

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

Gebiet der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für einen Abschnitt einer Warmwalzstraße,

- wobei einer Steuereinrichtung für den Abschnitt der Warmwalzstraße für eine Vielzahl von Walzgütern jeweilige Primärdaten und jeweilige vorläufige Sollwerte für Zielgrößen des jeweiligen Walzguts zugeführt werden,
- wobei die jeweiligen Primärdaten das jeweilige Walzgut vor dem Zuführen zu dem Abschnitt der Warmwalzstraße beschreiben und die jeweiligen vorläufigen Sollwerte der Zielgrößen einen nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße angestrebten Sollzustand des jeweiligen Walzguts beschreiben,
- wobei die Steuereinrichtung Betriebswerte für den Abschnitt der Warmwalzstraße derart ermittelt, dass das jeweilige Walzgut nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße endgültige Sollwerte der Zielgrößen so gut wie möglich erreicht,
- wobei die Steuereinrichtung den Abschnitt der Warmwalzstraße beim Behandeln des jeweiligen Walzguts entsprechend den ermittelten Betriebswerten betreibt.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Computerprogramm für eine Steuereinrichtung eines Abschnitts einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern, wobei das Computerprogramm Maschinencode umfasst, der von der Steuereinrichtung abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung ein derartiges Betriebsverfahren ausführt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung eines Abschnitts einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein derartiges Betriebsverfahren ausführt.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Abschnitt einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern, wobei der Abschnitt der Warmwalzstraße von einer derartigen Steuereinrichtung gesteuert wird.

Stand der Technik

[0005] In dem Abschnitt der Warmwalzstraße wird nacheinander eine Vielzahl von flachen Walzgütern behandelt. Die Primärdaten und die Sollwerte für die Zielgrößen des jeweiligen Walzguts werden einem Modell

des Abschnitts der Warmwalzstraße zugeführt. Mittels des Modells werden Betriebswerte für den Abschnitt der Warmwalzstraße derart ermittelt, dass das jeweilige Walzgut nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße die Sollwerte der Zielgrößen so gut wie möglich erreicht.

[0006] Beispielsweise kann eine Warmwalzstraße eine Fertigstraße aufweisen, der eine Kühlstrecke nachgeordnet ist. Wenn die Kühlstrecke als Abschnitt der Warmwalzstraße betrachtet wird, kann beispielsweise eine der Zielgrößen die Haspeltemperatur sein, welche das flache Walzgut nach dem Durchlaufen der Kühlstrecke aufweisen soll. Der zugehörige Sollwert kann beispielsweise 600 °C sein. Der zugehörige Betriebswert kann die Anzahl an Ventilen sein, die geschaltet werden muss, um die erforderliche Abkühlung des flachen Walzguts zu bewirken. Die Anzahl an geschalteten Ventilen ist in diesem Fall das Stellglied. Der entsprechende Betriebswert kann beispielsweise bei 10 Ventilen liegen.

[0007] Es kann auch eine andere Zielgröße vorgegeben sein, beispielsweise eine bestimmte Materialeigenschaft des flachen Walzguts. Beispiele derartiger Materialeigenschaften sind die Dehngrenze, die Streckgrenze, die Bruchfestigkeit und andere mehr. In diesem Fall sind völlig analoge Vorgehensweisen möglich, wobei jedoch ergänzend in diesem Fall auch die Haspeltemperatur als Betriebswert des Abschnitts der Warmwalzstraße angesehen werden kann.

[0008] Während des Durchlaufs des jeweiligen flachen Walzguts durch den Abschnitt der Warmwalzstraße werden Messungen vorgenommen. Anhand der Messungen werden Stellgrößen des Abschnitts der Warmwalzstraße nachgeführt. Wenn beispielsweise als Zielgröße eine Haspeltemperatur von 600 °C vorgegeben ist und die Stellgröße die Anzahl an geschalteten Ventilen ist, kann ab dem Zeitpunkt, zu dem der Anfang des jeweiligen flachen Walzguts einen der Kühlstrecke nachgeordneten Temperaturmessplatz erreicht, die Haspeltemperatur erfasst werden. Ergibt sich in diesem Fall eine Abweichung, wird die Ansteuerung der Ventile der Kühlstrecke nachgeführt. Weist die entsprechende Stelle des flachen Walzguts beispielsweise nicht 600 °C auf, sondern 610 °C, wird ein weiteres Ventil zugeschaltet, so dass das flache Walzgut über 11 Ventile gekühlt wird. Weist die entsprechende Stelle des flachen Walzguts umgekehrt nicht 600 °C auf, sondern 590 °C, wird ein Ventil abgeschaltet, so dass das flache Walzgut nur über 9 Ventile gekühlt wird.

[0009] Nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße kann weiterhin eine Beprobung des nunmehr behandelten flachen Walzguts erfolgen. Beispielsweise kann eine Materialprobe entnommen werden und hinsichtlich mikroskopischer Materialeigenschaften wie beispielsweise Gefüge oder Korngröße und makroskopischer Materialeigenschaften wie beispielsweise Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung untersucht werden.

[0010] Es wird nun versucht, anhand der erfassten tat-

sächlichen Haspeltemperatur oder anhand der Materialeigenschaften in Verbindung mit den tatsächlichen Betriebswerten Korrekturwerte für Primärdaten und Korrekturwerte für Betriebswerte zu ermitteln. Primärdaten werden korrigiert, wenn angenommen werden muss, dass das eigentlich gewünschte Material, wie es durch die Sollwerte der Zielgrößen definiert ist, auch durch Anpassung der Betriebswerte nicht hergestellt werden kann. Korrekturwerte für Betriebswerte werden ermittelt, wenn angenommen werden kann, dass das eigentlich gewünschte Material, wie es durch die Sollwerte der Zielgrößen definiert ist, zwar hergestellt werden kann, hierfür aber eine Anpassung der Betriebswerte erforderlich ist. Eine Anpassung der Betriebswerte kann beispielsweise erforderlich sein, wenn sich die Primärdaten geändert haben, aber dennoch weiterhin die Sollwerte der Zielgrößen erreicht werden sollen.

[0011] Um die erforderlichen Anpassungen der Betriebswerte zielführend ermitteln zu können, ist es erforderlich, die Sensitivitäten zu kennen, mit denen bestimmte Betriebsgrößen bestimmte Zielgrößen beeinflussen. Es muss also bekannt sein, in welchem Ausmaß sich ein Wert einer bestimmten Zielgröße ändert, wenn ein Betriebswert einer bestimmten Betriebsgröße um einen bestimmten Wert geändert wird.

[0012] Im Stand der Technik wurde versucht, derartige Beziehungen zu ermitteln. Beispielsweise wurde versucht, ein Modell der Kühlstrecke einer Warmwalzstraße zu erstellen, mittels dessen bei gegebenen Primärdaten und gegebenen Betriebswerten die sich ergebenden Zielgrößen ermittelt werden können. Die Zielgrößen waren beispielsweise makroskopische Materialeigenschaften wie Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung. Durch entsprechendes Variieren der Betriebswerte konnten dann "korrekte" Betriebswerte ermittelt werden, um die gewünschten Zielgrößen zu erreichen. Das Modell der Kühlstrecke war in manchen Fällen ein analytisches Modell, das auf mathematischphysikalischen Gleichungen basierte. In anderen Fällen wurde ein derartiges analytisches Modell durch ein neuronales Netz korrigiert, ergänzt oder ersetzt. Das neuronale Netz musste natürlich entsprechend trainiert werden.

[0013] Das Modell wurde beispielsweise verwendet, um vor dem Durchlauf des jeweiligen flachen Walzguts durch die Kühlstrecke eine Haspeltemperatur zu berechnen, die das jeweilige flache Walzgut aufweisen sollte, um die gewünschten makroskopischen Materialeigenschaften aufzuweisen. Das jeweilige flache Walzgut wurde sodann in der Kühlstrecke derart gekühlt, dass es die ermittelte Haspeltemperatur aufwies.

[0014] Die Vorgehensweise des Standes der Technik weist erhebliche systematische Fehler auf. Insbesondere werden bereits während des Durchlaufs des jeweiligen flachen Walzguts durch den Abschnitt der Warmwalzstraße ständig über Regelkreise Stellgrößen nachgeführt. Beispielsweise wird im Falle einer Kühlstrecke die Haspeltemperatur erfasst und die Menge an Kühlwasser nachgeführt, die auf das jeweilige flache Walzgut aufge-

bracht wird. Dadurch wird der ermittelte Sollwert der Haspeltemperatur so gut wie möglich eingehalten. Im Ergebnis fallen dadurch im Stand der Technik nur sehr wenige Datensätze an, bei denen (beispielsweise) die Haspeltemperatur von ihrem Sollwert abweicht. Dadurch können zwar die Sollwerte für die Zielgröße für den einen gegebenen Zielpunkt recht genau ermittelt werden. Das Modell wird jedoch sehr schnell ungenau und fehlerhaft, wenn andere Sollwerte für die Zielgrößen vorgegeben werden und/oder andere Primärdaten vorliegen. Es kann sogar vorkommen, dass Korrekturen in die falsche Richtung vorgenommen werden, dass also beispielsweise bei einem Erhöhen der gewünschten Zugfestigkeit das Modell ein Verringern der Haspeltemperatur ermittelt, obwohl die Haspeltemperatur erhöht werden müsste. Die Berechnung der Korrektur ist damit sehr schwierig. Eine Reduktion einer etwaigen Streuung lässt sich nicht oder nur sehr schwer erreichen.

[0015] Die Problematik des Standes der Technik wird nachstehend anhand eines Beispiels verdeutlicht.

[0016] Man nehme im Falle einer Kühlstrecke an, alle flachen Walzgüter bestehen aus Stahl, weisen dieselben Primärdaten auf (beispielsweise gleiche chemische Zusammensetzung, Endwalzdicke 3 mm, Endwalztemperatur 900 °C, Endwalzgeschwindigkeit 10 m/s usw.) und sollen auf die gleiche Haspeltemperatur von 600 °C gekühlt werden. Die Kühlung wird dann so eingestellt, dass sich diese 600 °C ergeben. Rein beispielhaft wird nachfolgend angenommen, dass hierfür die ersten 10 Ventile der Kühlstrecke angeschaltet werden müssen. Die tatsächliche Haspeltemperatur wird auslaufseitig der Kühlstrecke messtechnisch erfasst.

[0017] Wenn nun - egal aus welchen Gründen - bei einem Abschnitt des flachen Walzguts eine unerwartete Abweichung der erfassten Haspeltemperatur von der gewünschten Haspeltemperatur auftritt, wird korrigierend in die Kühlung eingegriffen, so dass für nachfolgende Abschnitte des flachen Walzguts die erfasste Haspeltemperatur auf die gewünschte Haspeltemperatur geregelt wird. Ist die erfasste Haspeltemperatur zu hoch, wird also (mindestens) ein Ventil zugeschaltet oder weiter angesteuert. Ist die Haspeltemperatur umgekehrt zu niedrig, wird (mindestens) ein Ventil abgeschaltet oder weniger angesteuert.

[0018] Im Rahmen einer nachgelagerten statistischen Analyse trägt man das Ausmaß an Kühlung (beispielsweise die Anzahl der geschalteten Ventile) und die jeweils gemessene Haspeltemperatur in ein Diagramm ein. In dem Diagramm zeigt beispielsweise das Ausmaß an Kühlung in Richtung der x-Achse, die Haspeltemperatur in die Richtung der y-Achse. Sodann ermittelt man eine Regressionsgerade.

[0019] Wenn - beispielsweise - nur Datenpunkte mit 9, 10 und 11 geschalteten Ventilen auftreten, kann zunächst nicht ohne weiteres ermittelt werden, welche Kühlwirkung auftritt, wenn beispielsweise 8 oder weniger Ventile einerseits oder 12 oder mehr Ventile andererseits geschaltet sind. Aber auch die statistische Analyse für

9, 10 und 11 geschaltete Ventile führt zu einem falschen und irreführenden Ergebnis. Denn aufgrund der Regelung der Kühlung in der Kühlstrecke weisen die Datenpunkte im wesentlichen alle eine Haspeltemperatur von 600 °C auf. Aus dem Diagramm ist daher nicht erkennbar, dass ein Zuschalten oder Abschalten von Ventilen überhaupt einen Einfluss auf die Kühlwirkung hat. Im Gegenteil vermittelt das Diagramm den Eindruck, dass ein Zuschalten oder Abschalten von Ventilen keinen Einfluss auf die Kühlwirkung hat. Dies ist offensichtlich falsch. Denn der Einfluss ist selbstverständlich gegeben. Aus dem Diagramm ist er jedoch nicht erkennbar.

Zusammenfassung der Erfindung

[0020] Im Vorfeld der vorliegenden Erfindung wurde erkannt, dass die Problematik des Standes der Technik darin besteht, dass das Zuschalten und das Abschalten von Ventilen nicht statistisch unabhängig vom tatsächlichen Zustand des jeweiligen flachen Walzguts vor dem Durchlaufen der Kühlstrecke ist. Dies wird nachstehend näher erläutert.

[0021] Wenn die Primärdaten vollständig korrekt sind und das Modell vollständig korrekt ist, wären die Modellrechnung und die hierauf basierende Ansteuerung der Ventile der Kühlstrecke korrekt. Da jedoch Korrekturen auftreten, muss an irgendeiner Stelle eine Störung aufgetreten sein. Die Störung als solche muss nicht bekannt sein. Sie ist aber vorhanden. Diese Störung wird durch das Nachführen der Kühlung in der Kühlstrecke ausgeglichen. Damit aber ist das Nachführen der Kühlung stochastisch von der Störung abhängig. Die in dem Diagramm ersichtliche Korrelation zeigt daher die Korrelation zwischen der Haspeltemperatur einerseits und dem Ausmaß an Kühlung einschließlich der aufgetretenen Störung andererseits. Um die Sensitivität der Haspeltemperatur vom Ausmaß an Kühlung zu ermitteln, müsste die Störung jedoch eliminiert werden. Es müsste also die Korrelation zwischen der Haspeltemperatur einerseits und dem Ausmaß an Kühlung ohne die aufgetretene Störung andererseits ermittelt werden.

