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

(11) **EP 2 873 469 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.05.2015 Patentblatt 2015/21

(51) Int Cl.:
B21B 37/76 *(2006.01)* ***C21D 11/00*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **13193234.5**

(22) Anmeldetag: **18.11.2013**

(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

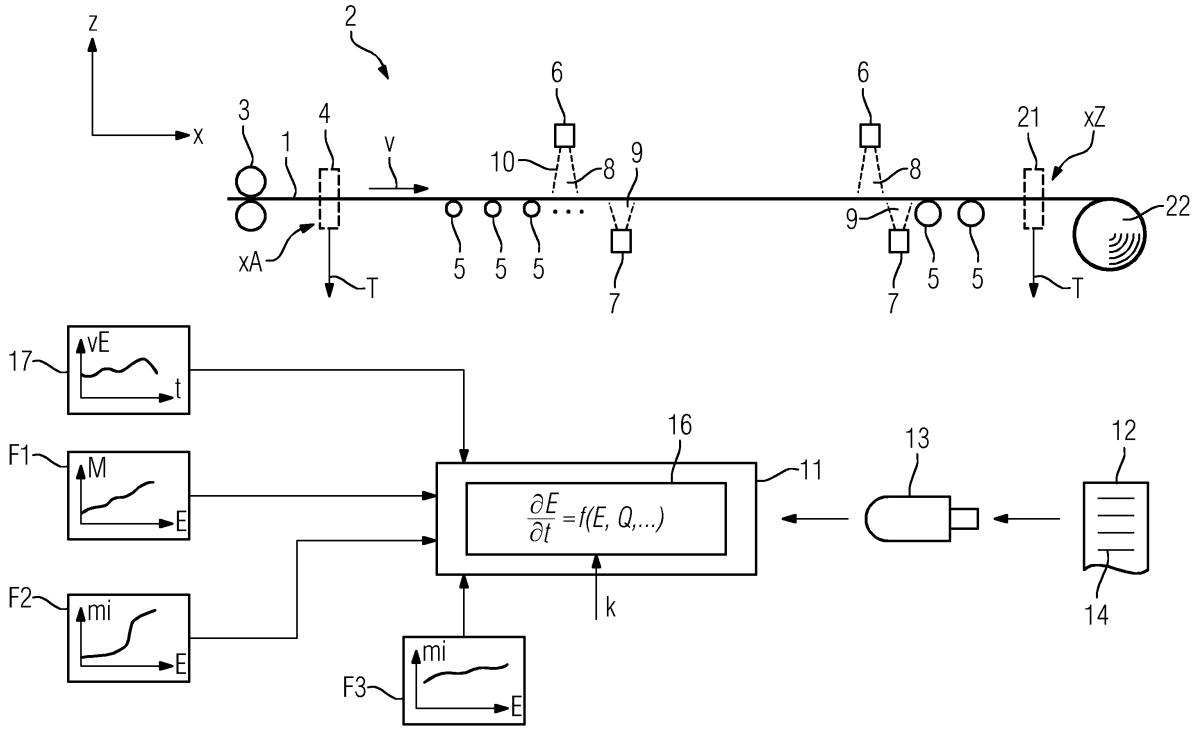
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

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

(54) Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke

(57) Ein flaches Walzgut (1) wird durch eine Kühlstrecke (2) transportiert, so dass Abschnitte (15) des Walzgutes (1) Wirkbereiche (8, 9) von Kühleinrichtungen (6, 7) nacheinander durchlaufen. Den Abschnitten (15) werden virtuelle Walzgutpunkte (P) zugeordnet. Während des Transports der Abschnitte (15) durch die Kühlstrecke (2) wird mit einem Arbeitstakt (δt') eine Wegverfolgung der Abschnitte (15) durchgeführt. Die Kühleinrichtungen (6, 7) werden entsprechend den korrespondierenden Walzgutpunkten (P) für die Kühleinrichtungen (6, 7) zugeordneten tatsächlichen Kühlleistungen (mi) gesteuert. Dadurch wird jeweils der im Wirkbereich (8, 9) der jeweiligen Kühleinrichtung (6, 7) befindliche Abschnitt (15) mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge beaufschlagt. Die Kühleinrichtungen (6, 7) werden in freigegebene und nicht freigegebene Kühleinrichtungen unterteilt. Iterativ wird jeweils ein Walzgutpunkt (P) herausgegriffen. Bevor der korrespondierende Abschnitt (15), ausgehend von einem Anfangsort (xA), den Wirkbereich (8, 9) der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) erreicht, wird ein Zustand (E) ermittelt, den der entsprechende Walzgutpunkt (P) am Anfangsort (xA) aufweist.

FIG 1



EP 2 873 469 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke zum Kühlen eines flachen Walzgutes,

- wobei die Kühlstrecke eine Vielzahl von Kühleinrichtungen aufweist,
- wobei das Walzgut durch die Kühlstrecke transportiert wird, so dass Abschnitte des Walzgutes Wirkbereiche der Kühleinrichtungen nacheinander durchlaufen,
- wobei den Abschnitten des Walzgutes jeweils ein virtueller Walzgutpunkt zugeordnet wird,
- wobei während des Transports der Abschnitte des Walzgutes durch die Kühlstrecke mit einem Arbeitstakt eine Wegverfolgung der Abschnitte des Walzgutes durchgeführt wird und die Kühleinrichtungen entsprechend den korrespondierenden Walzgutpunkten für die jeweiligen Kühleinrichtungen zugeordneten tatsächlichen Kühlleistungen gesteuert werden und dadurch jeweils der im Wirkbereich der jeweiligen Kühleinrichtung befindliche Abschnitt des Walzgutes mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge beaufschlagt wird.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Kühlstrecke gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm programmiert ist.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Kühlstrecke zum Kühlen eines flachen Walzgutes,

- wobei die Kühlstrecke eine Vielzahl von Kühleinrichtungen aufweist, mittels derer jeweils ein in einem Wirkbereich der jeweiligen Kühleinrichtung befindlicher Abschnitt des Walzgutes mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge beaufschlagt wird,
- wobei die Kühlstrecke eine Transporteinrichtung aufweist, von der das Walzgut durch die Kühlstrecke transportiert wird, so dass die Abschnitte des Walzgutes die Wirkbereiche der Kühleinrichtungen nacheinander durchlaufen,
- wobei die Kühlstrecke eine derartige Steuereinrichtung aufweist, welche die Kühlstrecke gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0005] Bei der Herstellung von flachem Walzgut aus Metall erfolgt nach dem Walzen in einer Fertigstraße meist eine Kühlung in einer Kühlstrecke. In der Kühlstrecke wird das flache Walzgut in vorbestimmter Weise gekühlt. Durch die Kühlung werden insbesondere die Materialeigenschaften des flachen Walzgutes beeinflusst. Zur Erzielung besonders günstiger Materialeigenschaften ist es in vielen Fällen nicht ausreichend, nur eine Temperatur am Ausgang der Kühlstrecke einzustellen. In vielen Fällen ist vielmehr ein exakt definierter Verlauf der Temperatur (oder der Enthalpie oder einer anderen für den Energieinhalt charakteristischen Größe) einzuhalten. Das flache Walzgut kann beispielsweise ein Metallband sein, insbesondere ein Stahlband. Alternativ kann es sich um ein Grobblech (engl.: plate) handeln.

[0006] Zum Kühlen des flachen Walzgutes weist die Kühlstrecke eine Vielzahl von einzeln steuerbaren Kühleinrichtungen auf, über welche das Walzgut mit einem Kühlmittel (in der Regel einem flüssigen Kühlmittel, meist Wasser oder Wasser mit Zusätzen) beaufschlagt wird. In manchen Fällen wird über die Kühleinrichtungen ausschließlich die Oberseite des Walzgutes mit dem Kühlmittel beaufschlagt. In anderen Fällen wird über einen ersten Teil der Kühleinrichtungen die Oberseite und über einen zweiten Teil der Kühleinrichtungen die Unterseite des Walzgutes mit dem Kühlmittel beaufschlagt. Die Kühleinrichtungen können kontinuierlich verstellbar sein oder mit Schaltventilen (auf-zu) versehen sein.

[0007] Im Stand der Technik sind verschiedene Vorgehensweisen für den Betrieb einer Kühlstrecke bekannt.

[0008] So ist beispielsweise aus der EP 0 997 203 B1 bzw. der korrespondierenden US 6 185 970 B1 bekannt, den Temperaturzustand eines Metallbandes über die Länge der Kühlstrecke kontinuierlich zu berechnen und zu beobachten, diese Temperaturkurve mit einer Referenz-Temperaturkurve zu vergleichen und die Regelabweichungen über die Kühlstreckenlänge individuell auszuregeln.

[0009] Aus der DE 199 63 186 A1 bzw. der korrespondierenden US 2003/0 089 431 A1 ist bekannt, für die Walzgutpunkte je einen eigenen zeitlichen Kühlverlauf vorzugeben, eine Wegverfolgung der Walzgutpunkte durch die Kühlstrecke vorzunehmen und die Kühleinrichtungen jeweils entsprechend dem zeitlichen Kühlverlauf desjenigen Walzgutpunktes anzusteuern, auf den die jeweilige Kühleinrichtung gerade wirkt.

[0010] Aus der EP 2 361 699 A1 bzw. der korrespondierenden US 2012/0 318 478 A1 ist ein Verfahren zur Kühlung eines Grobblechs bekannt, wobei mittels der Kühlung ein vorgegebener Zielzustand des Grobblechs am Ausgang der Kühlstrecke oder dahinter eingestellt wird. Bei diesem Verfahren wird insbesondere eine gezielte Aufteilung der aufgebrachten Kühlmittelmenge in eine von oben und in eine von unten auf das Grobblech aufgebrachte Teilmenge vorgenommen. Durch diese Maßnahme soll insbesondere einer Unplanheit des Grobblechs entgegengewirkt werden. Die Kühleinrichtungen werden individuell angesteuert.

[0011] Bestimmte Stähle haben besonders strenge Anforderungen an den zeitlichen Kühlverlauf. Sie müssen teilweise auf relativ tiefe Temperaturen gekühlt wer-

den. Bei Temperaturen unterhalb von ca. 350°C bricht jedoch der Dampffilm, der normalerweise das Kühlmittel von der Oberfläche des Walzgutes trennt, zusammen. Dadurch wird der Wärmeübergang vom Walzgut zum Kühlmittel stark nichtlinear. Der Prozess ist schwer zu modellieren, verursacht eine deutlich ungleichmäßige Kühlung insbesondere zwischen der Oberseite und der Unterseite des Walzgutes und führt teilweise sogar zu plastischen Verformungen des gekühlten Walzgutes. Dadurch wird die Qualität des Walzgutes negativ beeinflusst.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer ein verbesserter Betrieb der Kühlstrecke möglich ist.

[0013] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 16.

[0014] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass die Kühleinrichtungen in freigegebene Kühleinrichtungen und nicht freigegebene Kühleinrichtungen unterteilt werden,
- dass iterativ jeweils ein virtueller Walzgutpunkt herausgegriffen wird und, bezogen auf den jeweiligen virtuellen Walzgutpunkt, folgende Schritte durchgeführt werden, bevor der korrespondierende Abschnitt des realen Walzgutes, ausgehend von einem vorbestimmten Anfangsort, den Wirkbereich der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung erreicht:
  - - es wird ein Zustand ermittelt, den der korrespondierende Abschnitt des Walzgutes am Anfangsort der Kühlstrecke aufweist,
  - - anhand einer gegebenen Gesamtkühlfunktion wird für den Walzgutpunkt eine Gesamtkühlmittelmenge ermittelt und dem Walzgutpunkt als Restkühlmittelmenge zugeordnet,
  - - der Transport des Walzgutpunktes durch die Kühlstrecke wird unter Verwendung eines Fahrdiagrammms bis zu einem vorbestimmten Zielort rechnerisch simuliert,
  - - während der Simulation wird mittels eines Modells die zeitliche Entwicklung des Zustands des Walzgutpunktes mitgerechnet,
  - - jedes Mal, wenn der Walzgutpunkt den Wirkbereich einer der freigegebenen Kühleinrichtungen erreicht, wird anhand des dann aktuellen Zustands des Walzgutpunktes unter Verwendung einer der jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung zugeordneten Kühlkurve eine jeweilige vorläufige Kühlleistung ermittelt, dem Walzgutpunkt für die jeweilige freigegebene Kühleinrichtung der kleinere der beiden Werte vorläufige Kühlleistung und Restkühlmittelmenge als endgültige Kühlleistung zugeordnet und die Restkühlmittelmenge um die endgültige Kühlleistung reduziert,
  - - anhand des Zustandes des Walzgutpunktes am Zielort wird eine Istgröße des Walzgutpunktes am Zielort ermittelt und mit einer vorgegebenen Zielgröße verglichen und anhand des Vergleichs die Gesamtkühlfunktion angepasst, und
- dass unter Verwendung der für den herausgegriffenen Walzgutpunkt ermittelten endgültigen Kühlleistungen die tatsächlichen Kühlleistungen für eine Anzahl an Walzgutpunkten ermittelt werden und den entsprechenden Walzgutpunkten unter Zuordnung zur jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung zugeordnet werden.

[0015] Die Aufteilung der Kühleinrichtungen in freigegebene und nicht freigegebene Kühleinrichtungen kann nach Bedarf erfolgen. Beispielsweise können Kühleinrichtungen nicht freigegeben werden, weil sie defekt sind und/oder weil sie zu nahe am Anfangsort liegen. Prinzipiell ist aber auch eine willkürliche Sperrung (d.h. Nicht-Freigabe) von Kühleinrichtungen möglich und denkbar. Der Anteil an freigegebenen Kühleinrichtungen kann im Extremfall bis zu 100% der Kühleinrichtungen betragen, so dass also alle Kühleinrichtungen freigegeben sind.

[0016] Soweit von dem Walzgutpunkt nicht freigegebene Kühleinrichtungen passiert werden, werden von diesen Kühleinrichtungen aufgebrachte Kühlleistungen zwar im Rahmen der Entwicklung des Zustands des Walzgutpunktes berücksichtigt. Die Kühlleistungen dieser Kühleinrichtungen werden jedoch nicht im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgehensweise, sondern anderweitig ermittelt. Soweit es die erfindungsgemäße Vorgehensweise betrifft, werden die Kühlleistungen dieser Kühleinrichtungen als gegeben hingenommen.

[0017] Die Istgröße und die Zielgröße können insbesondere Temperaturen sein.

[0018] Der Zustand des Walzgutpunktes umfasst zumindest eine Energiegröße. Die Energiegröße kann beispielsweise die Enthalpie oder die Temperatur sein. Im einfachsten Fall kann die Energiegröße ein Skalar sein. In der Regel wird es sich jedoch um eine Verteilung zumindest in Dickenrichtung des Walzgutes handeln. Weiterhin können dem herausgegriffenen Walzgutpunkt zusätzlich zur Energiegröße weitere, den Zustand des betreffenden Abschnittes des Walzgutes beschreibende Größen zugeordnet werden. In diesem Fall werden die weiteren Größen bei der Durchführung der auf das Herausgreifen des Walzgutpunktes folgenden Schritte berücksichtigt. Beispiele derartiger Größen können insbesondere die Phasenanteile des jeweiligen Abschnittes des Walzgutes sein.

[0019] Die Kühlleistungen können beispielsweise für eine absolute oder relative Kühlmittelmenge oder für eine relative Ventilöffnungsstellung der jeweiligen Kühleinrichtung charakteristisch sein. Das Modell kann insbe-

sondere eine Wärmeleitungsgleichung mit oder ohne gekoppelte Phasenumwandlungsgleichung umfassen. Der Arbeitstakt der Wegverfolgung beträgt üblicherweise 100 ms bis 500 ms. Insbesondere kann er bei ca. 250 ms bis 300 ms liegen.

[0020] Es ist möglich, dass das Herausgreifen (einschließlich der auf das Herausgreifen folgenden Schritte) für jeden Walzgutpunkt vorgenommen wird. In diesem Fall ist die Anzahl an Walzgutpunkten, für welche dann die tatsächlichen Kühlleistungen ermittelt werden, gleich 1, nämlich der entsprechende Walzgutpunkt selbst. Die Ermittlung der tatsächlichen Kühlleistungen reduziert sich in diesem Fall weiterhin auf die direkte Übernahme der endgültigen Kühlleistungen als tatsächliche Kühlleistungen.

[0021] Alternativ ist es möglich, dass zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden herausgegriffenen virtuellen Walzgutpunkten mindestens ein weiterer virtueller, nicht herausgegriffener Walzgutpunkt liegt. In diesem Fall ist die Anzahl an Walzgutpunkten, für welche dann die tatsächlichen Kühlleistungen ermittelt werden, größer als 1, nämlich der entsprechende Walzgutpunkt selbst und mindestens ein weiterer Walzgutpunkt.

