



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.06.2019 Patentblatt 2019/24

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

(21) Anmeldenummer: **17206426.3**

(22) Anmeldetag: **11.12.2017**

(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
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD TN

(71) Anmelder:
• **Primetals Technologies Austria GmbH**
4031 Linz (AT)
• **Primetals Technologies Germany GmbH**
91052 Erlangen (DE)

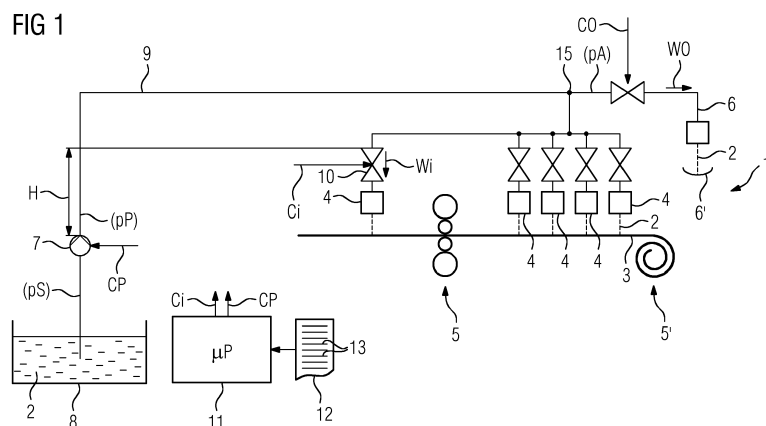
(72) Erfinder:
• **Weinzierl, Klaus**
90480 Nürnberg (DE)
• **Eder, Manfred**
4609 Thalheim bei Wels (AT)
• **Razinkov, Jurij**
4060 Leonding (AT)
• **Schlapak, Christian**
4060 Leonding (AT)

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

(54) **VERBESSERTER STEUERUNG DER WASSERWIRTSCHAFT EINER KÜHLSTRECKE**

(57) In einer Kühlstrecke wird heißes Walzgut (3) aus Metall gekühlt. Die Kühlstrecke weist eine Pumpe (7) auf, die aus einem Kühlmittelreservoir (8) Kühlmittel (2) entnimmt und über ein Leitungssystem (9) einer Anzahl von Kühlmittelauslässen (4, 6) zuführt, die über den Kühlmittelauslässen (4, 6) vorgeordnete Ventile (10) gesteuert werden. Eine Steuereinrichtung (11) der Kühlstrecke ermittelt für einen jeweiligen Zeitpunkt unter Berücksichtigung von Kühlmittelströmen (W_i), die zu dem jeweiligen Zeitpunkt über die Kühlmittelauslässe (4, 6) abgegeben werden sollen, in Verbindung mit einem eingangsseitig der Ventile (10) anstehenden Arbeitsdruck (pA) des Kühlmittels (2) Ansteuerzustände (C_i) für die Ventile (10). Sie ermittelt durch Summieren der Kühlmittelströme (W_i) ei-

nen Gesamtkühlmittelstrom (WG). Sie ermittelt unter Berücksichtigung des Gesamtkühlmittelstroms (WG), des Arbeitsdrucks (pA) des Kühlmittels (2) und zusätzlich einer Änderung (δWG) des Gesamtkühlmittelstroms (WG) einen Pumpendruck (pP), der ausgangseitig der Pumpe (7) herrschen soll, so dass eingangsseitig der Ventile (10) der Arbeitsdruck (pA) erreicht wird. Sie ermittelt unter Berücksichtigung des Gesamtkühlmittelstroms (WG), des Pumpendrucks (pP) und eines eingangsseitig der Pumpe (7) herrschenden Saugdrucks (pS) einen Ansteuerzustand (CP) für die Pumpe (7). Sie steuert die Ventile (10) und die Pumpe (7) entsprechend den ermittelten Ansteuerzuständen (C_i , CP) an. Die Steuereinrichtung (11) für diese Schritte zyklisch aus.