[0022] Um die Störung zu eliminieren, ist es theoretisch denkbar, die Regelung abzuschalten, die tatsächliche Haspeltemperatur also hinzunehmen, wie sie ist. Dies ist in der Praxis jedoch nicht ohne weiteres möglich, da durch das Abschalten derartiger Regelungen erhebliche Abweichungen von den gewünschten Zielgrößen - direkt der Haspeltemperatur und in der Folge von Materialeigenschaften - entstehen können. Es wird minderwertiges und eventuell sogar nicht verkaufsfähiges Material produziert. In der Praxis müssen daher andere Wege gefunden werden, um die Sensitivität zu ermitteln.

[0023] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer die Sensitivität einer besonderen Zielgröße flacher Walzgüter von Betriebsgrößen eines Abschnitts einer Warmwalzstraße ermittelt werden kann.

[0024] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren

für einen Abschnitt einer Warmwalzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 6.

[0025] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass mindestens eine der Zielgrößen eine besondere Zielgröße ist und die verbleibenden Zielgrößen normale Zielgrößen sind,
- dass die Steuereinrichtung für die besonderen Zielgrößen den jeweiligen endgültigen Sollwert dadurch ermittelt, dass sie den jeweiligen vorläufigen Sollwert um einen jeweiligen Offset verändert, der unabhängig von den Primärdaten, den anderen besonderen Zielgrößen und den normalen Zielgrößen für das jeweilige Walzgut bestimmt ist,
- dass die Offsets, bezogen auf die jeweilige besondere Zielgröße, über die Gesamtheit von Walzgütern gesehen mehrere verschiedene Werte aufweisen und
- dass die Steuereinrichtung für die normalen Zielgrößen den jeweiligen vorläufigen Sollwert unverändert als jeweiligen endgültigen Sollwert übernimmt.

[0026] Im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem die Steuereinrichtung die vorläufigen Sollwerte aller Zielgrößen 1:1 als endgültige Sollwerte übernimmt, wird diese Vorgehensweise im Rahmen der vorliegenden Erfindung nur für die normalen Zielgrößen ergriffen. Für die besonderen Zielgrößen hingegen werden die vorläufigen Sollwerte um Offsets verändert. Dadurch ergeben sich über mehrere gleichartige Walzgüter gesehen für die jeweilige Zielgröße mehrere Sollwerte, die stochastisch sowohl von den Sollwerten der anderen Zielgrößen als auch von den anderen Primärdaten unabhängig sind. Auch bei gleichem vorläufigem Sollwert einer bestimmten besonderen Zielgröße ergeben sich somit mehrere endgültige Sollwerte.

[0027] Dadurch, dass die endgültigen Sollwerte der jeweiligen besonderen Zielgröße stochastisch unabhängig von den Primärdaten und den anderen Zielgrößen sind, wird erzwungen, dass auch die Variation der zugehörigen Betriebswerte stochastisch nur noch von dem jeweiligen endgültigen Sollwert der besonderen Zielgröße abhängig ist.

[0028] Dadurch ergibt sich für den jeweiligen Mittelwert der zugehörigen Betriebswerte eine funktionale Abhängigkeit nur noch vom jeweiligen endgültigen Sollwert der jeweiligen besonderen Zielgröße. Erst diese Vorgehensweise führt dazu, dass anhand der Mittelwerte der Betriebswerte und der jeweils zugehörigen endgültigen Sollwerte der jeweiligen besonderen Zielgröße ein sinnvoller Wert für die Sensitivität der jeweiligen besonderen Zielgröße von der jeweiligen Betriebsgröße ermittelt werden kann.

[0029] Während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts durch den Abschnitt der Warmwalzstraße wird der

Steuereinrichtung ein Istwert einer Zustandsgröße des Walzguts zugeführt, beispielsweise die jeweilige Haspeltemperatur. Es ist möglich, dass die Zustandsgröße eine der besonderen Zielgrößen ist, so dass ein Sollwert der Zustandsgröße mit dem endgültigen Sollwert dieser besonderen Zielgröße übereinstimmt. Ein derartiger Fall liegt beispielsweise vor, wenn direkt ein Sollwert für die Haspeltemperatur vorgegeben wird. Alternativ ist es möglich, dass die Zustandsgröße mit der mindestens einen besonderen Zielgröße korreliert ist, so dass ein Sollwert der Zustandsgröße durch den endgültigen Sollwert der mindestens einen besonderen Zielgröße bestimmt ist. Ein derartiger Fall liegt beispielsweise vor, wenn der Sollwert für die Haspeltemperatur derart bestimmt wird, dass das flache Walzgut eine bestimmte Materialeigenschaft (= besondere Zielgröße) aufweist. Die Steuereinrichtung kann in manchen Fällen bei einer Abweichung des Istwertes der Zustandsgröße von Sollwert der Zustandsgröße mindestens einen Betriebswert, mit welchem die Zustandsgröße beeinflusst wird, nachführen, um die Abweichung des Istwertes der Zustandsgröße von dem Sollwert der Zustandsgröße zu kompensieren. Beispielsweise kann die Anzahl an geschalteten Ventilen einer Kühlstrecke geändert werden, um eine bestimmte Haspeltemperatur einzustellen.

[0030] Insbesondere in dem Fall, dass die besondere Zielgröße eine Materialeigenschaft des jeweiligen flachen Walzguts ist, kann die mit der besonderen Zielgröße korrelierte Zustandsgröße die Haspeltemperatur ausgangsseitig der Kühlstrecke sein und kann weiterhin ein Betriebswert die Anzahl an angesteuerten Ventilen der Kühlstrecke und/oder das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen der Kühlstrecke sein. Dies ist aber nicht zwingend erforderlich.

[0031] Die Offsets können nach Bedarf bestimmt sein.

[0032] Beispielsweise ist es möglich, den jeweiligen Sollwert der jeweiligen besonderen Zielgröße dadurch zu ermitteln, dass der jeweilige vorläufige Sollwert bei manchen der flachen Walzgüter um einen vorbestimmten Wert vergrößert und bei den anderen der flachen Walzgüter um den denselben Wert verkleinert wird. Gegebenenfalls kann auch eine Dreiteilung erfolgen, dass also zusätzlich für einen Teil der flachen Walzgüter der jeweilige vorläufige Sollwert der jeweiligen besonderen Zielgröße unverändert als jeweiliger endgültiger Sollwert übernommen wird. Hierzu zwei konkrete Beispiele, bei denen der jeweilige vorläufige Sollwert einheitlich ist und die besondere Zielgröße die Haspeltemperatur ist:

Man nehme im Rahmen beider Beispiele an, dass zum Produzieren eines eigentlich gewünschten Materials eine Modellrechnung eine Haspeltemperatur von 600 °C ergibt. Die genannten 600 °C entsprechen in diesem Fall dem vorläufigen Sollwert. Nun produziert man - beispielsweise - einen Teil der flachen Walzgüter so, dass die Haspeltemperatur 610 °C beträgt. Einen weiteren Teil der flachen Walzgüter produziert man so, dass die Haspeltemperatur 590 °C beträgt. Diese Vorgehensweise entspräche Offsets von +10 K und -10 K, die additiv mit

dem vorläufigen Sollwert verknüpft werden. Eine alternative Vorgehensweise bestünde darin, je einen Teil der flachen Walzgüter so zu produzieren, dass die Haspeltemperatur 590 °C, 600 °C und 610 °C beträgt. Diese Vorgehensweise entspräche Offsets von +10 K, 0 K und -10 K, die additiv mit dem vorläufigen Sollwert verknüpft werden.

[0033] Wie bereits erwähnt, können die Betriebswerte während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts durch den Abschnitt der Warmwalzstraße manchmal nachgeführt werden. Dadurch entspricht der Istwert der Zustandsgröße exakt oder nur mit einer sehr geringen Streuung dem Sollwert der Zustandsgröße. Die Betriebswerte variieren in diesem Fall jedoch, bezogen auf einen bestimmten endgültigen Sollwert einer besonderen Zielgröße, mit einer jeweiligen statistischen Streuung. Vorzugsweise werden in diesem Fall, bezogen auf die jeweilige besondere Zielgröße, die Offsets derart gewählt, dass die Mittelwerte des mindestens einen Betriebswertes für den jeweiligen endgültigen Sollwert dieser Zielgröße um weniger als die Streuung, insbesondere um weniger als die Hälfte der Streuung, von demjenigen Mittelwert des mindestens einen Betriebswertes abweichen, der sich bei Verwendung des jeweiligen vorläufigen Sollwertes als endgültiger Sollwert dieser besonderen Zielgröße ergibt.

[0034] Wenn die Betriebswerte für das jeweilige Walzgut beim Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße nicht nachgeführt werden, variiert im Gegenzug, bezogen auf eine jeweilige besondere Zielgröße, der Istwert, der sich bei Verwendung des jeweiligen vorläufigen Sollwertes als jeweiliger endgültiger Sollwert ergeben würde, mit einer statistischen Streuung. Es ist daher alternativ ebenso möglich, dass der jeweilige Offset für diese besondere Zielgröße kleiner als diese Streuung ist, insbesondere kleiner als die Hälfte dieser Streuung.

[0035] In einem häufigen Anwendungsfall umfasst der Abschnitt der Warmwalzstraße eine Kühlstrecke und ist eine der besonderen Zielgrößen die Haspeltemperatur des Walzguts ausgangsseitig der Kühlstrecke oder mit der Haspeltemperatur des Walzguts ausgangsseitig der Kühlstrecke korreliert. In diesem Fall kann durch mindestens einen der Betriebswerte insbesondere die Anzahl an angesteuerten Ventilen der Kühlstrecke und/oder das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen der Kühlstrecke beeinflusst werden.

[0036] Die besondere Zielgröße selbst kann, wie bereits erwähnt, die Haspeltemperatur ausgangsseitig der Kühlstrecke sein. Ebenso ist es jedoch möglich, dass mindestens eine der besonderen Zielgrößen eine mikroskopische oder eine makroskopische Materialeigenschaft des jeweiligen Walzguts ist. In diesem Fall können durch die Betriebswerte beispielsweise direkt die Haspeltemperatur oder die Anzahl an angesteuerten Ventilen der Kühlstrecke und/oder das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen der Kühlstrecke beeinflusst werden. Eine mikroskopische Materialeigenschaft kann beispielsweise die Gefügestruktur oder die Korngröße sein.

Eine makroskopische Materialeigenschaft kann beispielsweise die Zugfestigkeit, die Streckgrenze oder die Bruchdehnung sein.

[0037] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung ein erfindungsgemäßes Betriebsverfahren ausführt.

[0038] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung eines Abschnitts einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein erfindungsgemäßes Betriebsverfahren ausführt.

[0039] Die Aufgabe wird weiterhin durch einen Abschnitt einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß wird der Abschnitt der Warmwalzstraße von einer erfindungsgemäßen Steuereinrichtung gesteuert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0040] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

FIG 1	eine mögliche Ausgestaltung einer Warmwalzstraße von der Seite,
FIG 2	die Warmwalzstraße von FIG 1 von oben,
FIG 3 und 4	Ablaufdiagramme,
FIG 5	ein Temperaturdiagramm,
FIG 6 bis 9	Ablaufdiagramme und
FIG 10 und 11	Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0041] Gemäß den FIG 1 und 2 ist eine Warmwalzstraße zum Behandeln von Walzgütern 1 aus Metall ausgebildet. Meist bestehen die Walzgüter 1 aus Stahl. In manchen Fällen können sie aber auch aus Aluminium oder aus einem anderen Metall bestehen. Die Walzgüter 1 sind, wie aus der Darstellung in den FIG 1 und 2 erkennbar ist, flache Walzgüter. In der Regel sind die Walzgüter 1 Bänder. Es kann sich jedoch alternativ auch um Grobbleche handeln.

[0042] Die Warmwalzstraße weist mindestens ein Walzgerüst 2 auf. Oftmals sind sogar mehrere Walzgerüste 2 sequenziell hintereinander angeordnet. Die Walzgerüste 2 können beispielsweise eine mehrgerüstige

Fertigstraße bilden. In vielen Fällen ist weiterhin dem Walzgerüst 2 (bzw. im Falle von mehreren Walzgerüsten 2 dem letzten Walzgerüst 2) eine Kühlstrecke nachgeordnet. Von den Walzgerüsten 2 sind in den FIG 1 und 2 nur die Arbeitswalzen dargestellt. Oftmals weisen die Walzgerüste 2 zusätzlich Stützwalzen und gegebenenfalls auch noch weitere Walzen auf. Die Kühlstrecke weist in der Regel mehrere Kühleinrichtungen 3 auf. Den Kühleinrichtungen 3 wird über Ventile 4 ein flüssiges Kühlmittel zugeführt. Das Kühlmittel ist meist Wasser. In manchen Fällen handelt es sich auch um Wasser mit gewissen Zusätzen. In den FIG 1 und 2 sind nur Kühleinrichtungen 3 oberhalb des Walzguts 1 dargestellt. In der Regel sind jedoch sowohl oberhalb als auch unterhalb des Walzguts 1 Kühleinrichtungen 3 vorhanden. In der Warmwalzstraße können die Walzgüter 1 in den Walzgerüsten 2 gewalzt und/oder mittels der Kühleinrichtungen 3 der Kühlstrecke gekühlt werden. Sowohl das Walzen als auch das Kühlen entsprechen einer Behandlung der Walzgüter 1.