[0022] Für den entsprechenden Walzgutpunkt selbst, für den die endgültigen Kühlleistungen ermittelt wurden, reduziert sich auch in diesem Fall die Ermittlung der tatsächlichen Kühlleistungen auf die direkte Übernahme der endgültigen Kühlleistungen als tatsächliche Kühlleistungen. Für die anderen Walzgutpunkte, also für diejenigen Walzgutpunkte, die zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden herausgegriffenen virtuellen Walzgutpunkten liegen, sind verschiedene Vorgehensweisen möglich. So ist es beispielsweise möglich, für diese Walzgutpunkte diejenigen endgültigen Kühlleistungen als tatsächliche Kühlleistungen zu übernehmen, die für den zuerst herausgegriffenen virtuellen Walzgutpunkt ermittelt wurden. Vorzugsweise jedoch werden das Herausgreifen des später herausgegriffenen virtuellen Walzgutpunktes und die Durchführung der auf diesen virtuellen Walzgutpunkt bezogenen Berechnungen abgeschlossen, bevor die mit den nicht herausgegriffenen Walzgutpunkten korrespondierenden Abschnitte des Walzgutes ausgehend vom Anfangsort den Wirkbereich der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung erreichen. In diesem Fall ist es möglich, die tatsächlichen Kühlleistungen für die nicht herausgegriffenen Walzgutpunkte durch Interpolation der für die beiden angrenzenden herausgegriffenen Walzgutpunkte ermittelten endgültigen Kühlleistungen zu ermitteln.

[0023] Ebenso wie im Stand der Technik wirkt üblicherweise zumindest ein Teil der Kühleinrichtungen auf die Oberseite des Walzgutes. In diesem Fall stimmen vorzugsweise die Kühlkurven für die auf die Oberseite des Walzgutes wirkenden Kühleinrichtungen miteinander überein. Ergänzend ist es möglich, dass ein weiterer Teil der Kühleinrichtungen auf die Unterseite des Walzgutes wirkt. In diesem Fall stimmen vorzugsweise die Kühlkurven für die auf die Unterseite des Walzgutes wirkenden Kühleinrichtungen miteinander überein.

[0024] In diesem letztgenannten Fall, nämlich dass je ein Teil der Kühleinrichtungen auf die Oberseite und die Unterseite des Walzgutes wirkt und die jeweiligen Kühlkurven für die Oberseite untereinander übereinstimmen und die jeweiligen Kühlkurven für die Unterseite untereinander übereinstimmen, ist es möglich, dass die Kühlkurven für die auf die Oberseite des Walzgutes wirkenden Kühleinrichtungen einerseits und die Kühlkurven für die auf die Unterseite des Walzgutes wirkenden Kühleinrichtungen andererseits miteinander übereinstimmen, dass also insgesamt nur eine einzige, für alle Kühleinrichtungen einheitliche Kühlkurve verwendet wird. Alternativ ist es möglich, dass für die auf die Oberseite des Walzgutes wirkenden Kühleinrichtungen einerseits und für die auf die Unterseite des Walzgutes wirkenden Kühleinrichtungen andererseits je eine eigene Kühlkurve vorgegeben ist, die jedoch verschieden voneinander sind.

[0025] Die Art und Weise, auf welche die Gesamtkühlfunktion anhand des Vergleichs der anhand des am Zielort ermittelten Zustands ermittelten Istgröße und der Zielgröße angepasst wird, kann auf verschiedene Art ausgestaltet sein. Beispielsweise kann die Gesamtkühlfunktion mit einem Faktor skaliert und/oder mit einem Offset verschoben werden. Der Offset kann unter Umständen vektoriell sein, d.h. eine Verschiebung in der Abszisse und/oder eine Verschiebung in der Ordinate aufweisen.

[0026] Der Anfangsort kann nach Bedarf bestimmt sein. Er kann insbesondere vor der Kühlstrecke oder in der Kühlstrecke liegen. Es ist weiterhin möglich, dass am Anfangsort ein Temperaturmessplatz angeordnet ist, mittels dessen eine Temperatur des entsprechenden Abschnittes des Walzgutes erfasst wird. In diesem Fall wird vorzugsweise der Zustand des Walzgutpunktes am Anfangsort anhand der erfassten Temperatur ermittelt. Eine Anordnung eines Temperaturmessplatzes am Anfangsort ist insbesondere dann möglich, wenn der Anfangsort vor der Kühlstrecke liegt. Der Temperaturmessplatz kann in diesem Fall beispielsweise der üblicherweise sogenannte Fertigstraßenmessplatz sein, an dem die Endwalztemperatur des Walzgutes erfasst wird. Alternativ ist es möglich, dass am Anfangsort kein Temperaturmessplatz angeordnet ist. In diesem Fall wird der Zustand des Walzgutpunktes am Anfangsort anderweitig ermittelt.

[0027] In analoger Weise kann auch der Zielort nach Bedarf bestimmt sein. Er kann insbesondere in der Kühlstrecke oder hinter der Kühlstrecke liegen. Es muss jedoch in Transportrichtung des Walzgutes gesehen - selbstverständlich - hinter dem Anfangsort liegen.

[0028] Es ist möglich, dass nach dem Anpassen der Gesamtkühlfunktion die angepasste Gesamtkühlfunktion erst für den nächsten herausgegriffenen Walzgutpunkt verwertet wird. Alternativ ist es möglich, dass nach dem Anpassen der Gesamtkühlfunktion für denselben Walzgutpunkt nochmals die auf das Herausgreifen des Walzgutpunktes folgenden Schritte ausgeführt werden. Es wird also in diesem Fall für diesen Walzgutpunkt eine

erneute, verbesserte Prognose erstellt. Diese Vorgehensweise ist insbesondere möglich, wenn eine hinreichend hohe Rechenleistung zur Verfügung steht.

[0029] Die Kühleinrichtungen weisen oftmals erhebliche Verzögerungszeiten auf. Die Verzögerungszeiten können im Bereich mehrerer Sekunden liegen. Vorzugsweise werden bei der Ansteuerung der Kühleinrichtungen die Verzögerungszeiten der Kühleinrichtungen berücksichtigt. Dies führt in vorteilhafter Weise zu dem Ergebnis, dass während des Transports der Abschnitte des Walzgutes durch die Kühlstrecke die Kühleinrichtungen zeitrichtig entsprechend den korrespondierenden Walzgutpunkten für die jeweiligen Kühleinrichtungen zugeordneten tatsächlichen Kühlleistungen gesteuert werden.

[0030] Aufgrund des Umstands, dass die Kühleinrichtungen Verzögerungszeiten aufweisen, sollten die Kühleinrichtungen vorzugsweise rechtzeitig vorher angesteuert werden. Die Ansteuerung kann jedoch erst dann erfolgen, wenn die entsprechende Kühlleistung für die jeweilige Kühleinrichtung ermittelt ist. Die auf das Herausgreifen des jeweiligen Walzgutpunktes folgenden Schritte werden zu einem Abschlusszeitpunkt abgeschlossen. Der korrespondierende Abschnitt des realen Walzgutes erreicht, ausgehend vom Anfangsort, den Wirkbereich der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung zu einem Kühlbeginnzeitpunkt. Um die nächste freigegebene Kühleinrichtung rechtzeitig ansteuern zu können, ist vorzugsweise eine zeitliche Differenz zwischen dem Abschlusszeitpunkt und dem Kühlbeginnzeitpunkt mindestens so groß wie die Verzögerungszeit der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung. Um diesen Sachverhalt zu gewährleisten, können beispielsweise alle Kühleinrichtungen gesperrt (= nicht freigegeben) werden, für welche dieses Kriterium nicht erfüllt ist.

[0031] Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung besteht darin,

- dass während des Transports der Abschnitte des Walzgutes durch die Kühlstrecke mit dem Arbeitstakt unter Berücksichtigung der Ansteuerung der Kühleinrichtungen in Echtzeit die Zustände der durch die Kühlstrecke transportierten Abschnitte des Walzgutes mitgerechnet werden,
- dass an einem Temperaturmessplatz eine tatsächliche Temperatur des den Temperaturmessplatz jeweils passierenden Abschnittes des Walzgutes erfasst wird und
- dass die jeweils erfasste Temperatur mit einer anhand des mitgerechneten Zustands ermittelten erwarteten Temperatur für diesen Abschnitt verglichen wird und anhand des Vergleichs mindestens ein Parameter des Modells nachgeführt wird.

[0032] Dadurch kann insbesondere das Modell nach und nach immer besser an das reale Verhalten der Kühlung angenähert werden.

[0033] Im einfachsten Fall wird das erfindungsgemäße Betriebsverfahren, bezogen auf die Erstreckung der Kühlstrecke, innerhalb der Kühlstrecke ein einziges Mal angewendet. Alternativ ist es jedoch ebenso möglich, dass das Betriebsverfahren, bezogen auf die Erstreckung der Kühlstrecke, mehrmals in jeweiligen Bereichen der Kühlstrecke angewendet wird. Eine derartige Vorgehensweise kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn ein sogenannter Dualphasenstahl gekühlt werden soll. Der Anfangsort des örtlich hinteren Bereichs liegt in diesem Fall in Transportrichtung des Walzgutes gesehen hinter dem Zielort des örtlich vorderen Bereichs.

[0034] In dem Fall, dass ein Dualphasenstahl gekühlt werden soll, liegt zwischen den Bereichen der Kühlstrecke, in denen das Betriebsverfahren jeweils angewendet wird, ein Zwischenabschnitt, in dem das Walzgut nicht aktiv gekühlt wird. Im Zwischenabschnitt erfolgt also eine reine Luftkühlung durch Konvektion und Abstrahlung sowie eine Kontaktkühlung durch den Kontakt zu Transportrollen, jedoch keine Kühlung mittels eines flüssigen Kühlmittels. Alternativ ist es möglich, dass die Bereiche der Kühlstrecke, in denen das Betriebsverfahren jeweils angewendet wird, einander überlappen. Beispielsweise können die Zielorte der beiden Bereiche miteinander übereinstimmen, während die Anfangsorte auseinanderfallen. In diesem Fall kann durch die zweite Anwendung des Betriebsverfahrens für den verbleibenden Teil der Kühlstrecke eine gegenüber der ersten Anwendung des Betriebsverfahrens verbesserte Ermittlung der tatsächlichen Kühlleistungen erfolgen.

[0035] Es ist möglich, dass die Gesamtkühlfunktion abhängig oder unabhängig vom Zustand des herausgegriffenen Walzgutpunktes am Anfangsort ist. Welche dieser beiden Vorgehensweisen vorteilhafter ist, hängt von den Umständen des Einzelfalls ab.

[0036] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 18 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung ein erfindungsgemäßes Betriebsverfahren - so wie obenstehend erläutert - ausführt.

[0037] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke mit den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert.

[0038] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Kühlstrecke zum Kühlen eines flachen Walzgutes mit den Merkmalen des Anspruchs 20 gelöst. Erfindungsgemäß weist die Kühlstrecke eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung auf, welche die Kühlstrecke gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0039] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

FIG 1	eine Kühlstrecke,
FIG 2	einen Ausschnitt eines flachen Walzgutes,
FIG 3	ein Ablaufdiagramm,
FIG 4	ein weiteres Ablaufdiagramm,
FIG 5	eine Gesamtkühlfunktion,
FIG 6 bis 9	Ablaufdiagramme,
FIG 10 und 12	je einen Ausschnitt einer Kühlstrecke,
FIG 13 und 14	Ablaufdiagramme und
FIG 15	ein Zeitdiagramm.

[0040] Gemäß FIG 1 soll ein flaches Walzgut 1 in einer Kühlstrecke 2 gekühlt werden. Das flache Walzgut 1 besteht aus Metall. Es kann entsprechend der Darstellung in FIG 1 beispielsweise ein Metallband sein, insbesondere ein Stahlband. Alternativ kann es sich bei dem flachen Walzgut 1 um ein Grobblech (in der Regel aus Stahl) handeln.

[0041] Die Kühlstrecke 2 ist in der Regel einer Fertigstraße nachgeordnet, in welcher das Walzgut 1 warmgewalzt wurde. Üblicherweise weist die Fertigstraße mehrere Walzgerüste auf. In FIG 1 ist der Übersichtlichkeit halber nur das letzte Walzgerüst 3 der Fertigstraße dargestellt. Gleichermaßen ist es möglich, dass die Fertigstraße nur ein einziges Walzgerüst aufweist, beispielsweise als Steckelwalzwerk oder als Reversierwalzwerk ausgebildet ist.

[0042] Zwischen der Fertigstraße und der Kühlstrecke 2 (bzw. hiermit korrespondierend vor der Kühlstrecke 2) ist oftmals ein Temperaturmessplatz 4 angeordnet, an dem eine Temperatur T des Walzgutes 1 erfasst wird. Der Temperaturmessplatz 4 wird nachfolgend zur Unterscheidung eines weiteren, später eingeführten Temperaturmessplatzes als eingangsseitiger Temperaturmessplatz 4 bezeichnet.

[0043] Die Kühlstrecke 2 weist eine Vielzahl von Transportrollen 5 auf. Mittels der Transportrollen 5 wird das Walzgut 1 durch die Kühlstrecke 2 transportiert. Zumindest einige der Transportrollen 5 sind angetrieben. Die Transportrollen 5 bilden in ihrer Gesamtheit eine Transporteinrichtung, von der das Walzgut 1 in einer Transportrichtung mit einer Transportgeschwindigkeit v durch die Kühlstrecke 2 transportiert wird.

[0044] Die Kühlstrecke 2 weist weiterhin eine Vielzahl von Kühleinrichtungen 6, 7 auf. Die Kühleinrichtungen 6, 7 wirken in einem jeweiligen Wirkbereich 8, 9 auf das Walzgut 1. Mittels der Kühleinrichtungen 6, 7 wird das Walzgut 1 (genauer: der sich zu diesem Zeitpunkt im Wirkbereich 8, 9 der jeweiligen Kühleinrichtung 6, 7 befindende Abschnitt des Walzgutes 1) mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge eines flüssigen, meist auf Wasser basierenden Kühlmittels 10 beaufschlagt.

[0045] Es ist möglich, dass ausschließlich obere Kühleinrichtungen 6 vorhanden sind, also Kühleinrichtungen, die auf eine Oberseite des Walzgutes 1 wirken. Alternativ ist es entsprechend der Darstellung in FIG 1 möglich, dass zusätzlich zu den oberen Kühleinrichtungen 6 untere Kühleinrichtungen 7 vorhanden sind, also Kühleinrichtungen, die auf eine Unterseite des Walzgutes 1 wirken.

[0046] Die Kühlstrecke 2 weist weiterhin eine Steuereinrichtung 11 auf. Unter Steuerung und Kontrolle durch die Steuereinrichtung 11 wird die Kühlstrecke 2 betrieben.

[0047] Die Steuereinrichtung 11 ist in der Regel mit einem Computerprogramm 12 programmiert. Das Computerprogramm 12 kann der Steuereinrichtung 11 beispielsweise über einen Datenträger 13 zugeführt werden, auf dem das Computerprogramm 12 in maschinenlesbarer Form (vorzugsweise in ausschließlich maschinenlesbarer Form, insbesondere in elektronischer Form) gespeichert ist. Der Datenträger 13 kann beliebig ausgestaltet sein. Die Darstellung in FIG 1, in welcher der Datenträger 13 als USB-Memorystick dargestellt ist, ist nur rein beispielhaft.

[0048] Das Computerprogramm 12 umfasst Maschinencode 14, der von der Steuereinrichtung 11 abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 14 durch die Steuereinrichtung 11 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 11 die Kühlstrecke 2 gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird.

[0049] Gemäß FIG 2 wird das (reale) Walzgut 1 innerhalb der Steuereinrichtung 11 datentechnisch in eine Vielzahl von Abschnitten 15 unterteilt. Den Abschnitten 15 des Walzgutes 1 wird jeweils ein Walzgutpunkt P zugeordnet. Die Walzgutpunkte P sind - im Gegensatz zu den Abschnitten 15 des realen Walzgutes 1 - nur virtuell in der Steuereinrichtung 11 vorhanden. Sie stellen in ihrer Gesamtheit ein datentechnisches Abbild des realen Walzgutes 1 dar. Die Walzgutpunkte P sind in FIG 2 durch eine Ziffer ergänzt. Diese Indizierung dient dazu, die Walzgutpunkte P im Rahmen der Erläuterung der Erfindung bei Bedarf voneinander unterscheiden zu können. Soweit es nachstehend nicht darauf ankommt, welcher Walzgutpunkt P gemeint ist, wird das Bezugszeichen P ohne Ergänzung durch eine Ziffer verwendet.