Beschreibung

Gebiet der Technik

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke zum Kühlen von heißem Walzgut aus Metall, wobei die Kühlstrecke eine Pumpe aufweist, die aus einem Kühlmittelreservoir Kühlmittel entnimmt und über ein Leitungssystem einer Anzahl von Kühlmittelauslässen zuführt, die über den Kühlmittelauslässen vorgeordnete Ventile gesteuert werden,
- 10 - wobei eine Steuereinrichtung der Kühlstrecke zyklisch für einen jeweiligen Zeitpunkt
- unter Berücksichtigung von Kühlmittelströmen, die zu dem jeweiligen Zeitpunkt über die Kühlmittelauslässe abgegeben werden sollen, in Verbindung mit einem eingangsseitig der Ventile anstehenden Arbeitsdruck des Kühlmittels Ansteuerzustände für die Ventile ermittelt,
- 15 -- durch Summieren der Kühlmittelströme einen Gesamtkühlmittelstrom ermittelt,
- unter Berücksichtigung des Gesamtkühlmittelstroms und des Arbeitsdrucks des Kühlmittels einen Pumpendruck ermittelt, der ausgangsseitig der Pumpe herrschen soll, so dass eingangsseitig der Ventile der Arbeitsdruck erreicht wird,
- 20 -- unter Berücksichtigung des Gesamtkühlmittelstroms, des Pumpendrucks und eines eingangsseitig der Pumpe herrschenden Saugdrucks einen Ansteuerzustand für die Pumpe ermittelt und
- die Ventile und die Pumpe entsprechend den ermittelten Ansteuerzuständen ansteuert.

25 **[0002]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem 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 geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Kühlstrecke gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

- 30 **[0004]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Kühlstrecke zum Kühlen von heißem Walzgut aus Metall,
- wobei die Kühlstrecke eine Pumpe aufweist, die aus einem Kühlmittelreservoir Kühlmittel entnimmt und über ein Leitungssystem einer Anzahl von Kühlmittelauslässen zuführt, die über den Kühlmittelauslässen vorgeordnete Ventile gesteuert werden,
- 35 - wobei die Kühlstrecke eine derartige Steuereinrichtung aufweist, welche die Kühlstrecke gemäß derartigen Betriebsverfahren betreibt.

Stand der Technik

40 **[0005]** Die oben genannten Gegenstände sind beispielsweise aus der WO 2013/143 925 A1 bekannt. Der WO 2014/124 867 A1 ist ein ähnlicher Offenbarungsgehalt zu entnehmen.

[0006] In Kühlstrecken wird gewalztes Metall - insbesondere Stahl - nach dem Walzen abgekühlt. Beispiele derartiger Kühlstrecken sind die einer Warmbandstraße nachgeordnete Kühlstrecke mit oder ohne Intensivkühlung und die sogenannte Quette einer Grobblechstraße. Insbesondere in einer der Walzstraße nachgeordneten Kühlstrecke ist eine exakte Temperaturführung üblich. Aber auch im Falle einer Anordnung innerhalb oder vor einer Walzstraße - beispielsweise zwischen einer Vorstraße und einer Fertigstraße - ist das definierte und exakte Aufbringen einer gewünschten Kühlmittelmenge von großer Bedeutung. Insbesondere bei einer Kühlung zwischen einer Vorstraße und einer Fertigstraße bestehen aufgrund des hohen Mengenbedarfs an Kühlmittel besonders hohe Anforderungen an die Dynamik der Bewirtschaftung des Kühlmittels.

50 **[0007]** Das Kühlmittel ist in der Regel Wasser oder besteht zumindest im wesentlichen aus Wasser.

[0008] Die aufzubringenden Wassermengen sind erheblich. In manchen Fällen müssen bis zu 20.000 m³/h auf einer Strecke von nur wenigen Metern (beispielsweise 10 m bis 20 m) auf das heiße Walzgut aufgebracht werden. Zur genauen Steuerung der Kühlung ist es nicht nur erforderlich, die Ventile der Kühlstrecke zeitlich genau und korrekt anzusteuern. Es ist zusätzlich auch erforderlich, die entsprechenden Wassermengen eingangsseitig der Ventile zur Verfügung zu stellen und auch wieder zurückzunehmen. Die hierfür erforderlichen Steuerzeiten bewegen sich oftmals im Bereich in der Nähe von 1 Sekunde, in manchen Fällen sogar unter 1 Sekunde.

[0009] In manchen Fällen ist es möglich, die geforderte Dynamik des Wasserhaushalts aufgrund einer entsprechenden mechanischkonstruktiven Gestaltung der Kühlstrecke zu gewährleisten. Beispielsweise kann man in unmittelbarer Nähe

der Kühlmittelauslässe als Kühlmittelreservoir einen Wassertank aufstellen und die Kühlmittelauslässe direkt oder über Boosterpumpen mit Wasser aus dem Wassertank versorgen. In diesem Fall kann das Leitungssystem zwischen dem Kühlmittelreservoir und den Kühlmittelauslässen hinreichend kurz gestaltet werden. Dadurch ist die erforderliche Beschleunigung der Wassermenge möglich, ohne dass die Genauigkeit der Kühlung in nennenswertem Umfang leidet.