[0043] In vielen Fällen weist die Warmwalzstraße weiterhin eine Haspeleinrichtung mit mindestens einem Haspel 5 auf. Die Haspeleinrichtung ist in jedem Fall den Walzgerüsten 2 nachgeordnet. Falls die Kühlstrecke vorhanden ist, ist die Haspeleinrichtung auch der Kühlstrecke nachgeordnet. In diesem Fall ist also die Kühlstrecke zwischen den Walzgerüsten 2 und der Haspeleinrichtung angeordnet.

[0044] Die Warmwalzstraße kann weiterhin auch Einheiten aufweisen, die den Walzgerüsten 2 vorgeordnet sind. Ein Beispiel einer derartigen Einrichtung ist eine Entzunderungseinrichtung.

[0045] Die Warmwalzstraße weist damit mindestens einen Abschnitt auf. Es ist möglich, dass die Walzgerüste 2 bzw. die Fertigstraße zusammen mit der Kühlstrecke und/oder mindestens einer vorgeordneten Einrichtung als Abschnitt der Warmwalzstraße betrachtet werden. Alternativ ist es möglich, nur die Walzgerüste 2 bzw. die Fertigstraße als Abschnitt der Warmwalzstraße anzusehen. Ebenso ist es möglich, nur die Kühlstrecke oder nur die vorgeordnete Einrichtung als Abschnitt der Warmwalzstraße anzusehen. Nachstehend wird die Kühlstrecke als Abschnitt der Warmwalzstraße betrachtet. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

[0046] Der Abschnitt der Warmwalzstraße wird von einer Steuereinrichtung 6 gesteuert. Die Steuereinrichtung 6 steuert im vorliegenden Fall insbesondere die Ventile 4 der Kühleinrichtungen 3. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuereinrichtung 6 auch mindestens eine Pumpe (nicht dargestellt) ansteuern, mittels derer der Arbeitsdruck und/oder der Kühlmittelstrom eingestellt werden. Gegebenenfalls kann die Steuereinrichtung 6 auch weitere Teile der Warmwalzstraße steuern wie beispielsweise die Walzgerüste 2 und den Haspel 5 bzw. die Haspel 5. Die Steuereinrichtung 6 ist mit einem Computerprogramm 7 programmiert. Das Computerprogramm 7 umfasst Maschinencode 8, der von der Steuereinrichtung 6 abgearbeitet werden kann. Das Abarbeiten des Maschi-

nencodes 8 durch die Steuereinrichtung 6 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 6 den Abschnitt der Warmwalzstraße gemäß einem Betriebsverfahren steuert, das nachstehend näher erläutert wird.

[0047] In dem Abschnitt der Warmwalzstraße werden die flachen Walzgüter 1 einzeln nacheinander behandelt. Soweit es die unmittelbare Steuerung des Abschnitts der Warmwalzstraße betrifft, wird diese Steuerung somit jeweils individuell für ein einzelnes flaches Walzgut 1 ausgeführt. Diese Steuerung wird nachstehend in Verbindung mit FIG 3 für ein einzelnes flaches Walzgut 1 erläutert.

[0048] Gemäß FIG 3 nimmt die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S1 für ein jeweiliges flaches Walzgut 1 dessen Primärdaten PD entgegen. Die Primärdaten PD beschreiben das jeweilige Walzgut 1 vor dem Zuführen zu dem Abschnitt der Warmwalzstraße. In dem gegebenen Beispiel (Abschnitt der Warmwalzstraße = Kühlstrecke) können die Primärdaten PD beispielsweise die chemische Zusammensetzung des flachen Walzguts 1, dessen Endwalztemperatur T1, dessen Dicke, dessen Breite und die Endwalzgeschwindigkeit v umfassen. Die Primärdaten PD beantworten also die Frage, welches Material in dem Abschnitt der Warmwalzstraße behandelt werden soll und/oder welchen Zustand das Walzgut 1 beim Zuführen zu dem Abschnitt der Warmwalzstraße aufweist. Die Endwalztemperatur T1 kann beispielsweise instantan mittels eines entsprechenden Temperaturmessplatzes 9 (siehe die FIG 1 und 2) erfasst werden.

[0049] In einem Schritt S2 nimmt die Steuereinrichtung 6 für das Walzgut 1 vorläufige Sollwerte Z^* für Zielgrößen entgegen. Die vorläufigen Sollwerte Z^* der Zielgrößen beschreiben Eigenschaften des jeweiligen Walzguts 1, die dieses nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße aufweisen soll. Diese Eigenschaften werden also angestrebt. Die Zielgrößen bzw. deren vorläufige Sollwerte Z^* beantworten also die Frage, welche Eigenschaften das Walzgut 1 nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße aufweisen soll und/oder welchen Zustand das jeweilige Walzgut 1 dann aufweisen soll. Die Zielgrößen können beispielsweise makroskopische oder mikroskopische Materialeigenschaften des flachen Walzguts 1 sein. Eine makroskopische Materialeigenschaft kann beispielsweise die Zugfestigkeit, die Streckgrenze oder die Bruchdehnung sein. Eine mikroskopische Materialeigenschaft kann beispielsweise die Gefügestruktur oder die Korngröße sein. Es kann auch ein Sollwert $T2^*$ für die Haspeltemperatur T2, welche das flache Walzgut 1 hinter der Kühlstrecke aufweisen soll, vorgegeben werden. In diesem Fall ist die Haspeltemperatur T2 eine Zielgröße.

[0050] Mindestens eine der Zielgrößen ist eine besondere Zielgröße. Es ist denkbar, dass die Steuereinrichtung 6 selbst bestimmt, welche der Zielgrößen besondere Zielgrößen sind. In der Regel wird der Steuereinrichtung 6 jedoch vorgegeben, welche der Zielgrößen besondere Zielgrößen sind. Die Vorgabe kann beispielsweise im Rahmen des Computerprogramms 7 oder

durch eine Bedienperson (nicht dargestellt) erfolgen.

[0051] Für die besonderen Zielgrößen verändert die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S3 den jeweiligen vorläufigen Sollwert Z^* um einen Offset δZ und ermittelt so einen jeweiligen endgültigen Sollwert Z'^* . Der endgültige Sollwert Z'^* für die jeweilige besondere Zielgröße ergibt sich somit zu $Z'^* = Z^* + \delta Z$.

[0052] Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 6 den jeweiligen Offset δZ selbst bestimmt. In diesem Fall ist der Steuereinrichtung 6 - beispielsweise im Rahmen des Computerprogramms 7 oder durch die Bedienperson - jedoch in der Regel ein Rahmen vorgegeben, innerhalb dessen die Steuereinrichtung 6 den jeweiligen Offset δZ selbst bestimmt. Beispielsweise kann der Steuereinrichtung 6 ein maximaler Betrag des Offsets δZ vorgegeben sein, innerhalb dessen die Steuereinrichtung 6 zufällig einen Wert festlegt. Auch ist es möglich, dass der Steuereinrichtung 6 mehrere konkrete mögliche Werte für den Offset δZ vorgegeben sind und die Steuereinrichtung 6 einen dieser Werte auswählt. Auch ist es möglich, dass der jeweilige Offset δZ der Steuereinrichtung 6 von der Bedienperson vorgegeben wird. Unabhängig von der Art der Festlegung des Offsets δZ ist der Offset δZ jedoch unabhängig von den Primärdaten PD und auch unabhängig von den anderen Zielgrößen bestimmt.

[0053] Für die anderen Zielgrößen - also diejenigen Zielgrößen, die keine besonderen Zielgrößen sind - übernimmt die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S4 direkt den jeweiligen vorläufigen Sollwert Z^* als jeweiligen endgültigen Sollwert Z'^* .

[0054] Für diese Zielgrößen - nachfolgend als normale Zielgrößen bezeichnet - gilt also $Z'^* = Z^*$.

[0055] Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S5 Betriebswerte A des Abschnitts der Warmwalzstraße. Die Ermittlung erfolgt derart, dass das jeweilige Walzgut 1 nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße die endgültigen Sollwerte Z'^* der Zielgrößen so gut wie möglich erreicht. Die Betriebswerte A geben also an, wie der Abschnitt der Warmwalzstraße angesteuert werden muss, um für das Walzgut 1 bei gegebenen Primärdaten PD die endgültigen Sollwerte Z'^* der Zielgrößen zu erreichen. Zumindest wird dies erwartet. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 die Primärdaten PD und die endgültigen Sollwerte Z'^* der Zielgrößen entsprechend der Darstellung in FIG 1 einem Modell 10 des Abschnitts der Warmwalzstraße zuführen. In diesem Fall erfolgt die Ermittlung der Betriebswerte A mittels des Modells 10. Das Modell 10 ist, sofern es vorhanden ist, insbesondere aufgrund der Abarbeitung des Maschinencodes 8 innerhalb der Steuereinrichtung 6 implementiert.

[0056] In einem Schritt S6 steuert die Steuereinrichtung 6 den Abschnitt der Warmwalzstraße. Diese Steuerung erfolgt beim Behandeln des entsprechenden flachen Walzguts 1, also insbesondere während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts 1 durch den Abschnitt der Warmwalzstraße. Die Steuereinrichtung 6 betreibt den Abschnitt der Warmwalzstraße im Rahmen des Schrittes

S6 entsprechend den ermittelten Betriebswerten A. Sie steuert somit die Stellglieder des Abschnitts der Warmwalzstraße - beispielsweise die Ventile 4 der Kühleinrichtungen 3 - entsprechend den ermittelten Betriebswerten A an.

[0057] Zustände, die das Walzgut 1 nach dem Behandeln in dem Abschnitt der Warmwalzstraße aufweist, können alternativ Zielgrößen oder Betriebswerte A sein. Diese beiden Sachverhalte schließen sich aber gegenseitig aus. Ein Zustand, den das Walzgut 1 nach dem Behandeln in dem Abschnitt der Warmwalzstraße aufweist, kann also nicht gleichzeitig eine Zielgröße und ein Betriebswert A sein. Beispielsweise kann die Haspeltemperatur T2 alternativ eine Zielgröße oder ein Betriebswert A sein. Wenn die Haspeltemperatur T2 einer der Betriebswerte A ist, handelt es sich bei den Zielgrößen in der Regel um mechanische Eigenschaften des Walzguts 1, die das Walzgut 1 nach der Behandlung in dem Abschnitt der Warmwalzstraße aufweisen soll.

[0058] Im übrigen können die Betriebswerte A nach Bedarf bestimmt sein. Es kann sich insbesondere um Werte handeln, die direkt mit Stellgrößen für die Stellglieder der Warmwalzstraße korrespondieren. Beispielsweise kann es sich bei einer der Stellgrößen um die Anzahl an Ventilen 4 handeln, die geöffnet werden, so dass die entsprechenden Kühleinrichtungen 3 das flache Walzgut 1 mit dem Kühlmittel beaufschlagen. Alternativ oder zusätzlich kann es sich - hierzu ähnlich, aber nicht völlig identisch - um das Ausmaß handeln, in dem die Ventile 4 geöffnet werden.

[0059] Nach dem Behandeln des Walzguts 1 geht die Steuereinrichtung 6 zum Schritt S1 zurück. Die Schritte S1 bis S6 werden also iterativ immer wieder für ein neues Walzgut 1 durchgeführt. Wichtig ist hierbei, dass - bezogen auf die jeweilige besondere Zielgröße - der Offset δZ , der bei der jeweiligen Ausführung des Schrittes S3 verwendet wird, nicht stets derselbe ist. Über die Gesamtheit von Walzgütern 1 gesehen weist der Offset δZ für eine bestimmte besondere Zielgröße also mehrere verschiedene Werte auf. Dies gilt für jede besondere Zielgröße.

[0060] Im einfachsten Fall weist der Offset δZ stets einen von zwei Werten auf, wobei die beiden Werte betragsmäßig gleich sind. Wenn beispielsweise eine Zielgröße die Haspeltemperatur T2 ist, kann der vorläufige Sollwert T2* für die Haspeltemperatur T2 bei manchen der flachen Walzgüter 1 um ein bestimmtes Ausmaß - beispielsweise 5 K oder 10 K - vergrößert und bei anderen der flachen Walzgüter 1 um das gleiche Ausmaß verkleinert werden. In einem weiteren einfachen Fall weist der Offset δZ stets einen von drei Werten auf, wobei einer der Werte 0 ist und die beiden anderen Werte von 0 verschieden und betragsmäßig gleich sind. Analog zum vorhergehenden Beispiel kann der vorläufige Sollwert T2* für die Haspeltemperatur T2 bei manchen der flachen Walzgüter 1 unverändert beibehalten werden, bei anderen der flachen Walzgüter 1 um ein bestimmtes Ausmaß - beispielsweise 5 K oder 10 K - vergrößert und bei wieder

anderen der flachen Walzgüter 1 um das gleiche Ausmaß verkleinert werden. In einem weiteren einfachen Fall weist der Offset δZ stets einen von zwei Werten auf, wobei einer der Werte 0 ist und der andere Wert von 0 verschieden ist. Selbstverständlich sind auch andere Werte für den Offset δZ möglich. Beispielsweise kann der Offset δZ mittels eines Zufallsgenerators ermittelt werden.