[0050] Diese Unterscheidung zwischen Abschnitten 15 des realen Walzgutes 1 und virtuellen Walzgutpunkten P wird im Laufe der nachfolgenden Beschreibung konsistent beibehalten. Wenn von den Abschnitten 15 die Rede ist, sind stets und ausnahmslos die Abschnitte 15 des realen Walzgutes 1 gemeint. Wenn von den Walzgutpunkten P die Rede ist, ist stets und ausnahmslos das datentechnische Abbild der Abschnitte 15 gemeint.

[0051] Gemäß FIG 3 unterteilt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S1 die Kühleinrichtungen 6, 7 in freigegebene Kühleinrichtungen 6, 7 und nicht freigegebene (= gesperrte) Kühleinrichtungen 6, 7. Die Aufteilung in freigegebene und nicht freigegebene Kühleinrichtungen 6, 7 ist in jedem Fall disjunkt und in der Regel auch komplementär. Jede Kühleinrichtung 6, 7 ist also entweder freigegeben oder gesperrt.

[0052] Es ist möglich, dass alle Kühleinrichtungen 6, 7 freigegebene Kühleinrichtungen sind. Alternativ können einzelne der Kühleinrichtungen 6, 7 gesperrt sein.

Die Sperrung von Kühleinrichtungen 6, 7 kann nach Bedarf erfolgen. Beispielsweise können Kühleinrichtungen 6, 7 gesperrt werden, weil sie defekt sind und/oder weil sie zu nahe an einem Anfangsort xA liegen. Prinzipiell ist aber auch eine willkürliche Sperrung von Kühleinrichtungen 6, 7 möglich und denkbar.

[0053] Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S2 zumindest für einige der Walzgutpunkte P (herausgegriffene Walzgutpunkte P) endgültige Kühlleistungen mi. Der Schritt S1 wird nachstehend in Verbindung mit den FIG 4 und 6 näher erläutert werden. Der Index i steht bei den Kühlleistungen mi für die Nummer der jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 in der Reihenfolge, in welcher die jeweilige freigegebene Kühleinrichtung 6, 7 von dem jeweiligen Abschnitt 15 des Walzgutes 1 erreicht wird.

[0054] In einem Schritt S3 ermittelt die Steuereinrichtung 11 für eine Anzahl an Walzgutpunkten P tatsächliche Kühlleistungen mi. Die Steuereinrichtung 11 verwendet für die Ermittlung der tatsächlichen Kühlleistungen mi die für die herausgegriffenen Walzgutpunkte P ermittelten endgültigen Kühlleistungen mi. Die tatsächlichen Kühlleistungen mi ordnet die Steuereinrichtung 11 den entsprechenden Walzgutpunkten P unter Zuordnung zur jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 zu. Mögliche Ausgestaltungen des Schrittes S3 werden nachstehend in Verbindung mit den FIG 7 und 8 näher erläutert werden.

[0055] Sodann wird das Walzgut 1 durch die Kühlstrecke 2 transportiert. Aufgrund des Transportes des Walzgutes 1 als Ganzes durch die Kühlstrecke 2 durchlaufen die Abschnitte 15 des Walzgutes 1 nacheinander die Wirkbereiche 8, 9 der Kühleinrichtungen 6, 7. Es ist möglich, dass entsprechend der Darstellung in FIG 3 die Transporteinrichtung 5 in einem Schritt S4 von der Steuereinrichtung 11 gesteuert wird. Alternativ ist es möglich, dass die Transporteinrichtung 5 von einer anderen, in den FIG nicht dargestellten Steuereinrichtung gesteuert wird.

[0056] Während des Transports der Abschnitte 15 des Walzgutes 1 durch die Kühlstrecke 2 führt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S5 eine Wegverfolgung der Abschnitte 15 des Walzgutes 1 durch. Der Steuereinrichtung 11 ist daher zu jedem Zeitpunkt bekannt, welcher Abschnitt 15 des Walzgutes 1 sich im Wirkbereich 8, 9 welcher Kühleinrichtung 6, 7 befindet. Weiterhin steuert die Steuereinrichtung 11 gemäß FIG 3 in einem Schritt S6 die Kühleinrichtungen 6, 7. Die Steuerung erfolgt derart, dass mittels der freigegebenen Kühleinrichtungen 6, 7 der im Wirkbereich 8, 9 der jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 befindliche Abschnitt 15 des Walzgutes 1 mit der jeweiligen tatsächlichen Kühlleistung mi beaufschlagt wird, die für den jeweiligen Abschnitt 15 für die jeweilige freigegebene Kühleinrichtung 6, 7 ermittelt wurde.

[0057] Oftmals realisiert die Steuereinrichtung 11 weiterhin in einem Schritt S7 einen sogenannten Beobachter. In diesem Fall rechnet die Steuereinrichtung 11 während des Transports der Abschnitte 15 des Walzgutes 1 durch die Kühlstrecke 2 zumindest für diese Abschnitte 15 laufend einen Zustand E in Echtzeit mit. Der Zustand E umfasst zumindest eine Energiegröße. Die Energiegröße kann beispielsweise die Enthalpie oder die Temperatur sein. Im einfachsten Fall kann die Energiegröße ein Skalar sein. In der Regel wird es sich jedoch um eine Verteilung der Energiegröße zumindest in Dickenrichtung z des Walzgutes 1 handeln. Gegebenenfalls kann der Zustand E auch weitere, den Walzgutpunkten P zugeordnete Größen umfassen. Die Steuereinrichtung 11 berücksichtigt bei der Ermittlung (selbstverständlich) die Ansteuerung der Kühleinrichtungen 6, 7. Das Mitrechnen erfolgt unter Verwendung eines Modells 16 (siehe FIG 1). Das Modell 16 beruht auf mathematisch-physikalischen Gleichungen. Insbesondere wird im Rahmen des Modells 16 von der Steuereinrichtung 11 in der Regel zumindest eine Wärmeleitungsgleichung gelöst. Gegebenenfalls kann zusätzlich, unter schrittweiser Kopplung mit der Wärmeleitungsgleichung, eine Phasenumwandlungsgleichung gelöst werden. Die Wärmeleitungsgleichung kann insbesondere die Fouriersche Wärmeleitungsgleichung sein, siehe beispielsweise die DE 101 29 565 A1. Die Phasenumwandlungsgleichung kann insbesondere als sogenanntes Stefan-Problem angesetzt sein.

[0058] Die Schritte S5 und S7 werden weiterhin später in Verbindung mit FIG 12 näher erläutert werden.

[0059] Die Schritte S2 bis S7 sind in FIG 3 sequenziell hintereinander dargestellt. Bezüglich der Schritte S4 bis S6 (bzw. S7) ist dies auch faktisch der Fall. Diese Schritte (also die Schritte S4 bis S6 bzw. S7) werden mit einem Arbeitstakt $\delta t'$ zyklisch ausgeführt. Der Arbeitstakt $\delta t'$ liegt in der Regel zwischen 100 ms und 500 ms, beispielsweise bei 250 ms bis 300 ms. Der Schritt S2 kann ebenfalls mit dem Arbeitstakt $\delta t'$ zyklisch ausgeführt werden. Alternativ ist eine Abarbeitung unter Loslösung vom Arbeitstakt $\delta t'$ parallel zu den Schritten S4 bis S6 (bzw. S7) möglich. Dies wird aus den nachfolgenden Ausführungen ersichtlich werden.

[0060] Der Schritt S3 ist an den Schritt S2 gekoppelt. Wenn der Schritt S2 mit dem Arbeitstakt $\delta t'$ zyklisch ausgeführt wird, ist dies auch beim Schritt S3 der Fall. Wenn der Schritt S2 parallel zu den Schritten S4 bis S6 (bzw. S7) abgearbeitet wird, ist dies auch beim Schritt S3 der Fall. Auch dies wird aus den nachfolgenden Ausführungen ersichtlich werden.

[0061] Die Schritte S2 bis S7 werden in Verbindung mit den weiteren FIG näher erläutert werden. Nachfolgend wird in Verbindung mit FIG 4 zunächst der Schritt S2 näher erläutert.

[0062] Gemäß FIG 4 wird von der Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S11 einer der Walzgutpunkte P - beispielsweise der in FIG 2 mit P1 bezeichnete Walzgutpunkt - herausgegriffen. Die nachfolgenden Erläuterungen zu FIG 4 beziehen sich ausschließlich auf diesen einen Walzgutpunkt P, also den herausgegriffenen Walzgutpunkt P, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes aus-

gesagt ist.

[0063] In einem Schritt S12 wird von der Steuereinrichtung 11 ein Zustand E ermittelt, den der mit dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P korrespondierende Abschnitt 15 des Walzgutes 1 an einem Anfangsort xA der Kühlstrecke 2 aufweist. Der ermittelte Zustand E wird dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P im Schritt S12 zugeordnet.

[0064] Der Anfangsort xA kann entsprechend der Darstellung in FIG 1 vor der Kühlstrecke 2 liegen. Insbesondere in diesem Fall kann der Anfangsort xA am Ort des eingangsseitigen Temperaturmessplatzes 4 liegen, so dass am Anfangsort xA der eingangsseitige Temperaturmessplatz 4 angeordnet ist. Mittels des Temperaturmessplatzes 4 wird, wie in Verbindung mit FIG 1 bereits erwähnt, für den jeweiligen den Temperaturmessplatz 4 durchlaufenden Abschnitt 15 dessen aktuelle Temperatur T erfasst. In diesem Fall wird der Zustand E im Schritt S12 vorzugsweise anhand der für den betreffenden Abschnitt 15 erfassten Temperatur T ermittelt.

[0065] In einem Schritt S13 wird der Steuereinrichtung 11 weiterhin ein Fahrdiagramm 17 (siehe FIG 1) bekannt. Das Fahrdiagramm 17 gibt an, welche Geschwindigkeit vE für den herausgegriffenen Walzgutpunkt P zu welcher Simulationszeit t (gerechnet ab dem Anfangsort xA) erwartet wird. Es ist möglich, dass das Fahrdiagramm 17 auf Vermutungen und Erwartungen basiert, so dass eine aufgrund des Fahrdiagramms 17 erwartete Geschwindigkeit vE zwar in der Regel mit der späteren tatsächlichen Transportgeschwindigkeit v des korrespondierenden realen Abschnitts 15 des Walzgutes 1 im wesentlichen übereinstimmt, dies jedoch nicht unbedingt zutreffen muss. Alternativ ist es möglich, dass das Fahrdiagramm 17 auf einer Prädiktion der Transportgeschwindigkeit v beruht, die mit Sicherheit oder zumindest nahezu mit Sicherheit später auch eingehalten wird. Vorgehensweisen zur zuverlässigen Prädiktion der Transportgeschwindigkeit v sind Fachleuten bekannt. Es wird insbesondere auf die WO 2011/138 067 A2 verwiesen.

[0066] In einem Schritt S14 wird von der Steuereinrichtung 11 anhand einer gegebenen Gesamtkühlfunktion F1 eine Gesamtkühlmittelmenge ermittelt. Die Gesamtkühlfunktion F1 beschreibt eine Kühlung, die erforderlich ist, um den korrespondierenden Abschnitt 15 derart zu kühlen, eine Istgröße I des betreffenden Abschnittes 15 an einem Zielort xZ (siehe FIG 1) eine Zielgröße EZ aufweist. Die Istgröße I kann beispielsweise die Temperatur des betreffenden Abschnitts 15 sein. Es handelt sich aber in jedem Fall um eine Größe, die anhand des Zustands Z des betreffenden Abschnitts 15 ermittelt werden kann.

[0067] Im einfachsten Fall ist die Gesamtkühlfunktion F1 eine triviale Funktion, d.h. unabhängig vom Zustand E des herausgegriffenen Walzgutpunktes P am Anfangsort xA. Beispielsweise kann die Gesamtkühlmittelmenge gleich derjenigen Gesamtkühlmittelmenge sein, die bei der vorhergehenden Ausführung des Schrittes S20 (siehe dort) ermittelt wurde. Alternativ ist die Gesamtkühlfunktion F1 jedoch vom Zustand E des herausgegriffenen Walzgutpunktes P am Anfangsort xA abhängig. In diesem Fall wird die Gesamtkühlmittelmenge, mit welcher der korrespondierende Abschnitt 15 des Walzgutes 1 mittels der Kühleinrichtungen 6, 7 insgesamt beaufschlagt werden soll, durch Einsetzen des im Schritt S12 ermittelten Zustands E (bzw. einer anhand des Zustands E ermittelten Größe, beispielsweise einer Oberflächentemperatur des Walzgutes 1 oder einer Durchschnittstemperatur des Walzgutes 1) in die Gesamtkühlfunktion F1 ermittelt. Die ermittelte Gesamtkühlmittelmenge wird - unabhängig von der Art ihrer Ermittlung - dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P im Schritt S14 als Restkühlmittelmenge M zugeordnet.

[0068] Es ist möglich, dass die Gesamtkühlfunktion F1 der Steuereinrichtung 11 fest vorgegeben ist, beispielsweise im Rahmen des Computerprogramms 12. Alternativ ist es möglich, dass die Gesamtkühlfunktion F1 der Steuereinrichtung 11 auf andere Weise bekannt wird, beispielsweise durch Vorgabe oder Parametrierung durch einen (in den FIG nicht dargestellten) Bediener.

[0069] In Schritten S15 und S16 simuliert die Steuereinrichtung 11 rechnerisch den Transport des Walzgutpunktes P durch die Kühlstrecke 2. Zu diesem Zweck setzt die Steuereinrichtung 11 im Schritt S15 den aktuellen Ort x des herausgegriffenen Walzgutpunktes P gleich dem Anfangsort xA, die Simulationszeit t auf den Wert 0. Im Schritt S16 schreibt die Steuereinrichtung 11 den aktuellen Ort x des herausgegriffenen Walzgutpunktes P unter Verwendung des Fahrdiagramms 17 und einer zeitlichen Schrittweite δt fort. Auch die Simulationszeit t schreibt sie unter Verwendung der zeitlichen Schrittweite δt fort. Die zeitliche Schrittweite δt kann nach Bedarf bestimmt sein. Sie kann beispielsweise im Bereich weniger Millisekunden liegen. Unter Umständen kann die zeitliche Schrittweite δt variabel sein. Insbesondere kann die zeitliche Schrittweite δt in Bereichen der Kühlstrecke 2, in denen der Walzgutpunkt P sich nicht im Wirkbereich 8, 9 einer der Kühleinrichtungen 6, 7 befindet, größer gewählt werden als in Bereichen der Kühlstrecke 2, in denen der Walzgutpunkt P sich im Wirkbereich 8, 9 einer der Kühleinrichtungen 6, 7 befindet.

[0070] In einem Schritt S17 rechnet die Steuereinrichtung 11 mittels des Modells 16 die zeitliche Entwicklung des Zustands E des betrachteten Walzgutpunktes P mit. Sofern der betrachtete Walzgutpunkt P sich im Rahmen der jeweiligen Abarbeitung des Schrittes S17 im Wirkbereich 8, 9 einer der freigegebenen Kühleinrichtungen 6, 7 befindet, ermittelt die Steuereinrichtung 11 im Rahmen der jeweiligen Abarbeitung des Schrittes S17 weiterhin eine endgültige Kühlmittelmenge mi für die entsprechende Kühleinrichtung 6, 7. Eine mögliche Ausgestaltung des Schrittes S17 wird später in Verbindung mit FIG 6 näher erläutert werden.

[0071] In einem Schritt S18 prüft die Steuereinrichtung 11, ob im Rahmen der Simulation der Zielort xZ erreicht wurde. Solange dies nicht der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zum Schritt S16 zurück. Anderenfalls geht

die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S19 über.

[0072] Im Schritt S19 ermittelt die Steuereinrichtung 11 die Istgröße I. Die Ermittlung erfolgt unter Verwendung des anhand der wiederholten Abarbeitung des Schrittes S17 nunmehr ermittelten Zustandes E des herausgegriffenen Walzgutpunktes P. Weiterhin vergleicht die Steuereinrichtung 11 im Schritt S19 die ermittelte Istgröße I mit der vorgegebenen Zielgröße EZ. Insbesondere ermittelt die Steuereinrichtung 11 in der Regel die Abweichung ΔE zwischen der nunmehr ermittelten Istgröße I und der Zielgröße EZ. In einem Schritt S20 passt die Steuereinrichtung 11 anhand des Vergleichs - in der Regel anhand der Abweichung ΔE - die Gesamtkühlfunktion F1 an.

[0073] Im Rahmen der Anpassung der Gesamtkühlfunktion F1 ist es möglich, dass entsprechend der Darstellung in FIG 5 - siehe dort die strichpunktierte Linie - eine Verschiebung der Gesamtkühlfunktion F1 um einen (gegebenenfalls vektoriellen) Offset erfolgt, wobei der Offset von der Abweichung ΔE abhängt. Alternativ ist es möglich, im Rahmen der Anpassung der Gesamtkühlfunktion F1 eine Skalierung der Gesamtkühlfunktion F1 vorzunehmen, wobei der Skalierungsfaktor von der Abweichung ΔE abhängt. Dies ist in FIG 5 durch eine gestrichelte Linie angedeutet.

