004 25-12-2001
JP 3138013 A	12-06-1991	KEINE	
JP 2255207 A	16-10-1990	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 10174341 A [0009] [0025] [0052]
- EP 10174297 A [0028]
- EP 10174341 A [0076]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **VON P. G. STEVENS et al.** Increasing work-roll life by improved roll-cooling practice. *Journal of The Iron and Steel Institute*, Januar 1971, 1-11 [0009]
- **VON E. A. GARBER et al.** Effect of Sliding and Rolling Friction on the Energy-Force Parameters during Hot Rolling in Four-High Stands. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2007, vol. 6, 484-491 [0019]
- **VON MATTHIAS KURZ et al.** Adaptive Rolling Model for a Cold Strip Tandem Mill. *A/SE*, 2001 [0032]