[0061] Nachstehend werden in Verbindung mit FIG 4 der Sinn und Zweck der erfindungsgemäßen Betriebsweise des Abschnitts der Warmwalzstraße erläutert. Hierbei wird - rein beispielhaft - angenommen, dass in einer hinreichenden Anzahl von Fällen stets das gleiche Walzgut 1 behandelt wurde und dass die vorläufigen Sollwerte Z* der Zielgrößen stets die gleichen waren. Es wird also angenommen, dass die Primärdaten PD und die vorläufigen Sollwerte Z*, die der Steuereinrichtung 6 bei der jeweiligen Ausführung der Schritte S1 und S2 vorgegeben wurden, stets die gleichen waren. Diese Annahmen dienen jedoch nur der besseren Erläuterung der vorliegenden Erfindung und sind für den tatsächlichen Betrieb des Abschnitts der Warmwalzstraße nicht erforderlich. Weiterhin kann die Vorgehensweise von FIG 4 von der Steuereinrichtung 6 ausgeführt werden. Sie kann aber alternativ auch von einer separaten Recheneinrichtung ausgeführt werden. Nachfolgend wird angenommen, dass die Vorgehensweise von FIG 4 von einer separaten Recheneinrichtung ausgeführt wird. Weiterhin wird nur auf eine einzige besondere Zielgröße und nur einen einzigen Betriebswert A eingegangen. Die Vorgehensweise von FIG 4 ist jedoch ohne weiteres auch bei mehreren besonderen Zielgrößen und mehreren Betriebswerten A anwendbar.

[0062] Gemäß FIG 4 werden der Recheneinrichtung 4 in einem Schritt S11 für die behandelten Walzgüter 1 jeweils ein Wertepaar bekannt. Der eine Wert des jeweiligen Wertepaares ist der jeweilige endgültige Sollwert Z'* der besonderen Zielgröße. Der andere Wert des jeweiligen Wertepaares ist der zugehörige Betriebswert A, entsprechend dem der Abschnitt der Walzstraße beim Behandeln des jeweiligen Walzguts 1 betrieben wurde.

[0063] Gemäß FIG 4 selektiert die Recheneinrichtung in einem Schritt S12 einen der endgültigen Sollwerte Z'* der besonderen Zielgröße. In einem Schritt S13 selektiert die Recheneinrichtung diejenigen Wertepaare, deren endgültiger Sollwert mit dem im Schritt S12 selektierten endgültigen Sollwert Z'* übereinstimmt. In einem Schritt S14 ermittelt die Recheneinrichtung den Mittelwert AM der Betriebswerte A der im Schritt S13 selektierten Wertepaare. Sie ermittelt also den Mittelwert AM zu

$$AM = (\sum A) / n$$

wobei n die Anzahl an Wertepaaren ist, die im Schritt S13 selektiert wurde.

[0064] In einem Schritt S15 prüft die Recheneinrichtung, ob sie die Schritte S12 bis S14 bereits für alle endgültigen Sollwerte Z'* der besonderen Zielgröße ausge-

führt hat. Wenn dies nicht der Fall ist, geht die Recheneinrichtung zum Schritt S12 zurück. Bei der erneuten Ausführung des Schrittes S12 selektiert die Recheneinrichtung einen neuen endgültigen Sollwert Z^* der besonderen Zielgröße, den sie im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 4 bisher noch nicht selektiert hat. Anderenfalls geht die Recheneinrichtung zu einem Schritt S16 über. Im Schritt S16 ermittelt die Recheneinrichtung anhand der ermittelten Mittelwerte AM und den jeweils zugehörigen Sollwerten Z^* der besonderen Zielgröße eine Sensitivität S der besonderen Zielgröße von der Betriebsgröße. Beispielsweise kann die Recheneinrichtung entsprechend der Darstellung in FIG 5 im Rahmen des Schrittes S16 eine lineare Regression durchführen und die Steigung der sich ergebenden Geraden als Sensitivität S ermitteln.

[0065] FIG 6 zeigt eine Alternative zur Vorgehensweise von FIG 4.

[0066] Gemäß FIG 6 werden der Recheneinrichtung in einem Schritt S21 Wertegruppen bekannt. Der Schritt S21 korrespondiert im Kern mit dem Schritt S11 von FIG 4. Er unterscheidet sich vom Schritt S11 jedoch dadurch, dass der Recheneinrichtung im Schritt S21 alternativ oder zusätzlich zu den endgültigen Sollwerten Z^* (auch) die Istwerte Z der besonderen Zielgröße bekannt werden. Die Istwerte Z können beispielsweise im Falle von Materialeigenschaften der flachen Walzgüter 1 durch Beprobungen ermittelt und der Recheneinrichtung zugeführt werden. Im Falle einer Zustandsgröße (beispielsweise der Haspeltemperatur T2) können sie oftmals direkt durch Messung ermittelt und an die Recheneinrichtung übermittelt werden.

[0067] In einem Schritt S22 selektiert die Recheneinrichtung einen der endgültigen Sollwerte Z^* der besonderen Zielgröße (sofern bekannt) oder einen bestimmten, meist relativ kleinen Wertebereich für den Istwert Z. Der Schritt S22 korrespondiert im Kern mit dem Schritt S2 von FIG 4.

[0068] In einem Schritt S23 selektiert die Recheneinrichtung diejenigen Wertepaare, deren endgültiger Sollwert mit dem im Schritt S22 selektierten endgültigen Sollwert Z^* übereinstimmt bzw. deren Istwert in dem selektierten Wertebereich liegt. Der Schritt S23 korrespondiert im Kern mit dem Schritt S13 von FIG 4.

[0069] In einem Schritt S24 ermittelt die Recheneinrichtung den Mittelwert AM der Betriebswerte A der im Schritt S23 selektierten Wertepaare. Sie ermittelt also den Mittelwert AM zu

$$AM = (\sum A) / n$$

wobei n die Anzahl an Wertepaaren ist, die im Schritt S13 selektiert wurde. Der Schritt S24 korrespondiert mit dem Schritt S14 von FIG 4.

[0070] In einem Schritt S25 ermittelt die Recheneinrichtung analog zur Vorgehensweise im Schritt S24 für die im Schritt S22 selektierten Wertepaare den Mittelwert

ZM der Istwerte Z der besonderen Zielgröße. Sie ermittelt also den Mittelwert ZM zu

$$ZM = (\sum Z) / n$$

wobei n wie zuvor die Anzahl an Wertepaaren ist, die im Schritt S22 selektiert wurde.

[0071] In einem Schritt S26 prüft die Recheneinrichtung, ob sie die Schritte S22 bis S25 bereits für alle endgültigen Sollwerte Z^* der besonderen Zielgröße bzw. alle Wertebereiche des zugehörigen Istwertes Z ausgeführt hat. Wenn dies nicht der Fall ist, geht die Recheneinrichtung zum Schritt S22 zurück. Bei der erneuten Ausführung des Schrittes S22 selektiert die Recheneinrichtung einen neuen endgültigen Sollwert Z^* der besonderen Zielgröße, den sie im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 6 bisher noch nicht selektiert hat, oder einen anderen Wertebereich der Istgröße Z, den sie im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 6 bisher noch nicht selektiert hat. Anderenfalls geht die Recheneinrichtung zu einem Schritt S27 über. Der Schritt S26 korrespondiert im Kern mit dem Schritt S15 von FIG 4.

[0072] In einem Schritt S27 ermittelt die Recheneinrichtung anhand der ermittelten Mittelwerte AM der nachgeführten Ansteuerwerte A0 und der jeweils zugehörigen Mittelwerte ZM der Istwerte Z der besonderen Zielgröße die Sensitivität S der besonderen Zielgröße von der Betriebsgröße. Beispielsweise kann die Recheneinrichtung im Schritt S27 analog zum Schritt S16 eine lineare Regression durchführen und die Steigung der sich ergebenden Geraden als Sensitivität S ermitteln.

[0073] Die Sensitivität S der besonderen Zielgröße von der Betriebsgröße wird also ermittelt anhand der Sollwerte oder der Mittelwerte der Istwerte der besonderen Zielgröße und der Mittelwerte der Sollwerte oder Istwerte der Betriebswerte A.

[0074] Die Vorgehensweise gemäß FIG 4 bietet sich insbesondere dann an, wenn der Istwert Z der besonderen Zielgröße bereits während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts 1 durch den Abschnitt der Warmwalzstraße erfasst und auf den endgültigen Sollwert Z^* geregelt werden kann oder aus anderen Gründen gewährleistet ist, dass der Istwert Z vom korrespondierenden endgültigen Sollwert Z^* nicht oder nur sehr geringfügig abweicht. Bei einer Kühlstrecke ist dies typischerweise der Fall, wenn die besondere Zielgröße die Haspeltemperatur T2 ist. Die Vorgehensweise von FIG 6 kann stets ergriffen werden. Sie muss ergriffen werden, wenn der Istwert Z der besonderen Zielgröße während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts 1 durch den Abschnitt der Warmwalzstraße nicht nachgeregelt werden kann oder aus anderen Gründen die Gefahr besteht, dass der Istwert Z vom korrespondierenden endgültigen Sollwert Z^* deutlich abweicht. Sofern möglich, ist die Vorgehensweise von FIG 4 aber bevorzugt, da sie mit geringerem Aufwand durchführbar ist.

[0075] In Fällen, in denen die Zielgrößen ihrerseits wie-

derum anhand von übergeordneten Größen ermittelt werden, können weiterhin auch die Sensitivitäten S der übergeordneten Größen von den Betriebsgrößen ermittelt werden. Hierzu ein Beispiel: Übergeordnete Größe ist eine mechanische Eigenschaft des Walzguts 1, beispielsweise die Zugfestigkeit. Anhand der Zugfestigkeit wird der Sollwert $T2^*$ für die Haspeltemperatur $T2$ ermittelt. Die Haspeltemperatur $T2$ ist die Zielgröße, so dass auf deren Sollwert der Offset addiert wird. Stellgröße ist die Ansteuerung der Ventile 4. In diesem Fall kann - alternativ oder zusätzlich zur Ermittlung der Sensitivität der Haspeltemperatur $T2$ von der Ansteuerung der Ventile 4 - auch die Sensitivität der mechanischen Eigenschaft des Walzguts 1 von der Ansteuerung der Ventile 4 ermittelt werden.

[0076] Nachfolgend werden in Verbindung mit den FIG 7 und 8 mögliche Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorgehensweise (siehe die FIG 1 bis 3) erläutert. Diese Vorgehensweisen bauen auf der obenstehend erläuterten Ausgestaltung auf, dass der Abschnitt der Warmwalzstraße eine Kühlstrecke umfasst.

[0077] FIG 7 umfasst Schritte S31 bis S36. Im Schritt S31 nimmt die Steuereinrichtung 6 - analog zum Schritt S1 von FIG 3 - für ein jeweiliges flaches Walzgut 1 dessen Primärdaten PD entgegen. Im Schritt S32 nimmt die Steuereinrichtung 6 - analog zum Schritt S2 von FIG 3 - für das Walzgut 1 vorläufige Sollwerte Z^* für Zielgrößen entgegen. Im Rahmen des Schrittes S32 nimmt die Steuereinrichtung 6 als einen der vorläufigen Sollwerte Z^* einen Sollwert $T2^*$ für die Haspeltemperatur $T2$ entgegen. Im Rahmen der Ausgestaltung gemäß FIG 7 ist also die Haspeltemperatur $T2$ eine Zielgröße. Weiterhin ist die Haspeltemperatur $T2$ im Rahmen der Ausgestaltung von FIG 7 die besondere Zielgröße, so dass im Schritt S33 der Offset δZ als Temperaturoffset δT zu dem vorläufigen Sollwert $T2^*$ addiert wird und so ein endgültiger Sollwert $T2^*$ für die Haspeltemperatur $T2$ ermittelt wird. Für die normalen Zielgrößen übernimmt die Steuereinrichtung 6 im Schritt S34 - analog zum Schritt S4 von FIG 3 - direkt den jeweiligen vorläufigen Sollwert Z^* als jeweiligen endgültigen Sollwert Z^* . Die Ermittlung der Betriebswerte A des Abschnitts der Warmwalzstraße durch die Steuereinrichtung 6 erfolgt im Schritt S35 analog zum Schritt S5 von FIG 3. Die Ermittlung der Betriebswerte A erfolgt jedoch in Abhängigkeit vom endgültigen Temperatursollwert $T2^*$. Im Schritt S36 steuert die Steuereinrichtung 6 den Abschnitt der Warmwalzstraße beim Behandeln des entsprechenden flachen Walzguts 1 entsprechend den ermittelten Betriebswerten A. Hierbei wird durch mindestens einen der Betriebswerte A die Anzahl an angesteuerten Ventilen 4 der Kühlstrecke und/oder das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen 4 der Kühlstrecke bzw. allgemein das Ausmaß an Kühlung beeinflusst.