[0074] Bezüglich des im Schritt S11 herausgegriffenen Walzgutpunktes P ist die Vorgehensweise von FIG 4 abgeschlossen. Die Vorgehensweise von FIG 4 wird jedoch - siehe die Schleife in FIG 3 - mehrfach ausgeführt, wobei jeweils ein anderer Walzgutpunkt P herausgegriffen wird. Im Rahmen der nächsten Ausführung der Vorgehensweise von FIG 4 wird bei der Abarbeitung des Schrittes S14 von der bei der vorherigen Abarbeitung des Schrittes S20 angepassten Gesamtkühlfunktion F1 ausgegangen.

[0075] Nachstehend wird in Verbindung mit FIG 6 eine mögliche Ausgestaltung des Schrittes S17 von FIG 4 erläutert.

[0076] Gemäß FIG 6 prüft die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S21, ob der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, dem Wirkbereich 8, 9 einer der Kühleinrichtungen 6, 7 entspricht.

[0077] Wenn dies der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S22 über. Im Schritt S22 prüft die Steuereinrichtung 11, ob der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, dem Wirkbereich 8 einer der freigegebenen oberen Kühleinrichtungen 6 entspricht.

[0078] Wenn dies der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S23 über. Im Schritt S23 ermittelt die Steuereinrichtung 11 anhand des dann aktuellen Zustands E des herausgegriffenen Walzgutpunktes P eine vorläufige Kühlleistung mi für die entsprechende freigegebene obere Kühleinrichtung 6. Die Ermittlung erfolgt unter Verwendung einer - vorzugsweise glatten - Kühlkurve F2, die der jeweiligen oberen Kühleinrichtung 6 zugeordnet ist. Die vorläufige Kühlleistung mi ist stets größer als 0. Zumindest ist sie nicht kleiner als 0. Der Wert 0 selbst ist also noch zugelassen. Die vorläufige Kühlleistung mi kann hingegen keine negativen Werte annehmen, was einem Aufheizen des Walzgutpunktes P entsprechen würde. Gegebenenfalls kann die vorläufige Kühlleistung mi nach oben begrenzt sein.

[0079] Es ist möglich, dass die Kühlkurve F2 individuell für die jeweilige obere Kühleinrichtung 6 ist. In der Regel stimmen die Kühlkurven F2 für die oberen Kühleinrichtungen 6 jedoch miteinander überein. In diesem Fall muss die Kühlkurve F2 nur einmal für alle oberen Kühleinrichtungen 6 bestimmt sein. Die Kühlkurve F2 beschreibt beispielsweise als Funktion des aktuellen Zustands E eine Kühlmittelmenge, mit der der mit dem entsprechenden Walzgutpunkt P korrespondierende Abschnitt 15 des Walzgutes 1 beaufschlagt werden soll. Alternativ kann beispielsweise eine relative Durchflussmenge (0% bis 100%) oder eine Öffnungsstellung (von vollständig geschlossen bis vollständig geöffnet) eines Ventils der jeweiligen Kühleinrichtung 6 beschrieben werden. Falls die Kühleinrichtungen 6 Schaltventile (auf-zu) aufweisen, kann beispielsweise mittels einer Approximation angegeben werden, wie viele freigegebene Kühleinrichtungen 6, 7, ausgehend von einer jeweils eingeschalteten freigegebenen Kühleinrichtung 6, übersprungen werden sollen.

[0080] Weiterhin setzt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S24 die endgültige Kühlleistung mi für die betreffende freigegebene obere Kühleinrichtung 6 auf den kleineren der beiden Werte vorläufige Kühlleistung mi und Restkühlmittelmenge M. Weiterhin reduziert sie im Schritt S24 die Restkühlmittelmenge M um die endgültige Kühlleistung mi. Weiterhin ordnet die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S25 die ermittelte endgültige Kühlleistung mi dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P unter Zuordnung zur entsprechenden freigegebenen oberen Kühleinrichtung 6 zu.

[0081] Wenn der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, hingegen nicht dem Wirkbereich 8 einer der freigegebenen oberen Kühleinrichtungen 6 entspricht, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S26 über. Im Schritt S26 prüft die Steuereinrichtung 11, ob der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, dem Wirkbereich 8 einer der nicht freigegebenen oberen Kühleinrichtungen 6 entspricht.

[0082] Wenn dies der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S27 über. Im Schritt S27 setzt die Steuereinrichtung 11 die endgültige Kühlleistung mi auf einen für diese obere Kühleinrichtung 6 vorgegebenen Wert. Eine Zuordnung zu der entsprechenden oberen Kühleinrichtung 6 erfolgt jedoch nicht. Der im Rahmen des Schrittes S27 festgesetzte Wert wird lediglich im Rahmen eines Schrittes S28 verwertet.

[0083] Im Schritt S28 aktualisiert die Steuereinrichtung 11 durch Anwendung des Modells 16 den Zustand E. Die Steuereinrichtung 11 berücksichtigt bei der Anwendung des Modells 16 im Rahmen des Schrittes S28 die im Rah-

men des Schrittes S24 oder des Schrittes S27 festgesetzte Kühlleistung mi.

[0084] In analoger Weise prüft die Steuereinrichtung in einem Schritt S29, ob der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, dem Wirkbereich 9 einer der freigegebenen unteren Kühleinrichtungen 7 entspricht.

[0085] Wenn dies der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S30 über. Im Schritt S30 ermittelt die Steuereinrichtung 11 anhand des dann aktuellen Zustands E des herausgegriffenen Walzgutpunktes P eine vorläufige Kühlleistung mi für die entsprechende freigegebene untere Kühleinrichtung 7. Sofern zuvor bereits der Schritt S28 ausgeführt wurde, wird im Rahmen des Schrittes S30 von dem im Schritt S28 bereits modifizierten Zustand E ausgegangen.

[0086] Die Ermittlung erfolgt - analog zum Schritt S23 - unter Verwendung einer - vorzugsweise glatten - Kühlkurve F3, die der jeweiligen unteren Kühleinrichtung 7 zugeordnet ist. Die vorläufige Kühlleistung mi ist stets größer als 0 oder nimmt minimal den Wert Null an. Sie kann also keine negativen Werte annehmen. Es ist möglich, dass die Kühlkurve F3 individuell für die jeweilige untere Kühleinrichtung 7 ist. In der Regel stimmen die Kühlkurven F3 für die unteren Kühleinrichtungen 7 jedoch miteinander überein. In diesem Fall muss die Kühlkurve F3 nur einmal für alle unteren Kühleinrichtungen 7 bestimmt sein.

[0087] Weiterhin setzt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S31 die endgültige Kühlleistung mi für die betreffende freigegebene untere Kühleinrichtung 7 auf den kleineren der beiden Werte vorläufige Kühlleistung mi und Restkühlmittelmenge M. Weiterhin reduziert sie im Schritt S31 die Restkühlmittelmenge M um die endgültige Kühlleistung mi. Sofern bereits der Schritt S24 ausgeführt wurde, wird im Rahmen des Schrittes S31 von der im Schritt S24 bereits reduzierten Restkühlmittelmenge M ausgegangen. Weiterhin ordnet die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S32 die ermittelte endgültige Kühlleistung mi dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P unter Zuordnung zur entsprechenden freigegebenen unteren Kühleinrichtung 7 zu.

[0088] Wenn der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, hingegen nicht dem Wirkbereich 9 einer der freigegebenen unteren Kühleinrichtungen 7 entspricht, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S33 über. Im Schritt S33 prüft die Steuereinrichtung 11, ob der aktuelle Ort x, bis zu dem der Transport des herausgegriffenen Walzgutpunktes P simuliert wurde, dem Wirkbereich 9 einer der nicht freigegebenen unteren Kühleinrichtungen 7 entspricht.

[0089] Wenn dies der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S34 über. Im Schritt S34 setzt die Steuereinrichtung 11 die endgültige Kühlleistung mi auf einen für diese untere Kühleinrichtung 7 vorgegebenen Wert. Eine Zuordnung zu der entsprechenden unteren Kühleinrichtungen 7 erfolgt nicht. Der im Rahmen des Schrittes S34 festgesetzte Wert wird lediglich im Rahmen eines Schrittes S35 verwertet.

[0090] Im Schritt S35 aktualisiert die Steuereinrichtung 11 durch Anwendung des Modells 16 den Zustand E. Die Steuereinrichtung 11 berücksichtigt bei der Anwendung des Modells 16 im Rahmen des Schrittes S35 die im Rahmen des Schrittes S31 oder des Schrittes S34 festgesetzte Kühlleistung mi. Sofern zuvor bereits der Schritt S28 ausgeführt wurde, wird im Rahmen des Schrittes S35 von dem im Schritt S28 bereits modifizierten Zustand E ausgegangen.

[0091] Im Nein-Zweig des Schrittes S21 wird in einem Schritt S36 unter Anwendung des Modells 16 der Zustand E des herausgegriffenen Walzgutpunktes P aktualisiert. Im Rahmen des Schrittes S36 wird jedoch ausschließlich eine Wechselwirkung mit der Umgebung modelliert, die nicht durch die aktive Kühlung durch die Kühleinrichtungen 6, 7 bewirkt wird (Luftkühlung und/oder Kontaktkühlung über die Transportrollen 5).

[0092] Aufgrund der Vorgehensweise gemäß FIG 6 werden somit, soweit von dem Walzgutpunkt P nicht freigegebene Kühleinrichtungen 6, 7 passiert werden, zwar die von diesen Kühleinrichtungen 6, 7 aufgebrachten Kühlleistungen mi im Rahmen der Entwicklung des Zustands E des Walzgutpunktes P berücksichtigt. Die Kühlleistungen mi dieser Kühleinrichtungen 6, 7 werden jedoch nicht im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgehensweise ermittelt, sondern als gegeben hingenommen. Nur die Kühlleistungen mi für die freigegebenen Kühleinrichtungen 6, 7 werden durch die Vorgehensweise gemäß FIG 6 ermittelt.

[0093] Im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 6 ist von Bedeutung, dass auch in dem Fall, dass an ein und demselben Ort x sowohl der Wirkbereich 8 einer oberen Kühleinrichtung 6 als auch der Wirkbereich 9 einer unteren Kühleinrichtung 7 liegt, die Kühlleistungen mi für die entsprechende obere und die entsprechende untere Kühleinrichtung 6, 7 nacheinander bestimmt werden, wobei bei der Bestimmung der Kühlleistung mi für die später ermittelte Kühlleistung mi die Änderung des Zustands E und der Restkühlmittelmenge M durch die zuerst bestimmte Kühlleistung mi bereits berücksichtigt ist. Hingegen ist es von untergeordneter Bedeutung, ob entsprechend der Darstellung in FIG 6 zuerst die Kühlleistung mi für die obere Kühleinrichtung 6 oder zuerst die Kühlleistung mi für die untere Kühleinrichtung 7 bestimmt wird.

[0094] Gemäß der Vorgehensweise von FIG 6 sind weiterhin die Kühlkurve F2 für die oberen Kühleinrichtungen 6 und die Kühlkurve F3 für die unteren Kühleinrichtungen 7 unabhängig voneinander vorgegeben. Die beiden Kühlkurven F2, F3 können daher insbesondere - siehe auch FIG 1 - verschieden voneinander sein. Alternativ ist es möglich, dass die Kühlkurven F2 und F3 miteinander übereinstimmen. Für die Vorgabe der Kühlkurven F2, F3 gelten die Aussagen zur Vorgabe der Gesamtkühlfunktion F1 entsprechend.

[0095] Die Vorgehensweise der FIG 4 und 6 kann, wie

bereits erwähnt, mit dem Arbeitstakt δt' ausgeführt werden, mit dem auch die Schritte S4 bis S6 (bzw. S7) von FIG 3 ausgeführt werden. Insbesondere in diesem Fall ist es möglich, nacheinander jeden Walzgutpunkt P herauszugreifen. Der Schritt S3 von FIG 3 entartet in diesem Fall zur trivialen Lösung. Denn es müssen lediglich die ermittelten endgültigen Kühlleistungen mi 1:1 als tatsächliche Kühlleistungen mi für diesen einen Walzgutpunkt P übernommen werden.

[0096] Wie ebenfalls bereits erwähnt, ist es alternativ möglich, den Schritt S2 von FIG 3 unter Loslösung vom Arbeitstakt δt' parallel zu den Schritten S4 bis S6 (bzw. S7) von FIG 3 auszuführen. Auch in diesem Fall wird zwar iterativ jeweils ein Walzgutpunkt P herausgegriffen. Es werden jedoch nicht alle Walzgutpunkte P herausgegriffen. In diesem Fall liegt also - zumindest im Regelfall - zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden herausgegriffenen Walzgutpunkten P mindestens ein weiterer Walzgutpunkt P, der nicht herausgegriffen wird. Soweit es den jeweils herausgegriffenen Walzgutpunkt P betrifft, können jedoch auch in diesem Fall im Schritt S3 weiterhin die ermittelten endgültigen Kühlleistungen mi 1:1 als tatsächliche Kühlleistungen mi für diesen Walzgutpunkt P - also den herausgegriffenen Walzgutpunkt P - übernommen werden.

[0097] In beiden Fällen sind für die herausgegriffenen Walzgutpunkte P die tatsächlichen Kühlleistungen mi mit den endgültigen Kühlleistungen mi identisch. Da die tatsächlichen Kühlleistungen mi im Rahmen des Schrittes S6 benötigt werden und zur Ermittlung der tatsächlichen Kühlleistungen mi die endgültigen Kühlleistungen mi für den herausgegriffenen Walzgutpunkt P benötigt werden, ist sofort und ohne weiteres ersichtlich, dass die Vorgehensweise der FIG 4 und 6 abgeschlossen sein muss, bevor der mit dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P korrespondierende Abschnitt 15 des realen Walzgutes 1, ausgehend vom Anfangsort xA, den nächsten freigegebenen Wirkbereich 8, 9 erreicht.

[0098] Falls im Rahmen des Schrittes S1 nicht alle Walzgutpunkte P herausgegriffen werden, müssen im Rahmen des Schrittes S2 auch für die anderen, nicht herausgegriffenen Walzgutpunkte P die tatsächlichen Kühlleistungen mi ermittelt werden. In diesem Fall sind verschiedene Vorgehensweisen möglich. Mögliche Vorgehensweisen werden nachstehend in Verbindung mit den FIG 7 und 8 erläutert. Im Rahmen der FIG 7 und 8 wird davon ausgegangen, dass - siehe FIG 2 - die Walzgutpunkte P1 und P5 herausgegriffen werden, so dass zwischen den beiden unmittelbar aufeinander folgenden, herausgegriffenen Walzgutpunkten P1 und P5 insgesamt drei andere, nicht herausgegriffene Walzgutpunkte P liegen, nämlich die Walzgutpunkte P2, P3 und P4.

[0099] Analoge Vorgehensweisen sind jedoch ebenso möglich, wenn andere Walzgutpunkte P herausgegriffen werden und/oder wenn zwischen den beiden herausgegriffenen Walzgutpunkten P mehr oder weniger als drei andere, nicht herausgegriffene Walzgutpunkte P liegen.

[0100] So ist es gemäß der Darstellung in FIG 7 insbesondere möglich, die für einen herausgegriffenen Walzgutpunkt P - beispielsweise den Walzgutpunkt P1 - ermittelten Kühlleistungen mi 1:1 für die nachfolgenden Walzgutpunkte P zu übernehmen. Die Übernahme erfolgt in diesem Fall so lange, bis eine neue Ermittlung für einen weiteren herausgegriffenen Walzgutpunkt P erfolgt, beispielsweise den Walzgutpunkt P5. Konkret in diesem Beispiel würden also entsprechend der Darstellung in FIG 7 die für den Walzgutpunkt P1 ermittelten Kühlleistungen mi für die Walzgutpunkte P2, P3 und P4 übernommen werden.

[0101] Die Vorgehensweise gemäß FIG 7 ist stets ausführbar. Falls jedoch eine hinreichend hohe Rechenleistung zur Verfügung steht - dies wird später näher spezifiziert werden -, ist es alternativ gemäß FIG 8 möglich, die tatsächlichen Kühlleistungen mi für die nicht herausgegriffenen Walzgutpunkte P (gemäß Beispiel die Walzgutpunkte P2, P3 und P4) durch Interpolation derjenigen Kühlleistungen mi zu ermitteln, welche für die beiden herausgegriffenen Walzgutpunkte P (gemäß Beispiel die Walzgutpunkte P1 und P5) ermittelt wurden.