[0078] FIG 8 umfasst Schritte S41 bis S46. Im Schritt S41 nimmt die Steuereinrichtung 6 - analog zum Schritt S1 von FIG 3 - für ein jeweiliges flaches Walzgut 1 dessen Primärdaten PD entgegen. Im Schritt S42 nimmt die Steuereinrichtung 6 - analog zum Schritt S2 von FIG 3 -

für das Walzgut 1 vorläufige Sollwerte Z^* für Zielgrößen entgegen. Im Schritt S43 verändert die Steuereinrichtung 6 - analog zum Schritt S3 von FIG 3 - für die besonderen Zielgrößen den jeweiligen vorläufigen Sollwert Z^* um einen Offset δZ und ermittelt so einen jeweiligen endgültigen Sollwert Z^* . Weiterhin ist im Rahmen der Ausgestaltung von FIG 8 die Haspeltemperatur $T2$ zwar nicht direkt eine besondere Zielgröße, sie ist aber mit einer der besonderen Zielgrößen korreliert. Daher ermittelt die Steuereinrichtung 6 im Schritt S43 nach dem Ermitteln des endgültigen Sollwertes Z^* für diese besondere Zielgröße unter Verwertung von deren endgültigen Sollwert Z^* den Sollwert $T2^*$ für die Haspeltemperatur $T2$. Für die normalen Zielgrößen übernimmt die Steuereinrichtung 6 im Schritt S44 - analog zum Schritt S4 von FIG 3 - direkt den jeweiligen vorläufigen Sollwert Z^* als jeweiligen endgültigen Sollwert Z^* . Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 6 im Schritt S45 Betriebswerte A des Abschnitts der Warmwalzstraße. Die Ermittlung erfolgt derart, dass das jeweilige Walzgut 1 nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße unter anderem den im Schritt S43 ermittelten Sollwert $T2^*$ für die Haspeltemperatur $T2$ so gut wie möglich erreicht. Im Schritt S46 steuert die Steuereinrichtung 6 den Abschnitt der Warmwalzstraße beim Behandeln des entsprechenden flachen Walzguts 1 entsprechend den ermittelten Betriebswerten A. Hierbei wird durch mindestens einen der Betriebswerte A die Anzahl an angesteuerten Ventilen 4 der Kühlstrecke und/oder das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen 4 der Kühlstrecke bzw. allgemein das Ausmaß an Kühlung beeinflusst. Die Vorgehensweise gemäß FIG 8 baut also darauf auf, dass die besondere Zielgröße nicht direkt die Haspeltemperatur $T2$ ist. Die besondere Zielgröße kann in diesem Fall insbesondere eine mikro-mechanische oder eine makromechanische Eigenschaft des Walzguts 1 sein, beispielsweise die Zugfestigkeit oder die Dehngrenze.

[0079] Nachfolgend wird in Verbindung mit FIG 9 eine weitere mögliche Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorgehensweise (siehe die FIG 1 bis 3) erläutert. Diese Vorgehensweise baut vorzugsweise ebenfalls auf der obenstehend erläuterten Ausgestaltung auf, dass der Abschnitt der Warmwalzstraße eine Kühlstrecke umfasst. Sie ist jedoch nicht zwingend an eine Kühlstrecke gekoppelt, auch wenn die Ausgestaltung gemäß FIG 9 nachstehend in Verbindung mit einer Kühlstrecke erläutert wird. Falls der Abschnitt der Warmwalzstraße eine Kühlstrecke umfasst, kann die Vorgehensweise von FIG 9 mit den Ausgestaltungen der FIG 7 und 8 kombiniert sein.

[0080] FIG 9 zeigt eine mögliche Ausgestaltung des Schrittes S6 von FIG 3. Im Rahmen der Ausgestaltung gemäß FIG 9 wird vorausgesetzt, dass bereits während des Durchlaufs des jeweiligen flachen Walzguts 1 durch den Abschnitt der Warmwalzstraße ein Istwert einer Zustandsgröße des Walzguts 1 erfasst und der Steuereinrichtung 6 zugeführt wird. Beispielsweise kann im Falle einer Kühlstrecke ausgangsseitig der Kühlstrecke ein

weiterer Temperaturmessplatz 11 angeordnet sein, mittels dessen die Haspeltemperatur T2 (also deren Istwert) erfasst wird.

[0081] Gemäß FIG 9 steuert die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S51 zunächst den Abschnitt der Warmwalzstraße an. Diese Ansteuerung erfolgt mit den aktuellen Betriebswerten A. Die aktuellen Betriebswerte A entsprechen bei der erstmaligen Ausführung des Schrittes S51 den im Schritt S5 von FIG 3 ermittelten Betriebswerten A an.

[0082] In einem Schritt S52 nimmt die Steuereinrichtung 6 den erfassten Istwert der Zustandsgröße (beispielsweise die erfasste Haspeltemperatur T2) entgegen. Die Zustandsgröße kann - siehe rein beispielhaft die Ausführungen zu FIG 7 - eine der besonderen Zielgrößen sein. In diesem Fall stimmt somit der korrespondierende Sollwert T2* der Zustandsgröße T2 mit dem endgültigen Sollwert Z* dieser besonderen Zielgröße überein.

[0083] Alternativ kann die erfasste Zustandsgröße - siehe rein beispielhaft die Ausführungen zu FIG 8 - mit einer der besonderen Zielgrößen korreliert sein. In diesem Fall ist der Sollwert T2* der Zustandsgröße T2 durch den endgültigen Sollwert Z* dieser besonderen Zielgröße bestimmt.

[0084] Unabhängig davon, ob der eine oder der andere Sachverhalt vorliegt, vergleicht die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S53 den Istwert T2 der Zustandsgröße mit dem zugehörigen Sollwert T2*. Im Falle einer Abweichung geht die Steuereinrichtung 6 zu einem Schritt S54 über. Im Schritt S54 führt die Steuereinrichtung 6 mindestens einen Betriebswert A nach. Mit dem nachgeführten Betriebswert A wird die Zustandsgröße T2 beeinflusst. Das Nachführen erfolgt, um die Abweichung des Istwertes T2 der Zustandsgröße von dem zugehörigen Sollwert T2* zu kompensieren.

[0085] Sodann prüft die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S55, ob das Behandeln des Walzguts 1 in dem Abschnitt der Warmwalzstraße beendet ist. Wenn dies nicht der Fall ist, geht die Steuereinrichtung 6 zum Schritt S51 zurück. Bei der erneuten Ausführung des Schrittes S51 verwendet die Steuereinrichtung 6 jedoch die nunmehr aktuellen Betriebswerte A, also so, wie sie sich nach einer etwaigen Nachführung im Schritt S54 ergeben haben. Wenn das Behandeln des Walzguts 1 in dem Abschnitt der Warmwalzstraße beendet ist, ist auch die Vorgehensweise von FIG 9 beendet. Die Steuereinrichtung 6 geht somit zum Schritt S1 (siehe FIG 3) zurück.

[0086] Im Rahmen der Vorgehensweise gemäß FIG 9 wird das jeweilige flache Walzgut 1 gedanklich in eine Vielzahl von Abschnitten unterteilt, die sequenziell aufeinanderfolgen. Wenn für einen bestimmten Abschnitt des Walzguts 1 die Zustandsgröße erfasst wird, kann dieser Abschnitt des Walzguts 1 mittels des Abschnitts der Warmwalzstraße nicht mehr beeinflusst werden. Mittels des Abschnitts der Warmwalzstraße können jedoch nachfolgende Abschnitte des flachen Walzguts 1 beeinflusst werden, deren Zustandsgröße zu einem späteren

Zeitpunkt erfasst wird. Die Regelung der Zustandsgröße ist damit mit einer gewissen Totzeit behaftet. Dies ist jedoch unproblematisch und beschränkt lediglich die Dynamik der Regelung, nicht aber deren Prinzip. Der entsprechende Sachverhalt ist Fachleuten allgemein bekannt und vertraut.

[0087] Wie bereits erwähnt, ist der Offset δZ frei wählbar, solange sein Absolutwert unterhalb einer gewissen Schranke bleibt. Nachfolgend werden in Verbindung mit den FIG 10 und 11 Möglichkeiten erläutert, den Offset δZ bzw. einen Maximalwert für den Betrag des Offsets δZ sinnvoll zu bestimmen.

[0088] Im Rahmen von FIG 10 werden drei Annahmen getroffen. Zum ersten wird angenommen, dass die behandelten Walzgüter 1 einheitlich sind. Zum zweiten wird angenommen, dass der vorläufige Sollwert Z* der besonderen Zielgröße direkt als endgültiger Sollwert Z* der besonderen Zielgröße verwendet wird, dass also der Schritt S3 von FIG 3 entfällt und für alle Zielgrößen der Schritt S4 durchgeführt wird. Zum dritten wird angenommen, dass die Betriebswerte A nicht nachgeführt werden, dass also insbesondere die Vorgehensweise von FIG 9 nicht realisiert ist.

[0089] Im Falle der oben genannten Annahmen sind die Betriebswerte A von Walzgut 1 zu Walzgut 1 stets dieselben. Denn die Betriebswerte A werden nach ihrer Ermittlung im Schritt S5 nicht mehr geändert. Der Istwert Z der besonderen Zielgröße - beispielsweise die Haspeltemperatur T2 - variiert jedoch in diesem Fall von Walzgut 1 zu Walzgut 1. Als Grund der Streuung kann eine externe Störung angenommen werden. Die Ursache für die Störung kann bekannt sein, muss aber nicht bekannt sein.

[0090] Die Streuung des Istwertes Z der besonderen Zielgröße weist eine Standardabweichung σ um den Mittelwert ZM des Istwertes Z der besonderen Zielgröße auf. Die Standardabweichung σ wird oftmals auch als Varianz bezeichnet. Die Standardabweichung σ ist dadurch definiert, dass sie einen symmetrischen Bereich um den Mittelwert ZM abdeckt. In dem Bereich mit dem Einfachen der Standardabweichung σ (also in dem Bereich, der sich von dem Mittelwert ZM des Istwertes Z der besonderen Zielgröße abzüglich der Standardabweichung σ bis zum Mittelwert ZM des Istwertes Z der besonderen Zielgröße zuzüglich der Standardabweichung σ erstreckt) liegen bei einer Normalverteilung rund 2/3 aller Messwerte (genauer: 68,27 %). In dem Bereich mit dem Doppelten der Standardabweichung σ liegen bei einer Normalverteilung rund 95 % aller Messwerte (genauer: 95,45 %). In dem Bereich mit dem Dreifachen der Standardabweichung σ liegen bei einer Normalverteilung fast alle Messwerte (genauer: 99,73 %).

[0091] Der Offset δZ kann entsprechend der Darstellung in FIG 10 beispielsweise derart bestimmt werden, dass sein Betrag kleiner als die Standardabweichung σ ist. Dadurch weichen die verschiedenen endgültigen Sollwerte Z* der besonderen Zielgröße um weniger als die Streuung (genauer: um weniger als die Standardab-

weichung σ) von dem korrespondierenden vorläufigen Sollwert Z^* ab. Noch besser ist es natürlich, wenn der Betrag des Offsets δZ einen noch kleineren Wert aufweist, insbesondere um weniger als die Hälfte der Streuung von dem korrespondierenden vorläufigen Sollwert Z^* abweicht.

[0092] FIG 10 zeigt eine eher hypothetische Situation. Denn der Umstand, dass die Betriebswerte A nicht nachgeführt werden, kann zu erheblichen Streuungen führen, die sich in dem Istwert Z der besonderen Zielgröße widerspiegeln. In der Regel erfolgt daher eine Nachführung der Betriebswerte A. Die Bestimmung des Offsets δZ für diesen Fall - einen realistischen Fall - wird nachstehend in Verbindung mit FIG 11 erläutert.

[0093] Im Rahmen von FIG 11 wird ebenso wie bei FIG 10 angenommen, dass die behandelten Walzgüter 1 einheitlich sind und dass der vorläufige Sollwert Z^* direkt als endgültiger Sollwert Z^{**} der besonderen Zielgröße verwendet wird. Im Gegensatz zu den Erläuterungen zu FIG 10 werden jedoch die Betriebswerte A nachgeführt, um eine Zustandsgröße - beispielsweise die Haspeltemperatur T2 - auf ihrem Sollwert T2* zu halten. Die Zustandsgröße ist entweder eine besondere Zielgröße oder mit einer besonderen Zielgröße korreliert. Im Rahmen der Nachführung der Betriebswerte A kann insbesondere die Vorgehensweise von FIG 9 realisiert sein.

[0094] Im Falle von FIG 11 ist der Istwert Z der besonderen Zielgröße - beispielsweise die Haspeltemperatur T2 - von Walzgut 1 zu Walzgut 1 stets derselbe bzw. zumindest nahezu derselbe. Hingegen variieren jedoch die Betriebswerte A von Walzgut 1 zu Walzgut 1.

[0095] In diesem Fall weisen die Betriebswerte A eine Standardabweichung σ' um ihren Mittelwert AM auf. Die Standardabweichung σ' ist analog zu FIG 10 dadurch definiert, dass sie einen symmetrischen Bereich um den Mittelwert AM der Betriebswerte A abdeckt. In dem Bereich mit dem Einfachen der Standardabweichung σ' (also in dem Bereich, der sich von dem Mittelwert AM abzüglich der Standardabweichung σ' bis zum Mittelwert AM zuzüglich der Standardabweichung σ' erstreckt) liegen im Falle einer Normalverteilung rund 2/3 aller Betriebswerte A (genauer: 68,27 %). In dem Bereich mit dem Doppelten der Standardabweichung σ' liegen im Falle einer Normalverteilung rund 95 % aller Betriebswerte A (genauer: 95,45 %). In dem Bereich mit dem Dreifachen der Standardabweichung σ' liegen im Falle einer Normalverteilung fast alle Betriebswerte A (genauer: 99,73 %).

[0096] Der Offset δZ kann beispielsweise derart bestimmt werden, dass - bezogen auf den jeweiligen Offset δZ - der Mittelwert AM der Betriebswerte A um weniger als die Streuung von demjenigen Mittelwert AM abweicht, der sich bei Verwendung des vorläufigen Sollwerts Z^* selbst als endgültiger Sollwert Z^{**} der besonderen Zielgröße ergibt. Noch besser ist es natürlich, wenn der Betrag des Offsets δZ einen noch kleineren Wert aufweist, insbesondere einen Wert, der maximal mit der Hälfte der Streuung der Betriebswerte A korrespondiert.

[0097] Durch die Vorgehensweisen von FIG 10 und insbesondere durch die Vorgehensweise von FIG 11 wird erreicht, dass sich in der Praxis nur geringfügige Verschiebungen der Istwerte Z der besonderen Zielgröße ergeben. Dennoch kann die Sensitivität S mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden. Ein Beispiel soll dies näher erläutern. Im Rahmen dieses Beispiels wird die Haspeltemperatur T2 als besondere Zielgröße angenommen. Die entsprechenden Ausführungen sind aber allgemein gültig.

[0098] Man nehme an, eine unbekannte Störung würde, sofern sie nicht durch ein Nachführen der Betriebswerte A ausgeglichen würde, eine Streuung der Haspeltemperatur T2 um 7 K bewirken (also $\sigma = 7$ K). Der vorläufige Sollwert Z^* soll 600 °C sein. Im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgehensweise werden 2500 Walzgüter 1 behandelt, für welche der endgültige Sollwert Z^{**} der besonderen Zielgröße 599 °C beträgt, d.h. der Offset δZ beträgt -1 K. Für weitere 2500 Walzgüter 1 wird ein endgültiger Sollwert Z^{**} der besonderen Zielgröße von 601 °C verwendet, d.h. der Offset δZ beträgt +1 K.

[0099] Berechnet man für die Ausgestaltung gemäß FIG 9 den jeweiligen Mittelwert AM der nachgeführten Betriebswerte A, so kann der Mittelwert AM mit einer Genauigkeit berechnet werden, die mit einer Streuung der Haspeltemperatur T2 um 0,14 K korrespondiert. Trotz der nur sehr geringen Veränderung des Sollwertes T2* der Haspeltemperatur T2 kann daher die Sensitivität S ermittelt werden.

[0100] Zunächst liefert diese Vorgehensweise das richtige Vorzeichen der Sensitivität S. Bereits dies stellt einen wesentlichen Vorteil gegenüber dem Stand der Technik dar. Die Ermittlung ist weiterhin zwar nur auf ca. 15 % genau. Diese Genauigkeit ist für viele Anwendungen jedoch vollauf hinreichend. Ferner kann sie durch entsprechende Erhöhung der Anzahl an Walzgütern 1 verbessert werden. Andererseits hat die geringe Variation des Sollwertes T2* der Haspeltemperatur T2 nahezu keine Auswirkungen auf die Qualität der tatsächlich behandelten Walzgüter 1. Denn die resultierende Streuung über alle 5000 Walzgüter 1 wird lediglich von 7 K auf ca. 7,07 K und damit relativ nur um ca. 1 % erhöht. Alternativ oder zusätzlich ist natürlich auch eine Vergrößerung des Offsets δZ möglich.

[0101] Die ermittelte Sensitivität S kann insbesondere dazu verwendet werden, das Modell 10 zu aktualisieren. Wenn dann zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen des Modells 10 für mindestens ein weiteres flaches Walzgut 1 die Betriebswerte A ermittelt werden sollen, kann für die Ermittlung der Betriebswerte A die ermittelte Sensitivität S verwendet werden. Dies kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn sich der Sollwert Z0* bzw. der Zielwert Z0' der besonderen Zielgröße geändert hat und/oder wenn sich die Primärdaten PD geändert haben.

[0102] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf.

[0103] So wird beispielsweise im Gegensatz zum Stand der Technik nicht versucht, durch einen globalen

Ansatz einen direkten Zusammenhang zwischen den gemessenen Materialeigenschaften der flachen Walzgüter 1 einerseits und Einstellwerten in dem Abschnitt der Warmwalzstraße andererseits herzustellen. Stattdessen wird ohne weitergehende Annahmen die Sensitivität S ermittelt bzw. werden zumindest ihr Vorzeichen und ihr ungefährer Wert ermittelt. Der Vorteil besteht darin, dass der Betreiber des Abschnitts der Warmwalzstraße zwar in der Regel die Primärdaten PD und die vorläufigen Sollwerte Z* der Zielgrößen sehr genau kennt, jedoch in der Regel nicht weiß, wie er die Betriebswerte A ändern muss, um die Istwerte Z der Zielgrößen in deterministischer Weise einzustellen. Mit der Vorgehensweise der vorliegenden Erfindung wird dies hingegen ermöglicht. Insbesondere kann der Arbeitspunkt des Abschnitts der Warmwalzstraße gezielt verschoben werden, so dass sich ein flaches Walzgut 1 mit verbesserten Istwerten Z der Zielgrößen ergibt. Weiterhin können Störungen in vorgeordneten Verarbeitungsprozessen, also in Prozessen, welche die Primärdaten PD beeinflussen, vollständig oder zumindest teilweise ausgeglichen werden.

[0104] Die vorliegende Erfindung wurde obenstehend über weite Strecken für den Fall erläutert, dass der Abschnitt der Warmwalzstraße einer Kühlstrecke entspricht bzw. zumindest eine Kühlstrecke umfasst. Als besondere Zielgröße wurde in der Regel die Haspeltemperatur T2 des Walzguts 1 ausgangsseitig der Kühlstrecke angenommen. Als Betriebswert A wurde in der Regel die Anzahl an angesteuerten Ventilen 4 der Kühlstrecke und/oder das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen 4 der Kühlstrecke angenommen. Die vorliegende Erfindung ist aber nicht auf diese eine Ausgestaltung beschränkt.

[0105] Beispielsweise ist es möglich, dass zwar der Abschnitt der Warmwalzstraße eine Kühlstrecke ist bzw. eine Kühlstrecke umfasst, die besondere Zielgröße aber nicht die Haspeltemperatur T2 ist. In diesem Fall kann völlig analog zu obenstehend erläuterten Vorgehensweisen vorgegangen werden. Es muss lediglich berücksichtigt werden, dass der Sollwert T2* der Haspeltemperatur T2 (bzw. allgemein der Sollwert der Zustandsgröße, die nachgeregelt wird) mit der besonderen Zielgröße korreliert ist. Wenn beispielsweise eine bestimmte Zugfestigkeit als besondere Zielgröße vorgegeben wird, wird die Zugfestigkeit stochastisch unabhängig von den anderen Zielgrößen und den Primärdaten PD variiert. Es wird jeweils der zugehörige Sollwert T2* der Haspeltemperatur T2 bestimmt und auf diesen Wert geregelt. Die zugehörigen Mittelwerte AM der Betriebswerte A werden in diesem Fall bezogen auf den jeweiligen Mittelwert ZM der Istwerte Z der Zugfestigkeit ermittelt und ausgewertet. Analoge Vorgehensweisen ergeben sich für andere besondere Zielgrößen.

[0106] Auch ist es möglich, dass die erfindungsgemäße Vorgehensweise für einen Abschnitt einer Warmwalzstraße durchgeführt wird, der keine Kühlstrecke umfasst. Beispielsweise kann im Falle einer Fertigstraße als besondere Zielgröße die Endwalztemperatur T1 gegeben sein und als besondere Stellgröße die Endwalzge-

schwindigkeit v verwendet werden. Es können auch eine andere Zielgröße und die Endwalztemperatur T1 als Zustandsgröße verwendet werden.

[0107] Auch ist es möglich, andere besondere Zielgrößen vorzusehen. Ein Beispiel ist das Ausmaß, zu dem ausgangsseitig des betrachteten Abschnitts der Warmwalzstraße eine Phasenumwandlung des Walzguts 1 erfolgt ist. Die Messgröße, aufgrund derer die Betriebswerte A nachgeführt werden, kann im Falle einer Fertigstraße die Endwalztemperatur T1 sein, im Falle einer Kühlstrecke die Haspeltemperatur T2.

[0108] Auch andere Ausgestaltungen sind möglich. Beispielsweise können, sofern der Abschnitt der Warmwalzstraße als mehrgerüstige Fertigstraße ausgebildet ist oder eine mehrgerüstige Fertigstraße umfasst, als besondere Zielgröße die Dicke, das Profil und/oder die Planheit des Walzguts 1 herangezogen werden und als Betriebswerte A Größen verwendet werden, welche den Walzspalt des letzten Walzgerüsts 2 der mehrgerüstigen Fertigstraße und/oder des vorletzten Walzgerüsts 2 der mehrgerüstigen Fertigstraße und/oder weiterer Walzgerüste 2 der mehrgerüstigen Fertigstraße beeinflussen.

[0109] Die obengenannten Beispiele sind nicht abschließend zu verstehen. Es sind auch andere Ausgestaltungen möglich.

[0110] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Varianten können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0111]

1	Walzgüter
2	Walzgerüste
3	Kühleinrichtungen
4	Ventile
5	Haspel
6	Steuereinrichtung
7	Computerprogramm
8	Maschinencode
9, 11	Temperaturmessplätze
10	Modell
A	Betriebswerte
AM	Mittelwert der Ansteuerwerte der besonderen Stellgröße
PD	Primärdaten
S	Sensitivität
S1 bis S55	Schritte
T1	Endwalztemperatur
T2*	Sollwert der Haspeltemperatur
T2	Haspeltemperatur
v	Endwalzgeschwindigkeit
Z*	vorläufige Sollwerte der Zielgrößen
Z'*	endgültige Sollwerte der Zielgrößen

Z	Istwert der besonderen Zielgröße
ZM	Mittelwert der Istwerte der besonderen Zielgröße
δT	Temperaturoffset
δZ	Offset
σ, σ'	Standardabweichungen

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für einen Abschnitt einer Warmwalzstraße,

- wobei einer Steuereinrichtung (6) für den Abschnitt der Warmwalzstraße für eine Vielzahl von Walzgütern (1) jeweilige Primärdaten (PD) und jeweilige vorläufige Sollwerte (Z^*) für Zielgrößen des jeweiligen Walzguts (1) zugeführt werden,

- wobei die jeweiligen Primärdaten (PD) das jeweilige Walzgut (1) vor dem Zuführen zu dem Abschnitt der Warmwalzstraße beschreiben und die jeweiligen vorläufigen Sollwerte (Z^*) der Zielgrößen einen nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße angestrebten Sollzustand des jeweiligen Walzguts (1) beschreiben,

- wobei die Steuereinrichtung (6) Betriebswerte (A) für den Abschnitt der Warmwalzstraße derart ermittelt, dass das jeweilige Walzgut (1) nach dem Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße endgültige Sollwerte (Z^*) der Zielgrößen so gut wie möglich erreicht,

- wobei die Steuereinrichtung (6) den Abschnitt der Warmwalzstraße beim Behandeln des jeweiligen Walzguts (1) entsprechend den ermittelten Betriebswerten (A) betreibt,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** mindestens eine der Zielgrößen eine besondere Zielgröße ist und die verbleibenden Zielgrößen normale Zielgrößen sind,

dass die Steuereinrichtung (6) für die besonderen Zielgrößen den jeweiligen endgültigen Sollwert (Z^*) dadurch ermittelt, dass sie den jeweiligen vorläufigen Sollwert (Z^*) um einen jeweiligen Offset (δZ) verändert, der unabhängig von den Primärdaten (PD), den anderen besonderen Zielgrößen und den normalen Zielgrößen für das jeweilige Walzgut (1) bestimmt ist,

- **dass** die Offsets (δZ), bezogen auf die jeweilige besondere Zielgröße, über die Gesamtheit von Walzgütern (1) gesehen mehrere verschiedene Werte aufweisen und

- **dass** die Steuereinrichtung (6) für die normalen Zielgrößen den jeweiligen vorläufigen Sollwert (Z^*) unverändert als jeweiligen endgültigen Soll-

wert (Z^*) übernimmt.

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

- **dass** der Steuereinrichtung (6) während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts (1) durch den Abschnitt der Warmwalzstraße ein Istwert (T2) einer Zustandsgröße des Walzguts (1) zugeführt wird,

- **dass** die Zustandsgröße eine der besonderen Zielgrößen ist, so dass ein Sollwert ($T2^*$) der Zustandsgröße mit dem endgültigen Sollwert (Z^*) dieser besonderen Zielgröße übereinstimmt, oder die Zustandsgröße mit der mindestens einen besonderen Zielgröße korreliert ist, so dass ein Sollwert ($T2^*$) der Zustandsgröße durch den endgültigen Sollwert (Z^*) der mindestens einen besonderen Zielgröße bestimmt ist, und

- **dass** die Steuereinrichtung (6) bei einer Abweichung des Istwertes (T2) der Zustandsgröße von Sollwert ($T2^*$) der Zustandsgröße mindestens einen Betriebswert (A), mit welchem die Zustandsgröße beeinflusst wird, während des Durchlaufs des jeweiligen Walzguts (1) durch den Abschnitt der Warmwalzstraße nachführt, um die Abweichung des Istwertes (T2) der Zustandsgröße von dem Sollwert ($T2^*$) der Zustandsgröße zu kompensieren.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

dass, bezogen auf einen bestimmten endgültigen Sollwert (Z^*) einer besonderen Zielgröße, der mindestens einen Betriebswert (A) mit einer statistischen Streuung (σ') variiert und dass, bezogen auf diese besondere Zielgröße, die Offsets (δZ) derart gewählt werden, dass die Mittelwerte (AM) des mindestens einen Betriebswertes (A) für den jeweiligen endgültigen Sollwert (Z^*) dieser Zielgröße um weniger als die Streuung (σ'), insbesondere um weniger als die Hälfte der Streuung (σ'), von demjenigen Mittelwert (AM) des mindestens einen Betriebswertes (A) abweichen, der sich bei Verwendung des jeweiligen vorläufigen Sollwertes (Z^*) als endgültiger Sollwert (Z^*) dieser besonderen Zielgröße ergibt.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,**

dass, bezogen auf eine jeweilige besondere Zielgröße, der Istwert (T2), der sich bei Verwendung des jeweiligen vorläufigen Sollwertes (Z^*) als jeweiliger endgültiger Sollwert (Z^*) ergeben würde, unter der Voraussetzung, dass die Betriebswerte (A) für das jeweilige Walzgut (1) beim Durchlaufen des Abschnitts der Warmwalzstraße nicht nachgeführt würden, mit einer statistischen Streuung (σ) variieren

würde und dass der jeweilige Offset (δZ) für diese besondere Zielgröße kleiner als die Streuung (σ) ist, insbesondere kleiner als die Hälfte der Streuung (σ).

5. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche 5
 che, 5
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abschnitt der Warmwalzstraße eine Kühlstrecke umfasst, dass eine der besonderen Zielgrößen die Haspeltemperatur (T2) des Walzguts (1) 10
 ausgangsseitig der Kühlstrecke ist oder mit der Haspeltemperatur (T2) des Walzguts (1) ausgangsseitig der Kühlstrecke korreliert ist und dass durch mindestens einen der Betriebswerte (A) die Anzahl an angesteuerten Ventilen (4) der Kühlstrecke und/oder 15
 das Ausmaß der Ansteuerung von Ventilen (4) der Kühlstrecke beeinflusst wird.
 20
6. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche 20
 che, 20
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens eine der besonderen Zielgrößen eine mikroskopische oder eine makroskopische Materialeigenschaft des jeweiligen Walzguts (1) ist. 25
7. Computerprogramm für eine Steuereinrichtung (6) eines Abschnitts einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern (1), wobei das Computerprogramm Maschinencode (8) umfasst, der von der Steuereinrichtung (6) abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (8) durch die Steuereinrichtung (6) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (6) ein Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche ausführt. 30
 35
8. Steuereinrichtung eines Abschnitts einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern (1), wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (7) nach Anspruch 7 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführt. 40
9. Abschnitt einer Warmwalzstraße zum Behandeln einer Vielzahl von Walzgütern (1), wobei der Abschnitt der Warmwalzstraße von einer Steuereinrichtung (6) nach Anspruch 8 gesteuert wird. 45