[0102] Bei der Vorgehensweise gemäß FIG 8 muss die Berechnung gemäß den FIG 4 und 6 für den später herausgegriffenen Walzgutpunkt P (gemäß Beispiel den Walzgutpunkt P5) abgeschlossen sein, um die tatsächlichen Kühlleistungen mi für den auf den zuerst herausgegriffenen Walzgutpunkt P (gemäß Beispiel den Walzgutpunkt P1) folgenden, nicht herausgegriffenen Walzgutpunkt P (gemäß Beispiel den Walzgutpunkt P2) ermitteln zu können. Die Ermittlung der tatsächlichen Kühlleistungen mi für den später herausgegriffenen Walzgutpunkt P (gemäß Beispiel den Walzgutpunkt P5) muss also abgeschlossen sein, bevor der auf den zuerst herausgegriffenen Walzgutpunkt P1 folgende Walzgutpunkt P (gemäß Beispiel der Walzgutpunkt P2) ausgehend vom Anfangsort xA den Wirkbereich 8, 9 der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung 6 und/oder 7 erreicht. Nur unter dieser Voraussetzung ist diese Vorgehensweise also möglich.

[0103] FIG 9 zeigt eine Modifikation der Vorgehensweise von FIG 4, die möglich ist, wenn eine hinreichend hohe Rechenleistung zur Verfügung steht. Im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 9 werden die Schritte S11 bis S20 von FIG 4 zu Gruppen zusammengefasst. Die einzelnen Vorgehensweisen im Detail werden daher nicht näher erläutert, da dies bereits in Verbindung mit FIG 4 erfolgt ist.

[0104] Gemäß FIG 9 wird zunächst ein Schritt S41 ausgeführt. Der Schritt S41 korrespondiert inhaltlich mit den Schritten S11 bis S13 von FIG 4. Sodann wird ein Schritt S42 ausgeführt. Der Schritt S42 korrespondiert inhaltlich mit den Schritten S14 bis S20 von FIG 4. Damit ist zunächst die gesamte Vorgehensweise von FIG 4 einmal abgearbeitet. Auf den Schritt S42 folgt jedoch ein weiterer Schritt S43, der inhaltlich ebenfalls mit den Schritten S14 bis S20 von FIG 4 korrespondiert. Im Ergebnis werden durch die Vorgehensweise gemäß FIG 9 nach dem Anpassen der Gesamtkühlfunktion F1 für den selben

Walzgutpunkt P nochmals die auf das Herausgreifen des Walzgutpunktes P folgenden Schritte S14 bis S20 ausgeführt werden. Die Schritte S12 und S13 können ebenfalls wiederholt werden. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da die dortigen Werte sich nicht geändert haben. Bei der zweiten Ausführung des Schrittes S14 im Rahmen des Schrittes S43 wird bei der Auswertung des Schrittes S14 die im Schritt S20 von Schritt S42 angepasste Gesamtkühlfunktion F1 zu Grunde gelegt.

[0105] Wie bereits erwähnt, kann der Anfangsort xA entsprechend der Darstellung in FIG 1 vor der Kühlstrecke 2 liegen. Insbesondere in diesem Fall kann, wie ebenfalls bereits erwähnt, am Anfangsort xA ein Temperaturmessplatz 4 angeordnet sein. Alternativ ist es möglich, dass der Anfangsort xA entsprechend der Darstellung von FIG 10 in der Kühlstrecke 2 liegt. In diesem Fall ist am Anfangsort xA in der Regel kein Temperaturmessplatz angeordnet. Der Zustand E muss in diesem Fall anderweitig ermittelt werden. Beispielsweise kann der Zustand E aufgrund des in Verbindung mit dem Schritt S7 erwähnten Beobachters bekannt sein.

[0106] Aufgrund des Abstandes der Walzgutpunkte P voneinander ist es möglich, dass zu dem Zeitpunkt, zu dem einer der Walzgutpunkte P herausgegriffen werden soll, gerade kein Walzgutpunkt P den Anfangsort xA passiert. In diesem Fall kann beispielsweise anhand der Zustände E der beiden Walzgutpunkte P unmittelbar vor und unmittelbar hinter dem Anfangsort xA - insbesondere durch gewichtete oder ungewichtete Interpolation der beiden entsprechenden Zustände E - der Zustand E eines fiktiven Walzgutpunktes P ermittelt und nachfolgend verwendet werden.

[0107] In analoger Weise ist es möglich, dass der Zielort xZ entsprechend der Darstellung in FIG 1 hinter der Kühlstrecke 2 liegt. Alternativ ist es entsprechend der Darstellung in FIG 10 jedoch ebenso möglich, dass der Zielort xZ in der Kühlstrecke 2 liegt. Unabhängig von der Lage des Anfangsortes xA und des Zielortes xZ muss jedoch selbstverständlich in Transportrichtung des Walzgutes 1 gesehen der Zielort xZ hinter dem Anfangsort xA liegen.

[0108] Es ist entsprechend der Darstellung in den FIG 11 und 12 sogar möglich, dass das obenstehend in Verbindung mit den FIG 1 bis 10 erläuterte Betriebsverfahren, bezogen auf die Erstreckung der Kühlstrecke 2, mehrmals in jeweiligen Bereichen 18, 19 der Kühlstrecke 2 angewendet wird. Es ist entsprechend der Darstellung in FIG 11 möglich, dass die Bereiche 18, 19 aufeinanderfolgen. In diesem Fall liegt zwischen den beiden Bereichen 18, 19 in der Regel ein Zwischenabschnitt 20, in dem das Walzgut 1 nicht aktiv gekühlt wird. Im Zwischenabschnitt 20 erfolgt also eine Kühlung nur durch natürliche Konvektion, Kontakt mit den Transportrollen 5 und Abstrahlung von Wärme, hingegen nicht durch das Kühlmittel 10. Diese Vorgehensweise kann insbesondere bei der Kühlung eines Dualphasenstahls von Vorteil sein. Alternativ ist es möglich, dass die Bereiche 18, 19 einander überlappen. Insbesondere kann entsprechend der Darstellung in FIG 12 der Zielort xZ für beide Bereiche 18, 19 der gleiche sein, während die Anfangsorte xA verschieden voneinander sind.

[0109] Nachstehend werden in Verbindung mit FIG 13 eine mögliche Implementierung der Wegverfolgung des Schrittes S5 von FIG 3 und eine mögliche Implementierung eines Beobachters gemäß dem Schritt S7 von FIG 3 näher erläutert. In Verbindung mit FIG 13 wird hierbei lediglich die Vorgehensweise für einen einzelnen Abschnitt 15 erläutert. Die Vorgehensweise von FIG 13 wird jedoch parallel für viele Abschnitte 15 durchgeführt. Mindestens wird die Vorgehensweise von FIG 13 für diejenigen Abschnitte 15 durchgeführt, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt zwischen dem Anfangsort xA und dem Zielort xZ befinden. Sie kann jedoch ebenso für weitere, außerhalb dieses Bereichs befindliche Abschnitte 15 durchgeführt werden. Aufgrund des Umstands, dass FIG 13 eine Implementierung der Schritte S5 und S7 von FIG 3 zeigt, versteht sich von selbst, dass die Vorgehensweise von FIG 13 mit dem Arbeitstakt $\delta t'$ ausgeführt wird.

[0110] Gemäß FIG 13 setzt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S51 in dem Moment, in dem ein bestimmter Abschnitt 15 den Anfangsort xA passiert, den - im Gegensatz zur Vorgehensweise von FIG 4 nunmehr realen - Ort x des entsprechenden Abschnitts 15 auf den Anfangsort xA. In einem Schritt S52 erfasst die Steuereinrichtung 11 die aktuelle tatsächliche Transportgeschwindigkeit v. In einem Schritt S53 aktualisiert die Steuereinrichtung 11 anhand der aktuellen tatsächlichen Transportgeschwindigkeit v und des Arbeitstaktes $\delta t'$ den Ort x des verfolgten Abschnittes 15. Die Schritte S51 bis S53 korrespondieren im Wesentlichen mit der Wegverfolgung des Abschnittes 15 als solcher, also mit dem Schritt S5 von FIG 3. In einem Schritt S54 prüft die Steuereinrichtung 11, ob der entsprechende Abschnitt 15 sich im Wirkbereich 8, 9 einer Kühleinrichtung 6, 7 befindet. Wenn dies der Fall ist, steuert die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S55 die entsprechende Kühleinrichtung 6, 7 an. Falls der entsprechende Abschnitt 15 sich im Wirkbereich 8, 9 einer freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 befindet, erfolgt die Ansteuerung entsprechend der tatsächlichen Kühlleistung mi, die dem korrespondierenden Walzgutpunkt P für die entsprechende Kühleinrichtung 6, 7 im Rahmen des Schrittes S3 von FIG 3 zugeordnet wurde. Falls der entsprechende Abschnitt 15 sich im Wirkbereich 8, 9 einer nicht freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 befindet, erfolgt die Ansteuerung entsprechend der Kühlleistung mi, die dem entsprechenden Walzgutpunkt P anderweitig - also nicht auf die erfindungsgemäße Vorgehensweise - zugeordnet wurde. Anderenfalls wird der Schritt S55 übersprungen. Die Schritte S54 und S55 korrespondieren im Wesentlichen mit dem Schritt S5 von FIG 3.

[0111] In einem Schritt S56 aktualisiert die Steuereinrichtung 11 den Zustand E des entsprechenden Abschnitts 15. Insbesondere löst die Steuereinrichtung 5 im Rahmen des Schrittes S56 entsprechend dem Modell

16 die Wärmeleitungsgleichung. Im Rahmen des Schrittes S56 berücksichtigt die Steuereinrichtung 11, soweit erforderlich, die jeweilige Ansteuerung der jeweiligen Kühleinrichtung 6, 7. Der Schritt S56 entspricht im Wesentlichen dem Schritt S7 von FIG 3.

[0112] Die Vorgehensweise gemäß FIG 13 wird, wie bereits erwähnt, zumindest für alle Abschnitte 15 des Walzgutes 1 durchgeführt, die sich zwischen dem Anfangsort xA und dem Zielort xZ befinden. Die Steuereinrichtung 11 rechnet somit während des Transports der Abschnitte 15 des Walzgutes 1 durch die Kühlstrecke 2 mit dem Arbeitstakt $\delta t'$ die Zustände E der durch die Kühlstrecke 2 transportierten Abschnitte 15 des Walzgutes 1 mit. Da der Schritt S56 weiterhin mit dem Arbeitstakt $\delta t'$ ausgeführt wird, ermittelt die Steuereinrichtung 11 die Zustände E der Abschnitte 15 in Echtzeit.

[0113] Entsprechend der Darstellung in FIG 13 sind oftmals zusätzlich zu den Schritten S51 bis S56 weitere Schritte S57 bis S60 vorhanden. Falls die Schritte S57 bis S60 vorhanden sind, prüft die Steuereinrichtung 11 im Schritt S57, ob der betreffende Abschnitt 15 einen Temperaturmessplatz 21 passiert. Der Temperaturmessplatz 21 ist - im Gegensatz zum eingangsseitigen Temperaturmessplatz 4 - hinter dem Anfangsort xA angeordnet. Je nach Lage des Einzelfalls kann der Temperaturmessplatz 21 vor dem Zielort xZ, am Zielort xZ oder dahinter angeordnet sein. Meist ist der Temperaturmessplatz 21 (ausgangsseitiger Temperaturmessplatz) hinter der Kühlstrecke 2 angeordnet, beispielsweise zwischen der Kühlstrecke 2 und einem Haspel 22.

[0114] Wenn der betrachtete Abschnitt 15 den ausgangsseitigen Temperaturmessplatz 21 passiert, erfasst die Steuereinrichtung 11 im Schritt S58 eine tatsächliche Temperatur T des entsprechenden Abschnittes 15 des Walzgutes 1. Im Schritt S59 vergleicht die Steuereinrichtung 11 die erfasste Temperatur T mit einer Temperatur, die anhand des im Rahmen der wiederholten Abarbeitung des Schrittes S56 ermittelten Zustands E ermittelt wird. Insbesondere ermittelt die Steuereinrichtung 11 in der Regel die Abweichung ΔT zwischen der erfassten Temperatur T und der anhand des Zustands E ermittelten Temperatur. Im Schritt S60 führt die Steuereinrichtung 11 sodann anhand des Vergleichs - in der Regel anhand der Abweichung ΔT - mindestens einen Parameter k des Modells 16 nach. Mittels des Parameters k kann beispielsweise der Wärmeübergang vom Walzgut 1 zum Kühlmittel 10 angepasst werden.

[0115] Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich ein weiterer wesentlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung. Denn insbesondere kann die vorliegende Erfindung auch dann angewendet werden, wenn die Transportgeschwindigkeit v nicht durchgehend dieselbe Richtung aufweist, sondern das Walzgut 1 in der Kühlstrecke 2 vor und zurück transportiert wird.

[0116] Zur Implementierung der Schritte S54 und S55 wird vorzugsweise so vorgegangen, wie dies nachfolgend in Verbindung mit FIG 14 erläutert wird.

[0117] Gemäß FIG 14 selektiert die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S61 zunächst eine der Kühleinrichtungen 6, 7. In einem Schritt S62 ermittelt die Steuereinrichtung 11 diejenigen Abschnitte 15 des Walzgutes 1, die sich im betrachteten Arbeitstakt $\delta t'$ im Wirkbereich 8, 9 der im Schritt S61 selektierten Kühleinrichtung 6, 7 befinden. In einem Schritt S63 ermittelt die Steuereinrichtung 11 anhand der im Schritt S62 ermittelten Abschnitte 15 die korrespondierenden Walzgutpunkte P und die diesen Walzgutpunkten P für die entsprechende Kühleinrichtung 6, 7 zugeordneten tatsächlichen Kühlleistungen mi. Anhand der im Schritt S63 ermittelten tatsächlichen Kühlleistungen mi ermittelt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S64 eine effektive Ansteuerung der entsprechenden Kühleinrichtung 6, 7. In einem Schritt S65 prüft die Steuereinrichtung 11, ob sie die Vorgehensweise der Schritte S61 bis S64 bereits für alle Kühleinrichtungen 6, 7 durchgeführt hat. Wenn dies nicht der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 11 zum Schritt S61 zurück, in dem sie nunmehr eine andere, bisher noch nicht selektierte Kühleinrichtung 6, 7 selektiert. Anderenfalls geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S66 über. Im Schritt S66 gibt die Steuereinrichtung 11 die nunmehr ermittelten effektiven Ansteuerungen an die Kühleinrichtungen 6, 7 aus.

[0118] Die Kühleinrichtungen 6, 7 weisen gemäß FIG 15 oftmals erhebliche Verzögerungszeiten t1, t2 auf. Die Verzögerungszeiten t1, t2 sind diejenigen Zeiten, die ab einer Änderung der Stellgröße S der jeweiligen Kühleinrichtung 6, 7 bis zu deren Reaktion R vergehen. Die Verzögerungszeiten t1, t2 können im Bereich mehrerer Sekunden liegen. Die Verzögerungszeiten t1, t2 können gleich oder voneinander verschieden sein. Sie können auch von Kühleinrichtung 6, 7 zu Kühleinrichtung 6, 7 verschieden sein. Vorzugsweise berücksichtigt die Steuereinrichtung 11 bei der Ansteuerung der Kühleinrichtungen 6, 7 die Verzögerungszeiten t1, t2. Wenn beispielsweise die Verzögerungszeit t1 der Kühleinrichtungen 6, 7 beim Einschalten einheitlich 2 Sekunden beträgt und die aktuelle Transportgeschwindigkeit v bei 10 m/s liegt, werden die Kühleinrichtungen 6, 7 jeweils zu einem Zeitpunkt eingeschaltet, zu dem der betreffende Abschnitt 15 sich 20 m vor dem entsprechenden Wirkbereich 8, 9 befindet. Zur ordnungsgemäßen Berücksichtigung der Verzögerungszeiten t1, t2 wird in diesem Fall der Schritt S62 von FIG 14 derart modifiziert, dass die Steuereinrichtung 11 unter Verwendung des Fahrdiagramms 17 diejenigen Abschnitte 15 des Walzgutes 1 ermittelt, die sich im betrachteten Arbeitstakt $\delta t'$ zuzüglich der zu berücksichtigenden Verzögerungszeit t1, t2 im Wirkbereich 8, 9 der im Schritt S61 selektierten Kühleinrichtung 6, 7 befinden. Die übrigen Schritte von FIG 14 können beibehalten werden.

[0119] Im Rahmen der Prognose der FIG 4 und 6 ist eine Berücksichtigung der Verzögerungszeiten t1, t2 nicht erforderlich. Im Rahmen der Prognose der FIG 4 und 6 kann vielmehr angenommen werden, dass die Kühleinrichtungen 6, 7 ohne zeitliche Verzögerung reagieren.