50

55

FIG 1

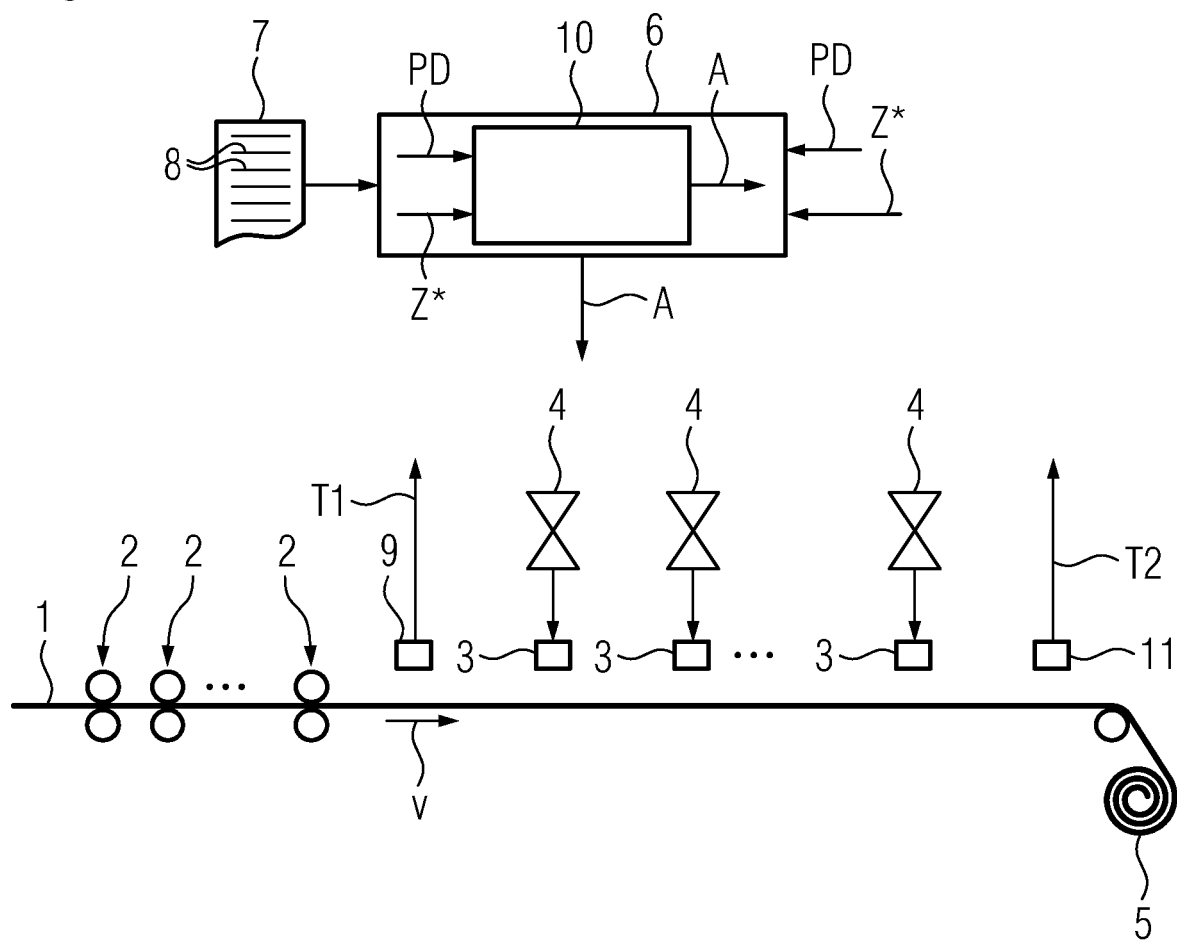


FIG 2

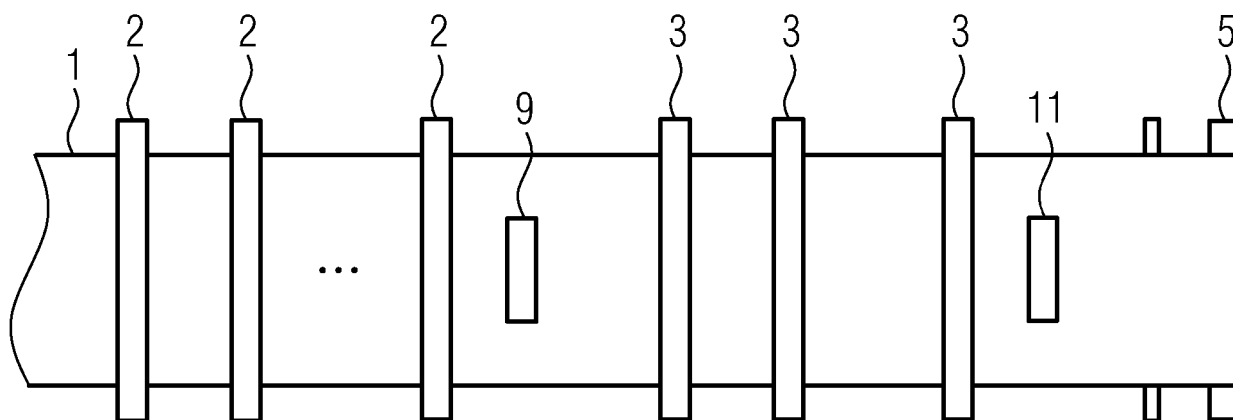


FIG 3

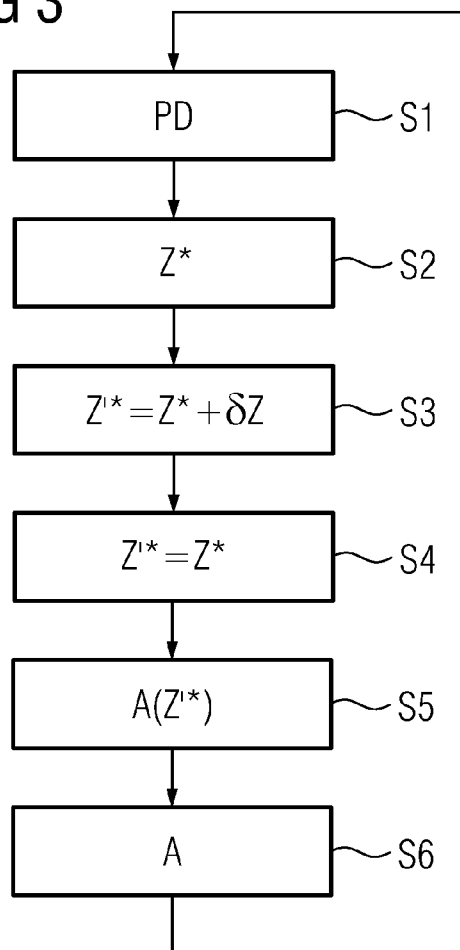


FIG 4

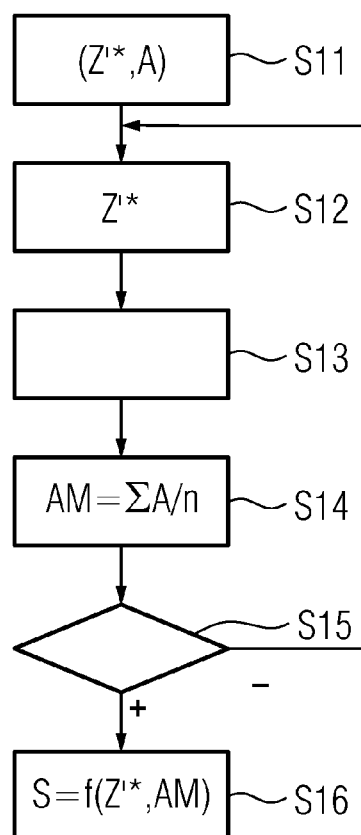


FIG 5

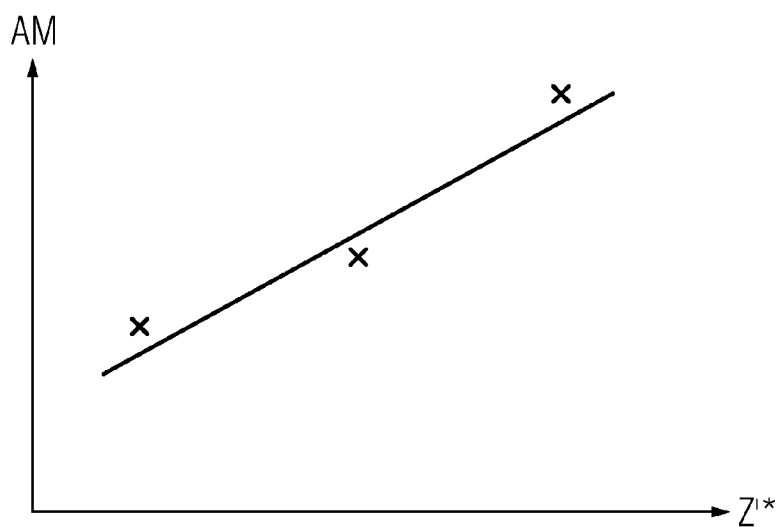


FIG 6

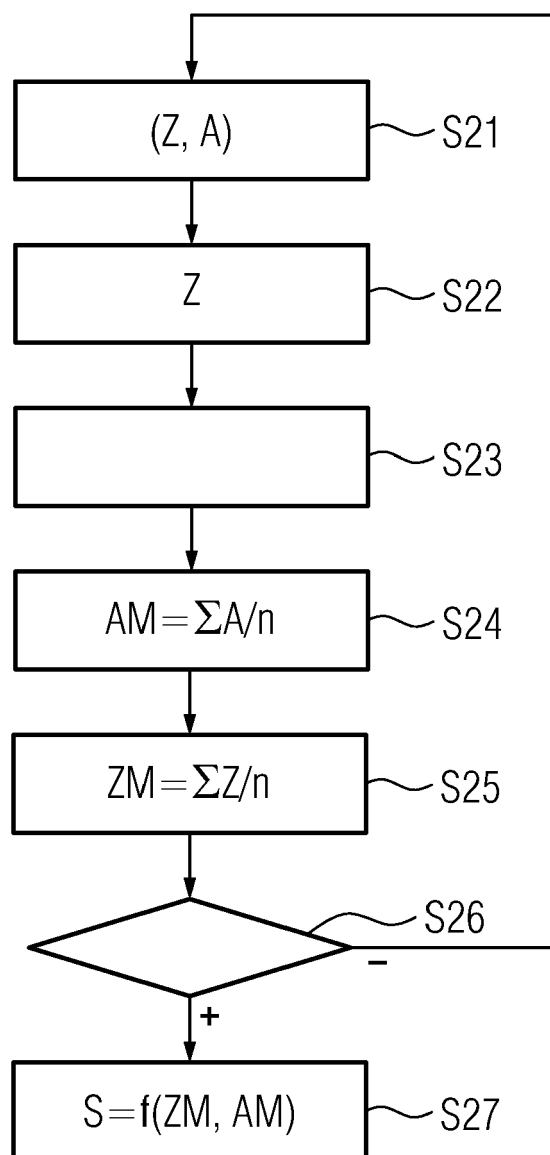


FIG 7

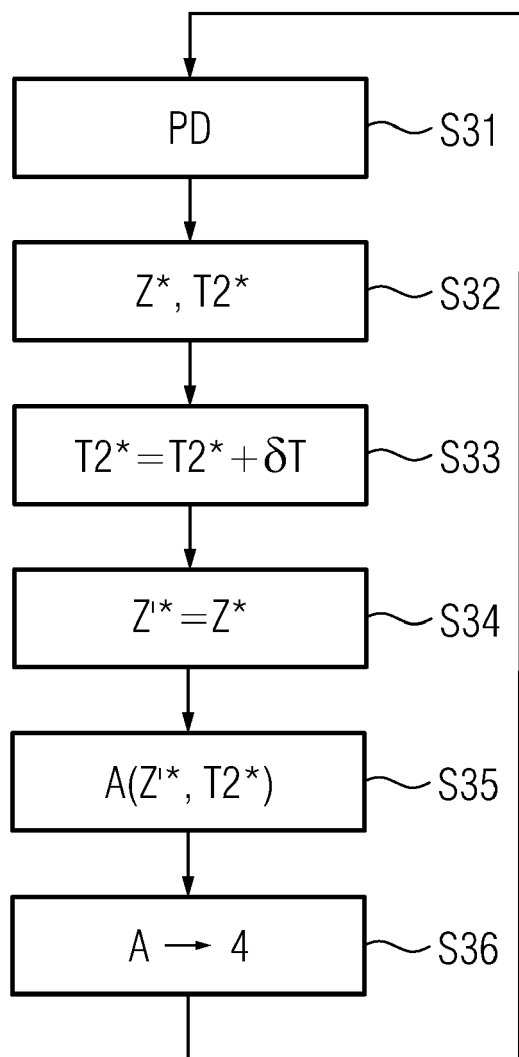


FIG 8

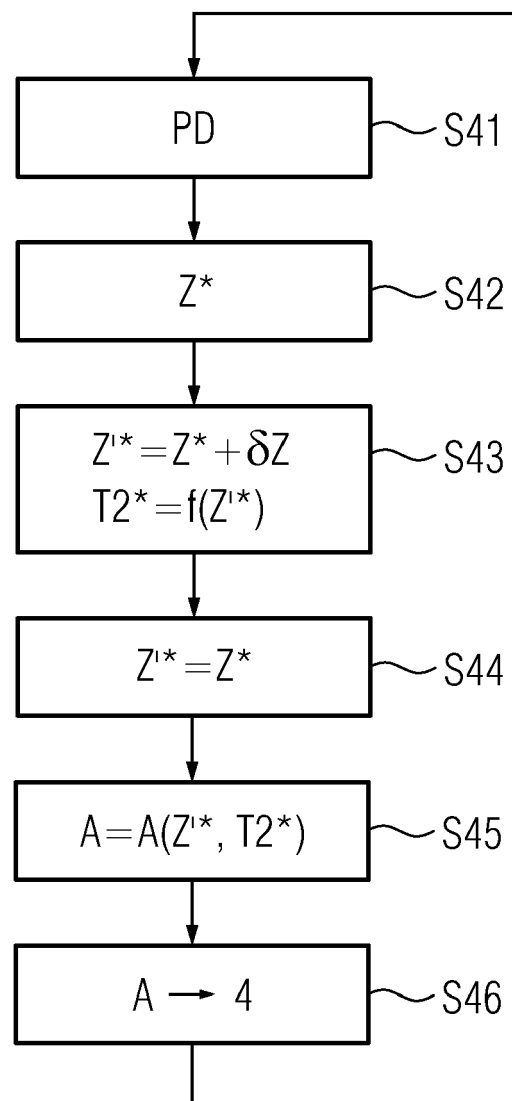


FIG 9

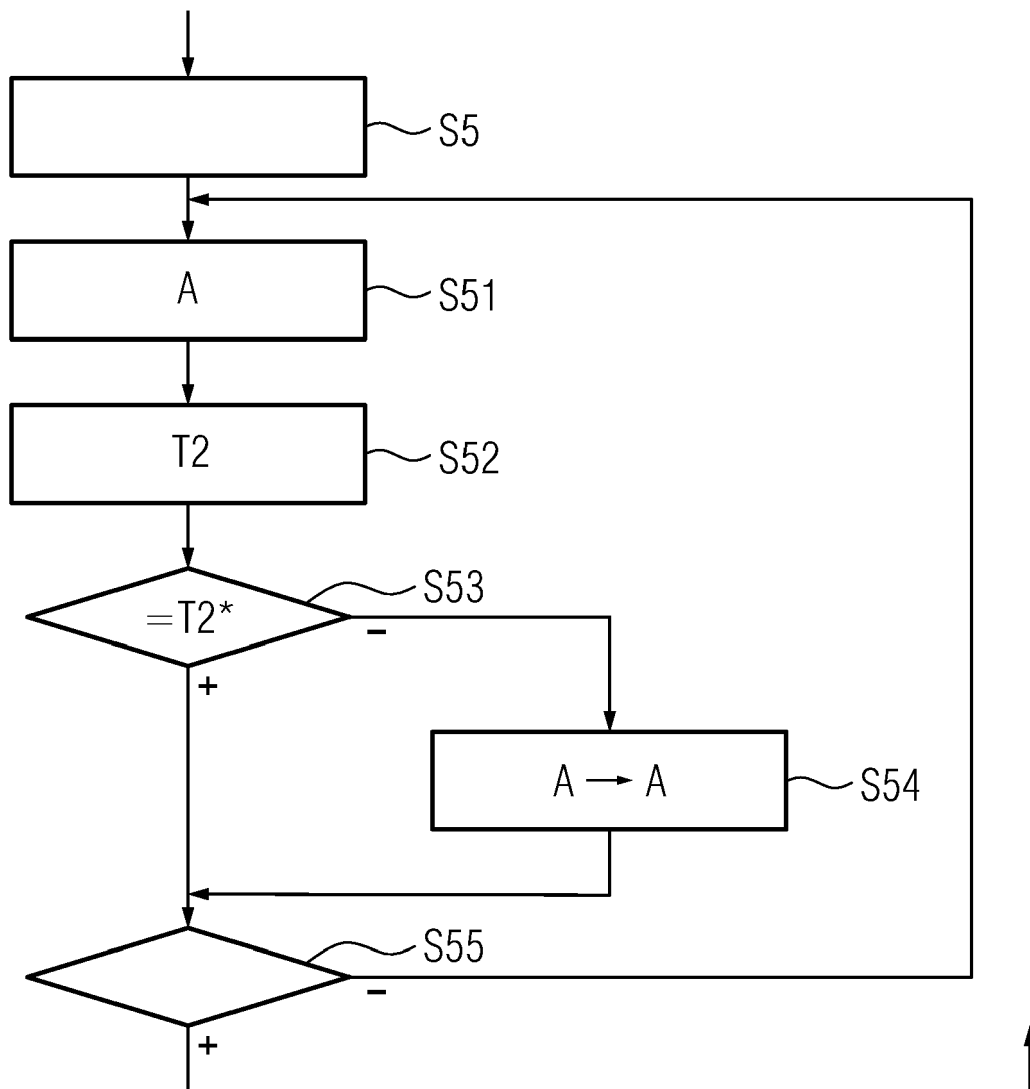


FIG 10

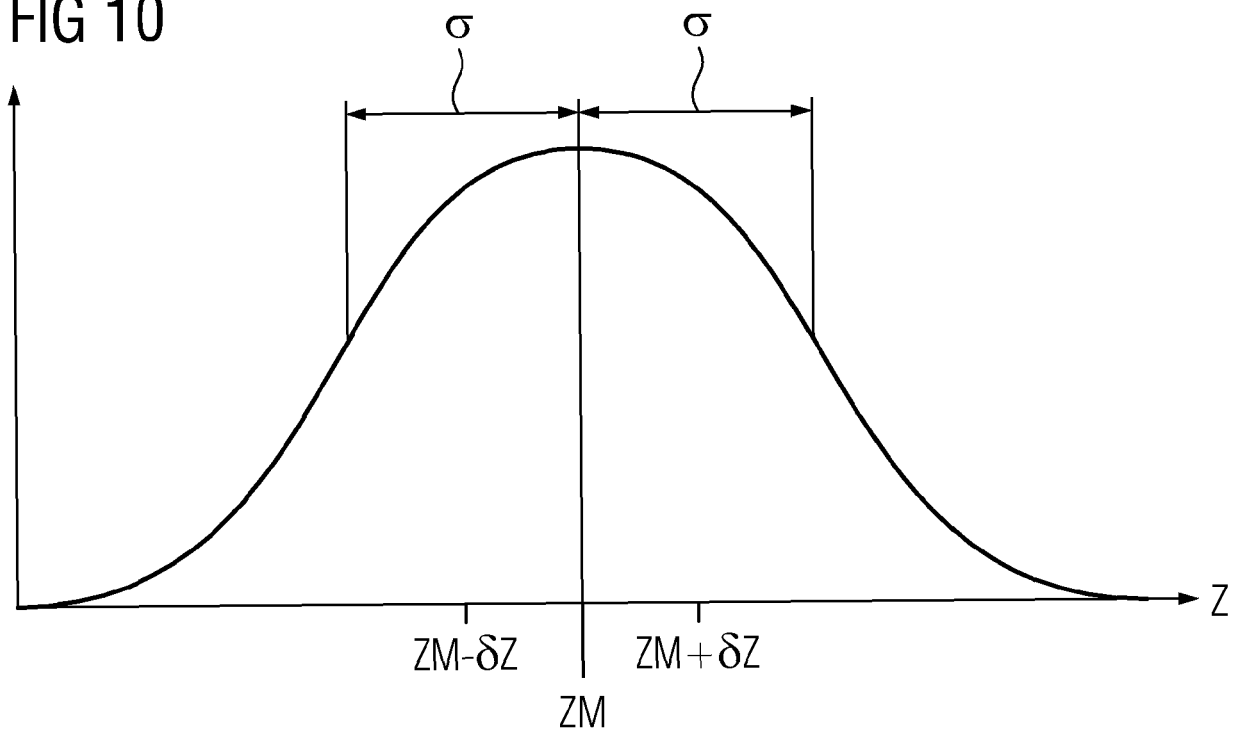
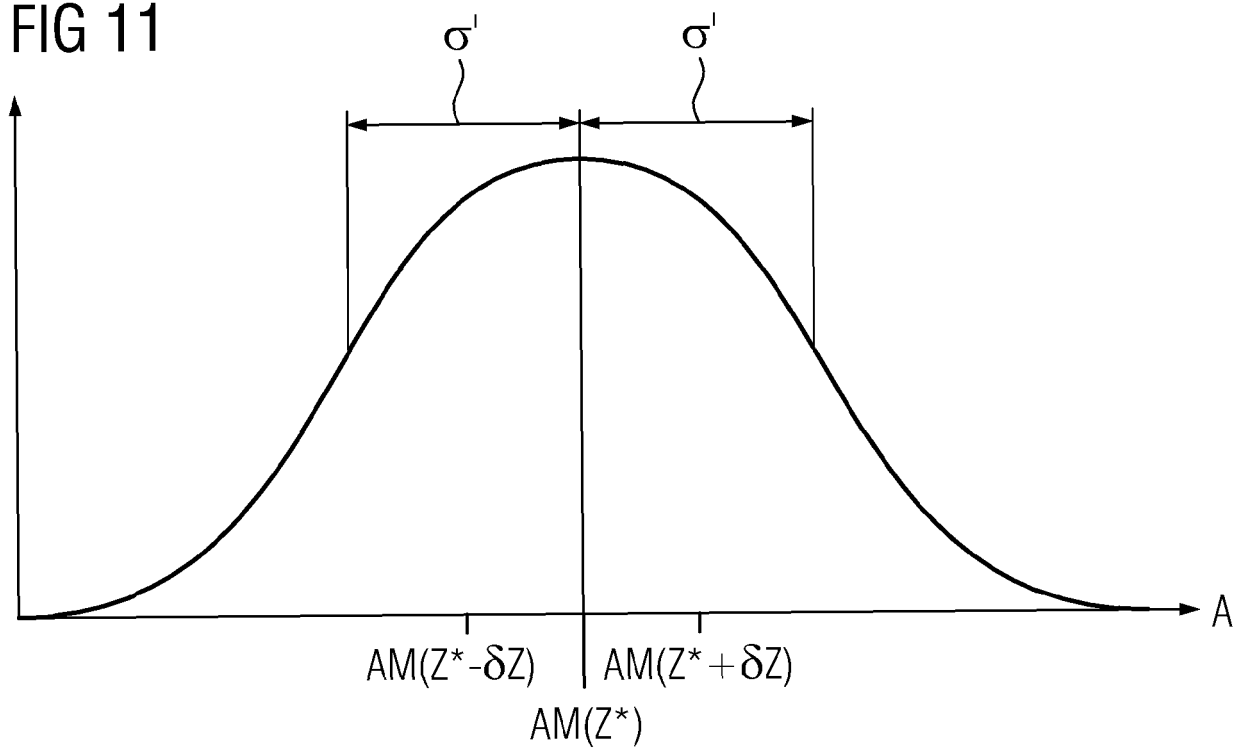


FIG 11





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 15 6622

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 2 873 469 A1 (SIEMENS AG [DE]) 20. Mai 2015 (2015-05-20) * Ansprüche 1-20; Abbildungen 1-6 *	1-9	INV. B21B37/76
A	DE 10 2016 114404 A1 (HITACHI LTD [JP]) 9. März 2017 (2017-03-09) * Ansprüche 1-10; Abbildungen 1,6-7 *	1-9	
A	DE 10 2016 207692 A1 (HITACHI LTD [JP]) 24. November 2016 (2016-11-24) * Ansprüche 1-10; Abbildungen 1,5-10 *	1-9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 7. August 2020	Prüfer Forciniti, Marco
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 15 6622

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

07-08-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 2873469 A1	20-05-2015	CN 106061637 A	26-10-2016
			EP 2873469 A1	20-05-2015
			EP 3071343 A1	28-09-2016
			KR 20160089435 A	27-07-2016
			US 2016288181 A1	06-10-2016
			WO 2015071200 A1	21-05-2015
20	DE 102016114404 A1	09-03-2017	CN 106493180 A	15-03-2017
			DE 102016114404 A1	09-03-2017
			JP 6399985 B2	03-10-2018
			JP 2017051969 A	16-03-2017
25	DE 102016207692 A1	24-11-2016	CN 106166566 A	30-11-2016
			DE 102016207692 A1	24-11-2016
			JP 6435234 B2	05-12-2018
			JP 2016215237 A	22-12-2016
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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