[0120] Wie bereits erwähnt, muss die Vorgehensweise der FIG 4 und 6 abgeschlossen sein, bevor der entsprechende, mit dem herausgegriffenen Walzgutpunkt P korrespondierende Abschnitt 15, ausgehend vom Anfangsort xA, den Wirkbereich 8, 9 der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 erreicht. Der Zeitpunkt, zu dem diese Vorgehensweise abgeschlossen wird, wird nachfolgend als Abschlusszeitpunkt bezeichnet. Der korrespondierende Abschnitt 15 erreicht den Wirkbereich 8, 9 der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 zu einem Zeitpunkt, der nachfolgend als Kühlbeginnzeitpunkt bezeichnet wird. Um eine rechtzeitige Ansteuerung der Kühleinrichtung 6, 7 mit der entsprechenden tatsächlichen Kühlleistung mi zu gewährleisten, muss die Ansteuerung der Kühleinrichtung 6, 7 um die entsprechende Verzögerungszeit t1, t2 vor dem Kühlbeginnzeitpunkt liegen. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte also die Ermittlung der entsprechenden tatsächlichen Kühlleistung mi abgeschlossen sein. Um eine ordnungsgemäße Ansteuerung der Kühleinrichtungen 6, 7 zu erreichen, sollte daher eine zeitliche Differenz zwischen dem Abschlusszeitpunkt und dem Kühlbeginnzeitpunkt mindestens so groß wie die - gegebenenfalls größere der - Verzögerungszeiten t1, t2 der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 sein. Es kann jedoch unter Umständen hinnehmbar sein, wenn diese Bedingung verletzt wird.

[0121] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. So wird beispielsweise ein sogenanntes Klappern von Ventilen nahezu vollständig vermieden. Die Ansteuerung der Kühleinrichtungen 6, 7 verläuft stattdessen sehr ruhig. Weiterhin arbeitet das erfindungsgemäße Verfahren auch bei sehr niedrigen Temperaturen (beispielsweise unterhalb ca. 350 °C) sehr zuverlässig. Sogar eine Verzehnfachung des Wärmeübergangs bei tiefen Temperaturen lässt sich gut beherrschen. Das erfindungsgemäße Betriebsverfahren ist damit insbesondere auch geeignet, wenn sogenannter Dualphasenstahl gekühlt werden soll. Dies gilt auch dann, wenn bei der Herstellung des Dualphasenstahls eine Beschleunigung nicht vermieden werden kann, weil anderenfalls andere Zielgrößen wie beispielsweise eine Endwalztemperatur, eine Walzgutdicke und dergleichen mehr aus einem zulässigen Toleranzbereich herausfallen würden. Weiterhin bietet die erfindungsgemäße Vorgehensweise eine große Flexibilität. Es lässt sich beispielsweise eine hohe Kühlrate noch einsetzen bis zu einer Oberflächentemperatur von ca. 400°C. Sodann kann diese auf einen sehr kleinen Wert reduziert werden, wenn ca. 350°C unterschritten werden. Dadurch lässt sich auch an der kritischen Stelle, an welcher die so genannte Leidenfrosttemperatur erreicht wird, die Kühlung reduzieren, ohne dass diese Stelle vorab bekannt sein muss. Auch bietet das erfindungsgemäße Verfahren die Möglichkeit, es innerhalb ein und derselben Kühlstrecke 2 mehrfach einzusetzen. Es muss lediglich berücksichtigt werden, dass der Anfangsort xA der jeweils nachfolgenden Ausführung - gegebenenfalls unter Berücksichtigung der momentanen Transportrichtung - hinter dem Anfangsort xA der jeweils vorhergehenden Ausführung liegen muss. Insbesondere die Möglichkeiten einer Kühlstrecke 2 mit kontinuierlich steuerbaren Kühleinrichtungen 6, 7 können voll ausgenutzt werden, um ein optimales Kühlergebnis zu erreichen.

[0122] Zusammengefasst betrifft die vorliegende Erfindung folgenden Sachverhalt:

Ein flaches Walzgut 1 wird durch eine Kühlstrecke 2 transportiert, so dass Abschnitte 15 des Walzgutes 1 Wirkbereiche 8, 9 von Kühleinrichtungen 6, 7 nacheinander durchlaufen. Den Abschnitten 15 werden virtuelle Walzgutpunkte P zugeordnet. Während des Transports der Abschnitte 15 durch die Kühlstrecke 2 wird mit einem Arbeitstakt $\delta t'$ eine Wegverfolgung der Abschnitte 15 durchgeführt. Die Kühleinrichtungen 6, 7 werden entsprechend den korrespondierenden Walzgutpunkten P für die Kühleinrichtungen 6, 7 zugeordneten tatsächlichen Kühlleistungen mi gesteuert. Dadurch wird jeweils der im Wirkbereich 8, 9 der jeweiligen Kühleinrichtung 6, 7 befindliche Abschnitt 15 mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge beaufschlagt. Die Kühleinrichtungen 6, 7 werden in freigegebene und nicht freigegebene Kühleinrichtungen unterteilt. Iterativ wird jeweils ein Walzgutpunkt P herausgegriffen. Bevor der korrespondierende Abschnitt 15, ausgehend von einem Anfangsort xA, den Wirkbereich 8, 9 der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 erreicht, wird ein Zustand E ermittelt, den der entsprechende Walzgutpunkt P am Anfangsort xA aufweist. Anhand einer Gesamtkühlfunktion F1 wird eine Gesamtkühlmittelmenge ermittelt und dem Walzgutpunkt P als Restkühlmittelmenge M zugeordnet. Der Transport des Walzgutpunktes P durch die Kühlstrecke 2 wird unter Verwendung eines Fahrdiagrammms 17 rechnerisch simuliert. Dabei wird mittels eines Modells 16 die zeitliche Entwicklung des Zustands E mitgerechnet. Wenn der Walzgutpunkt P einen freigegebenen Wirkbereich 8, 9 erreicht, wird anhand des dann aktuellen Zustands E eine jeweilige vorläufige Kühlleistung mi ermittelt. Dem Walzgutpunkt P wird für die jeweilige freigegebene Kühleinrichtung 6, 7 das Minimum von vorläufiger Kühlleistung mi und Restkühlmittelmenge M als endgültige Kühlleistung mi zugeordnet. Die Restkühlmittelmenge M wird entsprechend reduziert. An einem Zielort xZ wird eine anhand des dortigen Zustands E ermittelte Istgröße I mit einer Zielgröße EZ verglichen. Anhand des Vergleichs wird die Gesamtkühlfunktion F1 angepasst. Unter Verwendung der ermittelten endgültigen Kühlleistungen mi werden für eine Anzahl an Walzgutpunkten P die tatsächlichen Kühlleistungen mi ermittelt und den Walzgutpunkten P unter Zuordnung zur jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung 6, 7 zugeordnet.

[0123] Obwohl die Erfindung im Detail durch das be-

vorzugte 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 Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke (2) zum Kühlen eines flachen Walzgutes (1),

- wobei die Kühlstrecke (2) eine Vielzahl von Kühleinrichtungen (6, 7) aufweist,
- wobei das Walzgut (1) durch die Kühlstrecke (2) transportiert wird, so dass Abschnitte (15) des Walzgutes (1) Wirkbereiche (8, 9) der Kühleinrichtungen (6, 7) nacheinander durchlaufen,
- wobei den Abschnitten (15) des Walzgutes (1) jeweils ein virtueller Walzgutpunkt (P) zugeordnet wird,
- wobei während des Transports der Abschnitte (15) des Walzgutes (1) durch die Kühlstrecke (2) mit einem Arbeitstakt (δt') eine Wegverfolgung der Abschnitte (15) des Walzgutes (1) durchgeführt wird und die Kühleinrichtungen (6, 7) entsprechend den korrespondierenden Walzgutpunkten (P) für die jeweiligen Kühleinrichtungen (6, 7) zugeordneten tatsächlichen Kühlleistungen (mi) gesteuert werden und dadurch jeweils der im Wirkbereich (8, 9) der jeweiligen Kühleinrichtung (6, 7) befindliche Abschnitt (15) des Walzgutes (1) mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge beaufschlagt wird,
- wobei die Kühleinrichtungen (6, 7) in freigegebene Kühleinrichtungen und nicht freigegebene Kühleinrichtungen unterteilt werden,
- wobei iterativ jeweils ein virtueller Walzgutpunkt (P) herausgegriffen wird und, bezogen auf den jeweiligen virtuellen Walzgutpunkt (P), folgende Schritte durchgeführt werden, bevor der korrespondierende Abschnitt (15) des realen Walzgutes (1), ausgehend von einem vorbestimmten Anfangsort (xA), den Wirkbereich (8, 9) der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) erreicht:

  - - es wird ein Zustand (E) ermittelt, den der korrespondierende Abschnitt (15) des Walzgutes (1) am Anfangsort (xA) der Kühlstrecke (2) aufweist,
  - - anhand einer gegebenen Gesamtkühlfunktion (F1) wird für den Walzgutpunkt (P) eine Gesamtkühlmittelmenge ermittelt und dem Walzgutpunkt (P) als Restkühlmittelmenge (M) zugeordnet,
  - - der Transport des Walzgutpunktes (P) durch die Kühlstrecke (2) wird unter Verwendung eines Fahrdiagrammms (17) bis zu einem vorbestimmten Zielort (xZ) rechnerisch simuliert,
  - - während der Simulation wird mittels eines Modells (16) die zeitliche Entwicklung des Zustands (E) des Walzgutpunktes (P) mitgerechnet,
  - - jedesmal, wenn der Walzgutpunkt (P) den Wirkbereich (8, 9) einer der freigegebenen Kühleinrichtungen (6, 7) erreicht, wird anhand des dann aktuellen Zustands (E) des Walzgutpunktes (P) unter Verwendung einer der jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) zugeordneten Kühlkurve (F2, F3) eine jeweilige vorläufige Kühlleistung (mi) ermittelt, dem Walzgutpunkt (P) für die jeweilige freigegebene Kühleinrichtung (6, 7) der kleinere der beiden Werte vorläufige Kühlleistung (mi) und Restkühlmittelmenge (M) als endgültige Kühlleistung (mi) zugeordnet und die Restkühlmittelmenge (M) um die endgültige Kühlleistung (mi) reduziert,
  - - eine anhand des Zustands (E) des Walzgutpunktes (P) am Zielort (xZ) ermittelte Istgröße (I) wird mit einer vorgegebenen Zielgröße (EZ) verglichen und anhand des Vergleichs wird die Gesamtkühlfunktion (F1) angepasst,

- wobei unter Verwendung der für den herausgegriffenen Walzgutpunkt (P) ermittelten endgültigen Kühlleistungen (mi) die tatsächlichen Kühlleistungen (mi) für eine Anzahl an Walzgutpunkten (P) ermittelt werden und den entsprechenden Walzgutpunkten (P) unter Zuordnung zur jeweiligen freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) zugeordnet werden.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden herausgegriffenen virtuellen Walzgutpunkten (P1, P5) mindestens ein weiterer virtueller, nicht herausgegriffener Walzgutpunkt (P2 bis P4) liegt,
- **dass** das Herausgreifen des später herausgegriffenen virtuellen Walzgutpunktes (P5) und die Durchführung der auf diesen virtuellen Walzgutpunkt (P5) bezogenen Berechnungen abgeschlossen werden, bevor die mit den nicht herausgegriffenen Walzgutpunkten (P2 bis P4) korrespondierenden Abschnitte (15) des Walzgutes (1) ausgehend vom Anfangsort (xA) den Wirkbereich (8, 9) der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) erreichen, und
- **dass** die tatsächlichen Kühlleistungen (mi) für

die nicht herausgegriffenen Walzgutpunkte (P2 bis P4) durch Interpolation der für die beiden angrenzenden herausgegriffenen Walzgutpunkte (P1, P5) ermittelten endgültigen Kühlleistungen (mi) ermittelt werden.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest ein Teil der Kühleinrichtungen (6, 7) auf die Oberseite des Walzgutes (1) wirkt und dass die Kühlkurven (F2) für die auf die Oberseite des Walzgutes (1) wirkenden Kühleinrichtungen (6) miteinander übereinstimmen.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein weiterer Teil der Kühleinrichtungen (7) auf die Unterseite des Walzgutes (1) wirkt und dass die Kühlkurven (F3) für die auf die Unterseite des Walzgutes (1) wirkenden Kühleinrichtungen (7) miteinander übereinstimmen.

5. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kühlkurven (F2) für die auf die Oberseite des Walzgutes (1) wirkenden Kühleinrichtungen (6) einerseits und die Kühlkurven (F3) für die auf die Unterseite des Walzgutes (1) wirkenden Kühleinrichtungen (7) andererseits miteinander übereinstimmen oder verschieden voneinander sind.

6. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anfangsort (xA) vor der Kühlstrecke (2) oder in der Kühlstrecke (2) liegt.

7. Betriebsverfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass am Anfangsort (xA) ein Temperaturmessplatz (4) angeordnet ist, mittels dessen eine Temperatur (T) des entsprechenden Abschnittes (15) des Walzgutes (1) erfasst wird und dass der Zustand (E) des Walzgutpunktes (P) am Anfangsort (xA) anhand der erfassten Temperatur (T) ermittelt wird.

8. Betriebsverfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass am Anfangsort (xA) kein Temperaturmessplatz angeordnet ist.

9. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Zielort (xZ) in der Kühlstrecke (2) oder hinter der Kühlstrecke (2) liegt.

10. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach dem Anpassen der Gesamtkühlfunktion (F1) für denselben Walzgutpunkt (P) nochmals die auf das Herausgreifen des Walzgutpunktes (P) folgenden Schritte ausgeführt werden.

11. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Ansteuerung der Kühleinrichtungen (6, 7) Verzögerungszeiten (t1, t2) der Kühleinrichtungen (6, 7) berücksichtigt werden.

12. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kühleinrichtungen (6, 7) Verzögerungszeiten (t1, t2) aufweisen, dass die auf das Herausgreifen des jeweiligen Walzgutpunktes (P) folgenden Schritte zu einem Abschlusszeitpunkt abgeschlossen werden, dass der korrespondierende Abschnitt (15) des realen Walzgutes (1), ausgehend vom Anfangsort (xA), den Wirkbereich (8, 9) der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) zu einem Kühlbeginnzeitpunkt erreicht und dass eine zeitliche Differenz zwischen dem Abschlusszeitpunkt und dem Kühlbeginnzeitpunkt mindestens so groß wie die Verzögerungszeit (t1, t2) der nächsten freigegebenen Kühleinrichtung (6, 7) ist.

13. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** während des Transports der Abschnitte (15) des Walzgutes (1) durch die Kühlstrecke (2) mit dem Arbeitstakt (öt') unter Berücksichtigung der Ansteuerung der Kühleinrichtungen (6, 7) in Echtzeit die Zustände (E) der durch die Kühlstrecke (2) transportierten Abschnitte (15) des Walzgutes (1) mitgerechnet werden,
- **dass** an einem Temperaturmessplatz (21) eine tatsächliche Temperatur (T) des den Temperaturmessplatz (21) jeweils passierenden Abschnittes (15) des Walzgutes (1) erfasst wird und
- **dass** die jeweils erfasste Temperatur (T) mit einer anhand des mitgerechneten Zustands (E) ermittelten erwarteten Temperatur für diesen Abschnitt (15) verglichen wird und anhand des Vergleichs mindestens ein Parameter (k) des Modells (16) nachgeführt wird.

14. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass es, bezogen auf die Erstreckung der Kühlstre-

cke (2), mehrmals in jeweiligen Bereichen (18, 19) der Kühlstrecke (2) angewendet wird.

15. Betriebsverfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen den Bereichen (18, 19) der Kühlstrecke (2), in denen das Betriebsverfahren jeweils angewendet wird, ein Zwischenabschnitt (20) liegt, in dem das Walzgut (1) nicht aktiv gekühlt wird.

16. Betriebsverfahren nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bereiche (18, 19) der Kühlstrecke (2), in denen das Betriebsverfahren jeweils angewendet wird, einander überlappen.

17. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Gesamtkühlfunktion (F1) abhängig oder unabhängig vom Zustand (E) des herausgegriffenen Walzgutpunktes (P) am Anfangsort (xA) ist.

18. Computerprogramm, das Maschinencode (14) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (11) für eine Kühlstrecke (2) abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (14) durch die Steuereinrichtung (11) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (11) die Kühlstrecke (2) gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

19. Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke (2), wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (12) nach Anspruch 18 programmiert ist.

20. Kühlstrecke zum Kühlen eines flachen Walzgutes (1),

- wobei die Kühlstrecke eine Vielzahl von Kühleinrichtungen (6, 7) aufweist, mittels derer jeweils ein in einem Wirkbereich (8, 9) der jeweiligen Kühleinrichtung (6, 7) befindlicher Abschnitt (15) des Walzgutes (1) mit einer jeweiligen Kühlmittelmenge beaufschlagt wird,
- wobei die Kühlstrecke eine Transporteinrichtung (5) aufweist, von der das Walzgut (1) durch die Kühlstrecke transportiert wird, so dass die Abschnitte (15) des Walzgutes (1) die Wirkbereiche (8, 9) der Kühleinrichtungen (6, 7) nacheinander durchlaufen,
- wobei die Kühlstrecke eine Steuereinrichtung (11) aufweist, welche die Kühlstrecke gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17 betreibt.

FIG 1

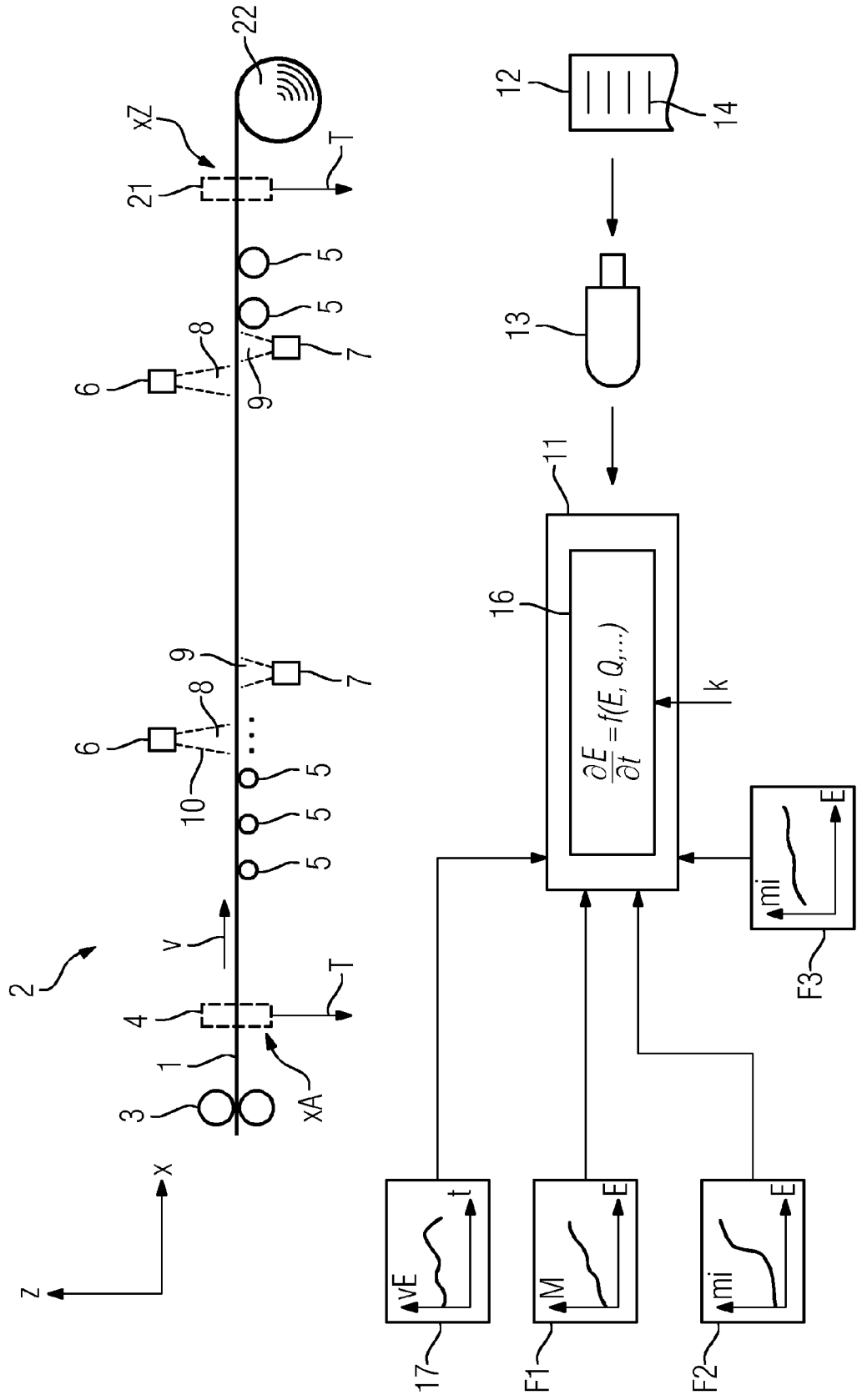

22
xZ
21
T
5
5
8
6
9
7
9
8
6
10
7
5
5
5
2
v
T
4
1
3
xA
x
z
12
14
13
11
16
$\frac{\partial E}{\partial t} = f(E, Q, ...)$
k
mi
E
F3
vE
t
M
E
mi
E
17
F1
F2

FIG 2

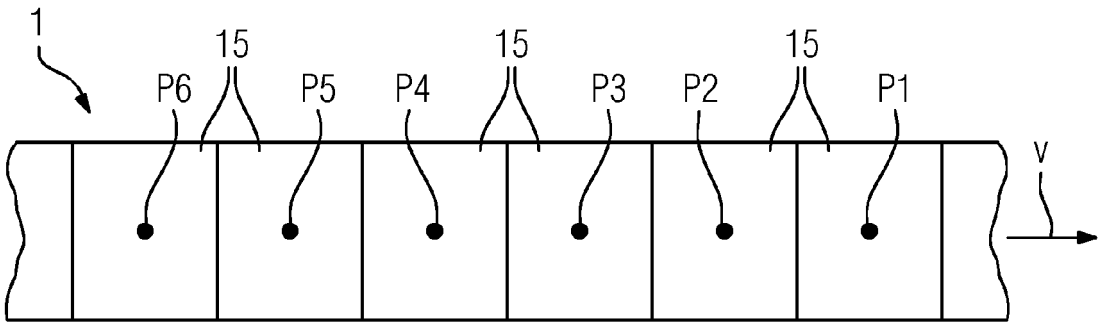

1
15
15
15
P6
P5
P4
P3
P2
P1
v

FIG 3

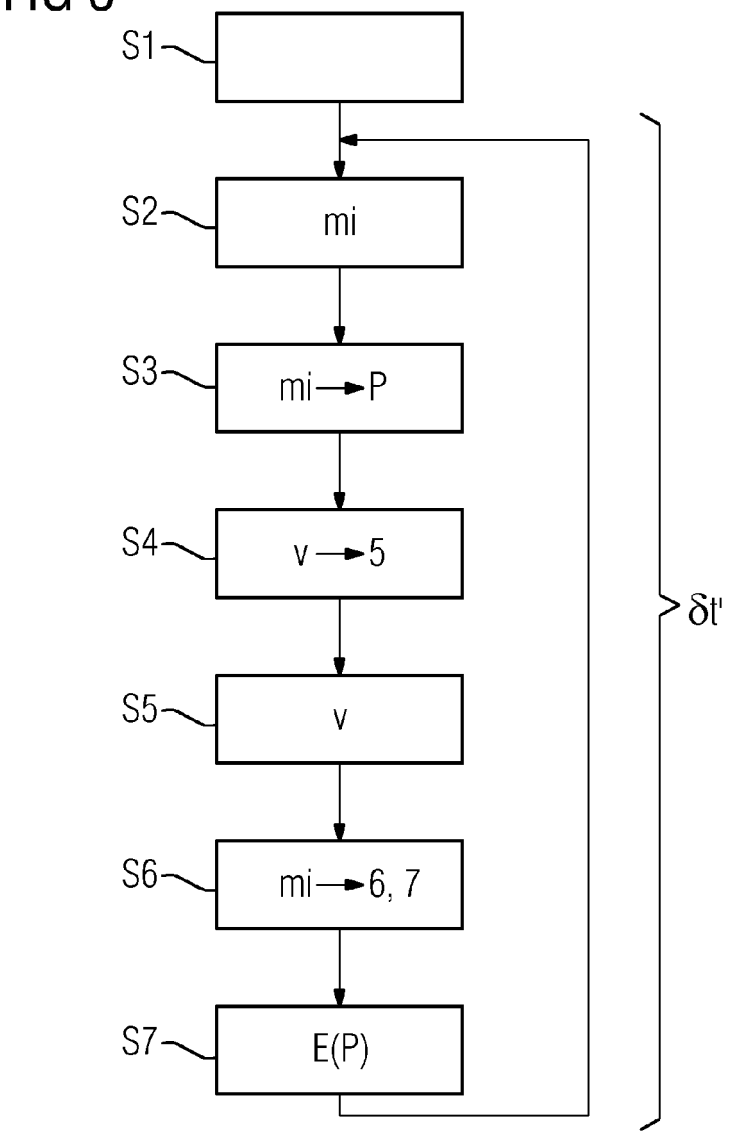

S1
S2
mi
S3
mi → P
S4
v → 5
S5
v
S6
mi → 6, 7
S7
E(P)
δt'

FIG 4

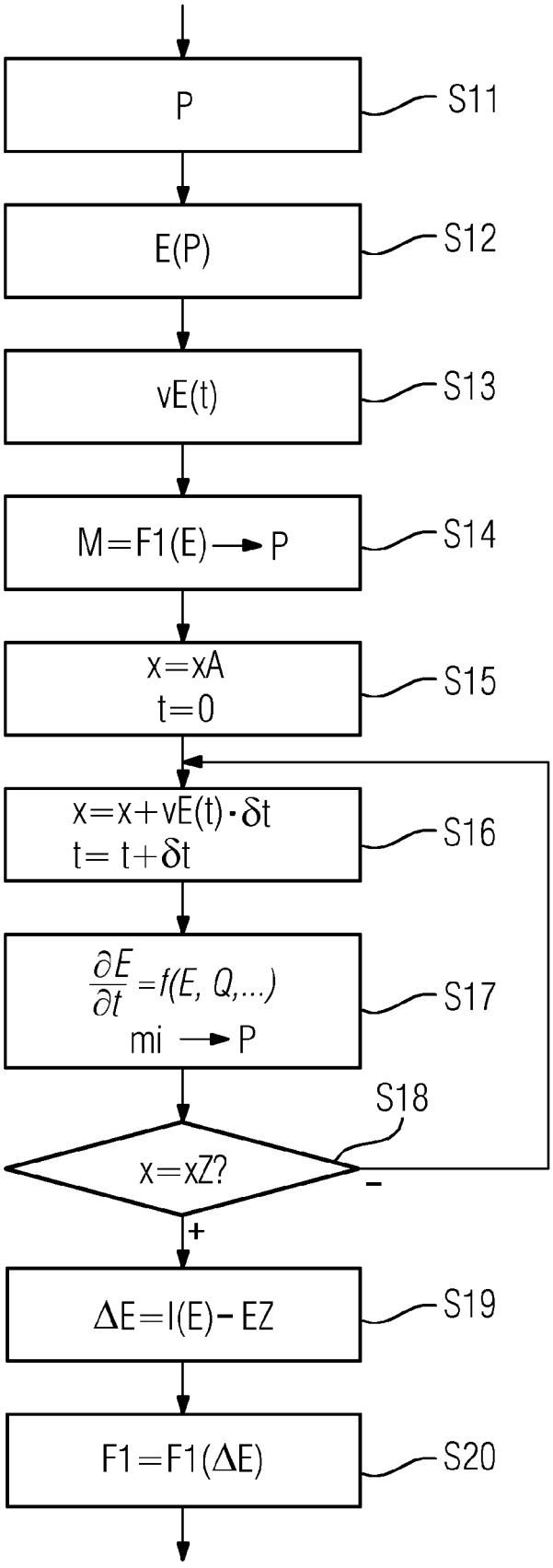

P
S11
E(P)
S12
vE(t)
S13
M=F1(E)→P
S14
x=xA
t=0
S15
x=x+vE(t)·δt
t= t+δt
S16
∂E/∂t =f(E, Q,...)
mi →P
S17
S18
x=xZ?
-
+
ΔE=I(E)- EZ
S19
F1=F1(ΔE)
S20

FIG 5

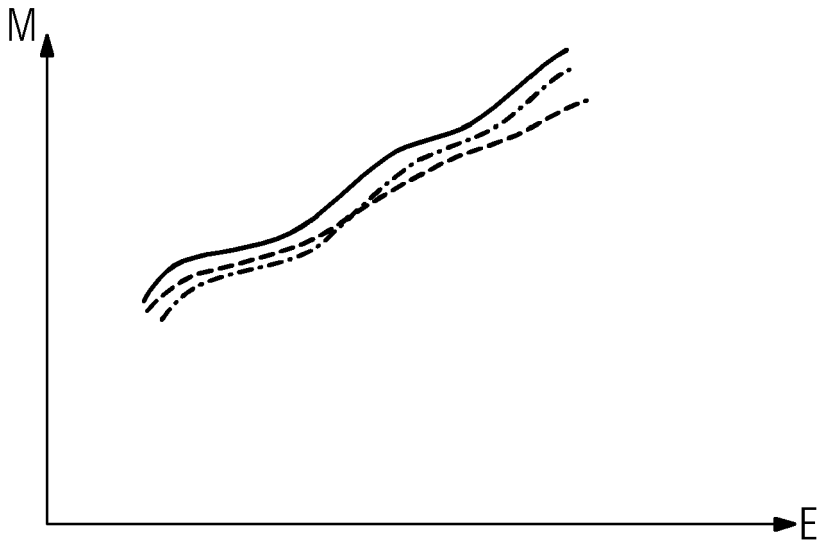


FIG 6

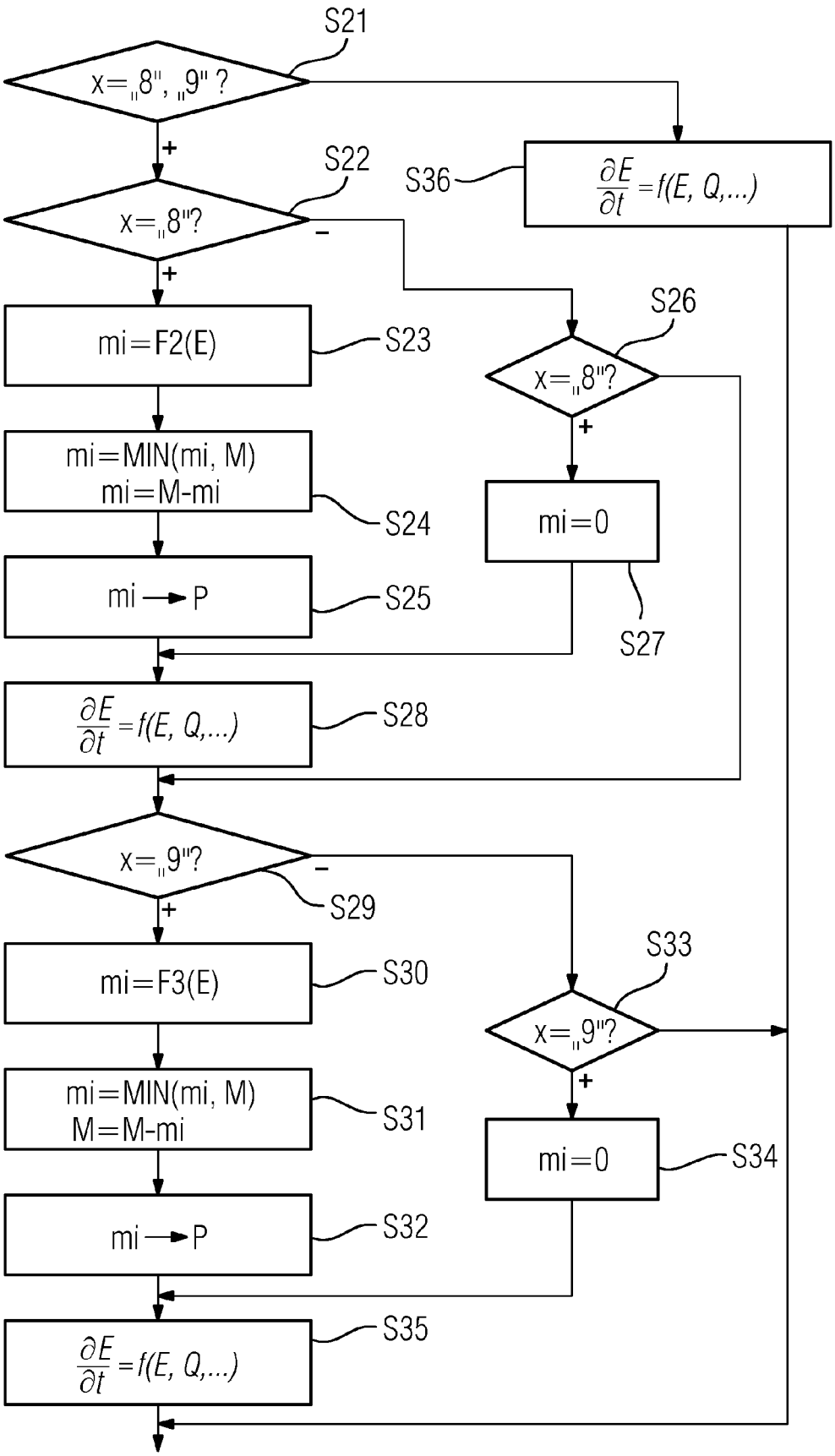

S21
x="8", "9" ?
+
S22
x="8"?
+
S23
mi=F2(E)
S24
mi=MIN(mi, M)
mi=M-mi
S25
mi → P
S28
∂E/∂t = f(E, Q,...)
S29
x="9"?
+
S30
mi=F3(E)
S31
mi=MIN(mi, M)
M=M-mi
S32
mi → P
S35
∂E/∂t = f(E, Q,...)
−
S36
∂E/∂t = f(E, Q,...)
−
S26
x="8"?
+
mi=0
S27
S33
x="9"?
+
mi=0
S34

FIG 7

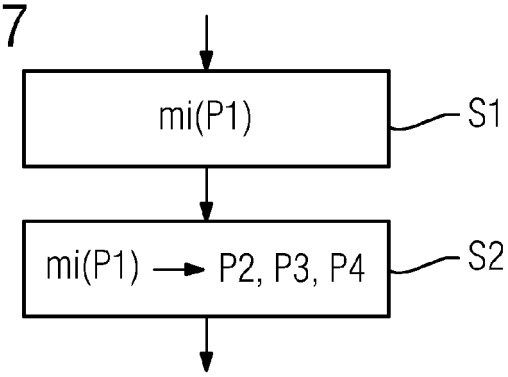


FIG 8

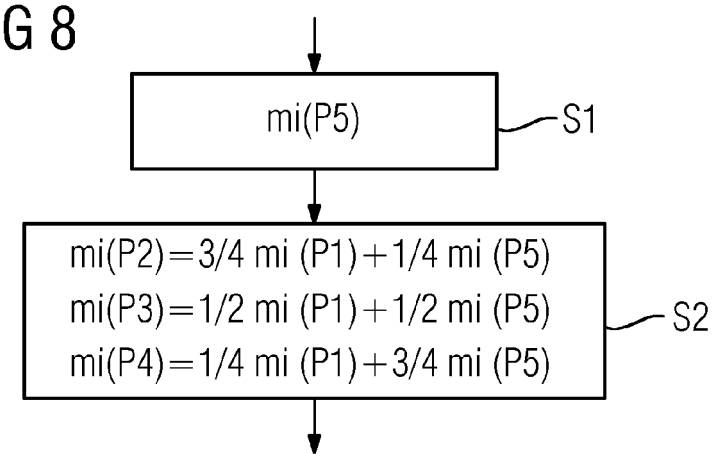


FIG 9

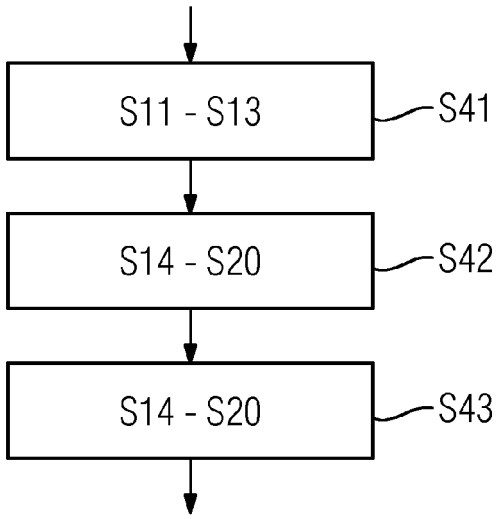


FIG 10

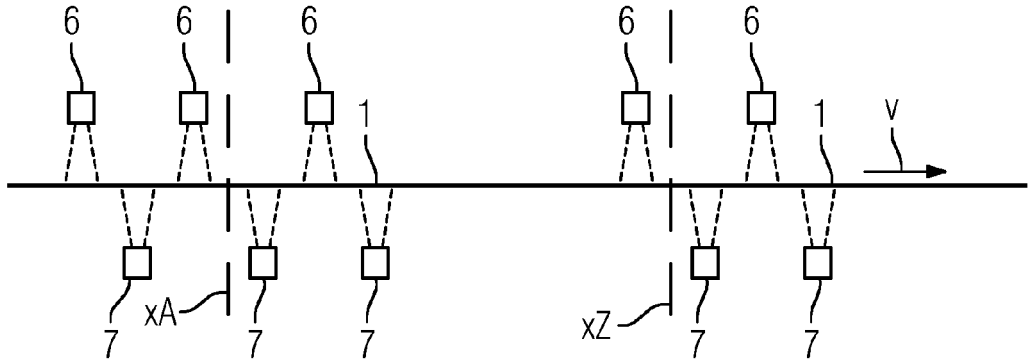


FIG 11

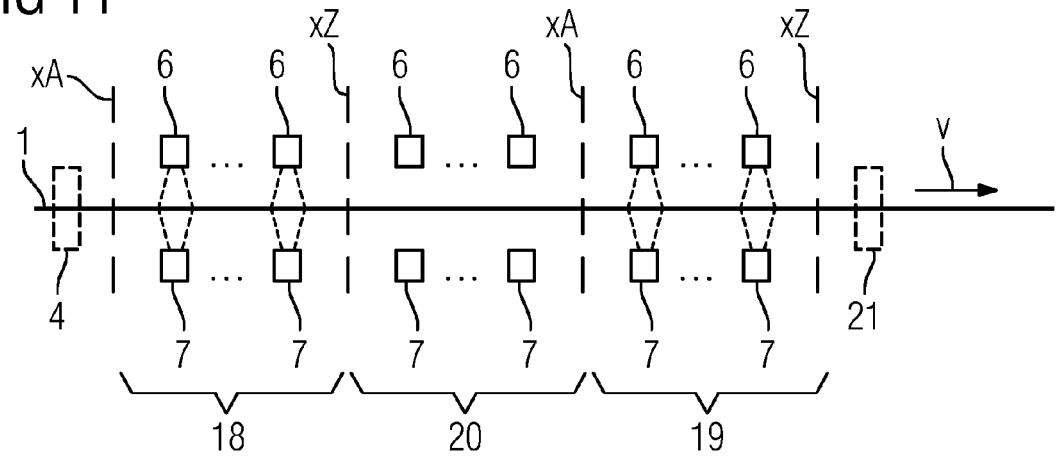


FIG 12

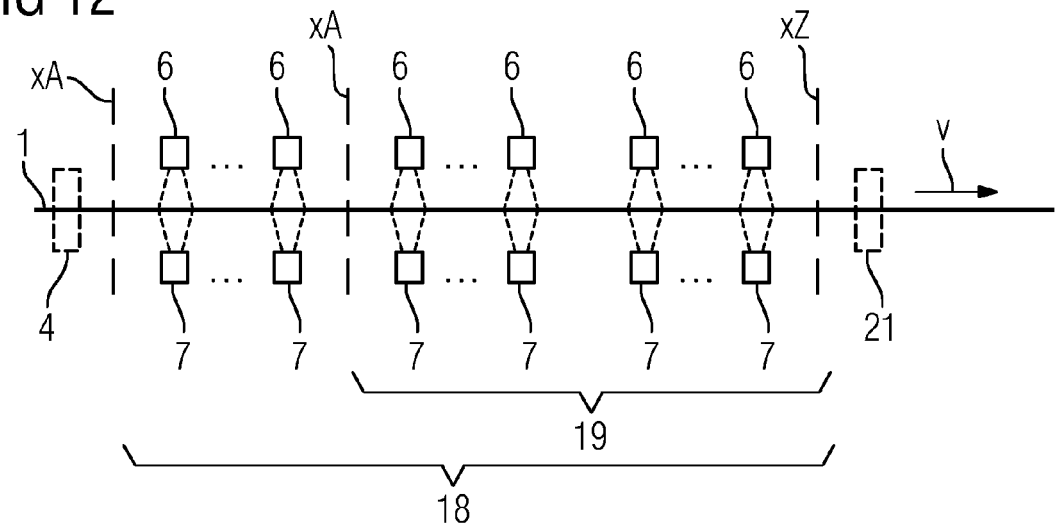


FIG 13

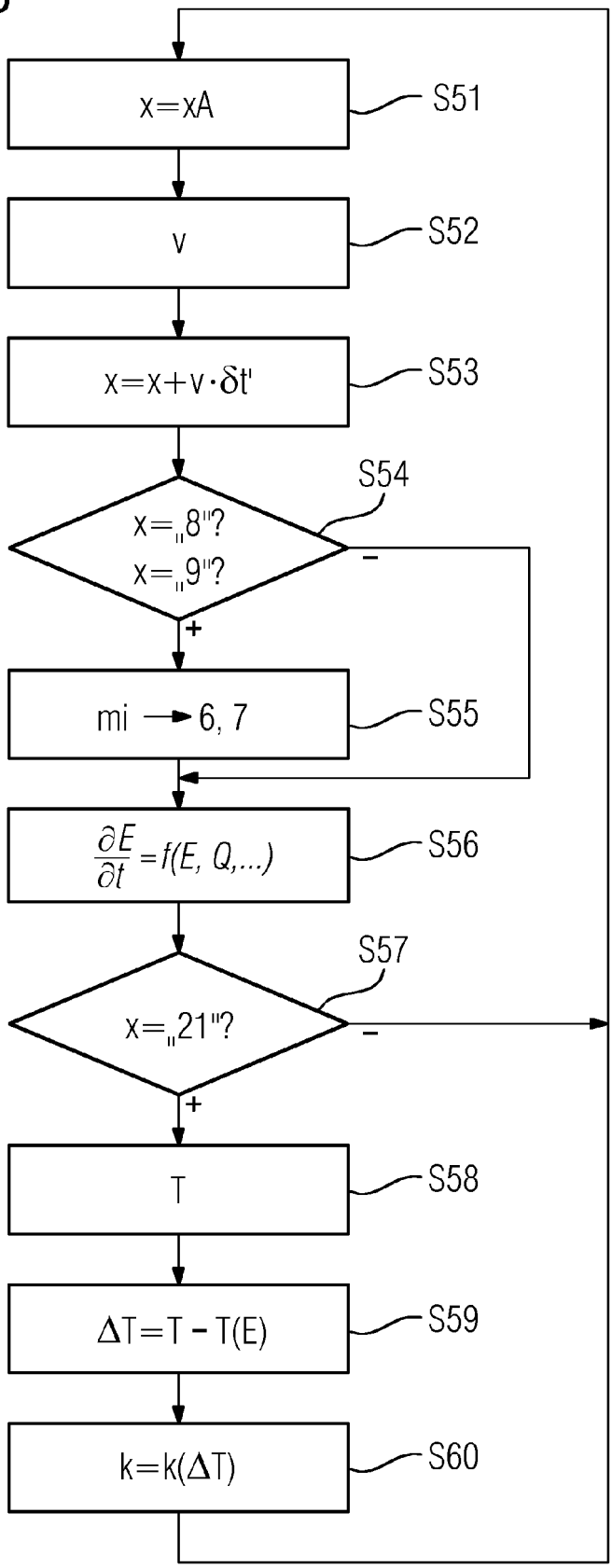

x=xA
S51
v
S52
x=x+v·δt'
S53
S54
x="8"?
x="9"?
-
+
mi → 6, 7
S55
∂E/∂t = f(E, Q,...)
S56
S57
x="21"?
-
+
T
S58
ΔT=T - T(E)
S59
k=k(ΔT)
S60

FIG 14

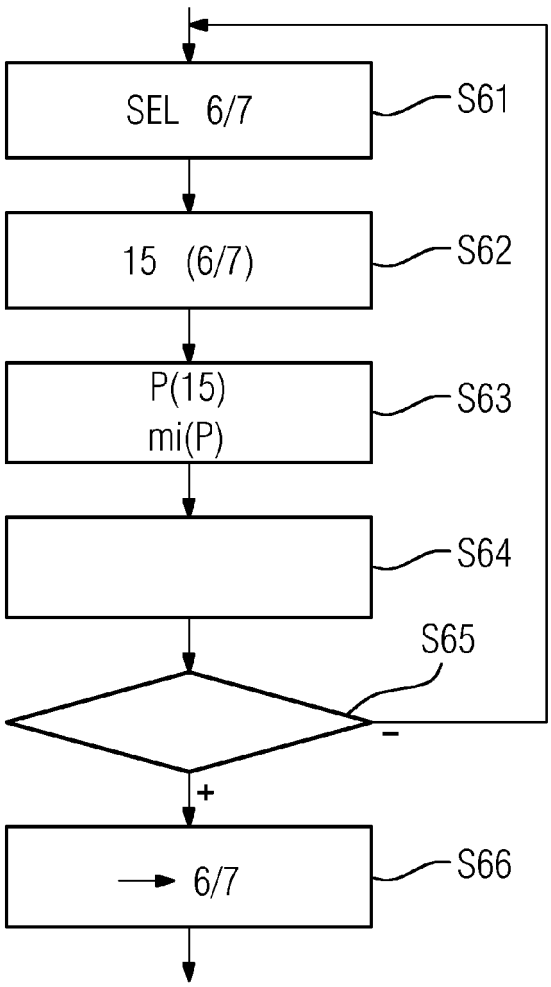
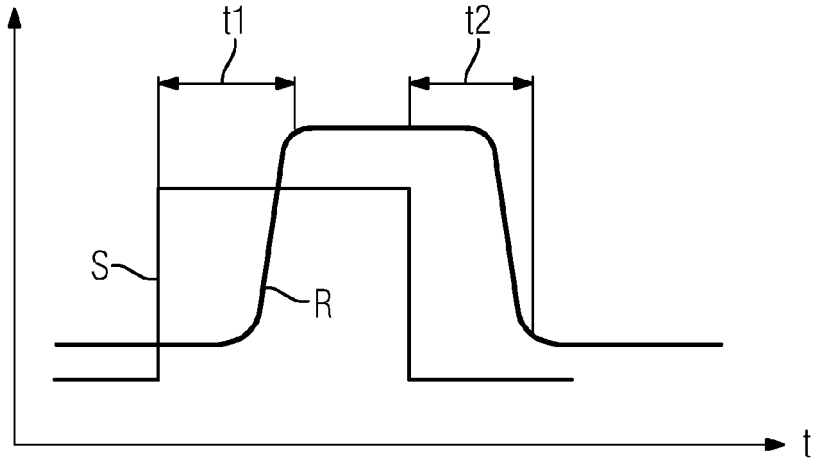


FIG 15



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 13 19 3234

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	DE 199 63 186 A1 (SIEMENS AG [DE]) 12. Juli 2001 (2001-07-12) * Ansprüche 1-15; Abbildungen 1-4 *	1-20	INV. B21B37/76 C21D11/00
A	EP 2 540 404 A1 (SIEMENS AG [DE]) 2. Januar 2013 (2013-01-02) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-5 *	1,18-20	
A	WO 03/045599 A1 (SIEMENS AG [DE]; WEINZIERL KLAUS [DE]; METZGER MICHAEL [DE]; KURZ MATT) 5. Juni 2003 (2003-06-05) * Ansprüche 1-19; Abbildungen 1-5 *	1,18-20	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

B21B
C21D

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	20. März 2014	Forciniti, Marco

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 13 19 3234

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.

20-03-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19963186 A1	12-07-2001	AT 261498 T	15-03-2004
		CN 1425076 A	18-06-2003
		DE 19963186 A1	12-07-2001
		EP 1244816 A2	02-10-2002
		ES 2217028 T3	01-11-2004
		PT 1244816 E	31-08-2004
		US 2003089431 A1	15-05-2003
		WO 0147648 A2	05-07-2001
EP 2540404 A1	02-01-2013	CN 103619501 A	05-03-2014
		EP 2540404 A1	02-01-2013
		EP 2712332 A1	02-04-2014
		WO 2013000677 A1	03-01-2013
WO 03045599 A1	05-06-2003	AT 440681 T	15-09-2009
		CN 1589184 A	02-03-2005
		DE 10156008 A1	05-06-2003
		EP 1444059 A1	11-08-2004
		JP 2005510359 A	21-04-2005
		RU 2291750 C2	20-01-2007
		US 2004205951 A1	21-10-2004
		WO 03045599 A1	05-06-2003

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0997203 B1 **[0008]**
- US 6185970 B1 **[0008]**
- DE 19963186 A1 **[0009]**
- US 20030089431 A1 **[0009]**
- EP 2361699 A1 **[0010]**
- US 20120318478 A1 **[0010]**
- DE 10129565 A1 **[0057]**
- WO 2011138067 A2 **[0065]**