[0010] In anderen Fällen ist es aber nicht möglich, einen Wassertank in hinreichender Nähe zu den Kühlmittelauslässen zu platzieren. Manchmal ist erst außerhalb der Produktionshalle der Platz zur Aufstellung eines derartigen Wassertanks vorhanden. Das Leitungssystem zur Versorgung der Kühlmittelauslässe weist in diesem Fall eine erheblich größere Länge auf, beispielsweise ca. 100 m. Es ist sogar möglich, dass gar kein Wassertank aufgestellt werden kann. In diesem Fall kann das Leitungssystem, welches das Kühlmittel zu den Kühlmittelauslässen fördert, eine Länge von mehreren 100 m aufweisen. Wenn es nicht möglich ist, einen Wassertank in hinreichender Nähe zu den Kühlmittelauslässen zu platzieren, müssen bei einer Änderung der angeforderten Kühlmittelmenge größere Wassermengen - oftmals mehrere 100 t - erst beschleunigt werden. Diese Beschleunigung führt im Stand der Technik zu einer verzögerten Bereitstellung der geforderten Kühlmittelmengen.

[0011] Zur Lösung dieses Problems sind im Stand der Technik verschiedene Lösungen bekannt.

[0012] So ist beispielsweise aus der WO 2014/032 838 A1 bekannt, zusätzlich zu Nutz-Kühlmittelauslässen, über welche das Kühlmittel auf das heiße Walzgut aufgebracht wird, Bypass-Kühlmittelauslässe vorzusehen. Über die Bypass-Kühlmittelauslässe kann in diesem Fall das Kühlmittel abgeführt werden, ohne es auf das heiße Walzgut aufzubringen. Wenn das heiße Walzgut in einen Kühlbereich einläuft, in dem das Kühlmittel auf das heiße Walzgut aufgebracht werden soll, werden den Bypass-Kühlmittelauslässen vorgeordnete Ventile zurückgefahren bzw. geschlossen, während gleichzeitig den Nutz-Kühlmittelauslässen vorgeordnete Ventile geöffnet werden. Auf diese Weise muss das Kühlmittel, welches durch das Leitungssystem bewegt wird, nur in geringerem Umfang oder sogar gar nicht beschleunigt werden. Nachteilig bei dieser Vorgehensweise ist jedoch, dass auch dann große Mengen an Kühlmittel durch das Leitungssystem gepumpt werden, wenn gar kein heißes Walzgut gekühlt werden soll. Dementsprechend hoch sind der Energieverbrauch für die Pumpe und der Verbrauch an Kühlmittel.

[0013] Eine weitere bekannte Lösung besteht darin, in der Nähe des Kühlbereichs ein Steigrohr mit einem Überlauf vorzusehen. Ein Steigrohr benötigt weniger Platz als ein Wassertank. Es kann aber dafür auch nur in geringem Umfang Kühlmittel speichern. In diesem Fall wird daher kontinuierlich die maximal zu erwartende Kühlmittelmenge zum Kühlbereich gefördert. Bereits dies stellt einen Nachteil dar, da stets die maximal benötigte Menge an Kühlmittel bereitgestellt werden muss, während bei einer Lösung mit einem Wassertank nur die mittlere benötigte Wassermenge bereitgestellt werden muss. Durch die Höhe des Steigrohrs wird ein nahezu konstanter Gegendruck erzeugt, der unabhängig vom konkreten Bedarf an Kühlmittel ist. Auch hier ist der Verbrauch an Kühlmittel und Energie entsprechend hoch, da stets eine unnötig große Menge an Kühlmittel bereitgestellt wird. Weiterhin kann der Druck nicht eingestellt werden. Er entspricht immer dem Druck, der sich aus der Höhe der Säule an Kühlmittel im Steigrohr bis zum Überlauf ergibt.

[0014] Die aus der WO 2013/143 925 A1 bekannten Vorgehensweisen stellen gegenüber diesen Lösungen bereits einen erheblichen Fortschritt dar. Auch diese Lösungen sind aber noch verbesserungsfähig.

Zusammenfassung der Erfindung

[0015] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer auch ohne größere oder kleinere Speichermöglichkeit für Kühlmittel zwischen der Pumpe und den Kühlmittelauslässen auf effiziente Weise jederzeit mit hoher Genauigkeit die benötigte Menge an Kühlmittel bereitgestellt werden kann.

[0016] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 12.

[0017] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung der Kühlstrecke zyklisch für den jeweiligen Zeitpunkt bei der Ermittlung des Pumpendrucks, der ausgangseitig der Pumpe herrschen soll, nicht nur den Gesamtkühlmittelstrom und den Arbeitsdruck des Kühlmittels berücksichtigt, sondern zusätzlich auch eine Änderung des Gesamtkühlmittelstroms berücksichtigt. Dadurch wird im Ergebnis für den Pumpendruck berücksichtigt, in welchem Umfang die im Leitungssystem befindliche Menge an Kühlmittel beschleunigt oder verzögert werden muss. Dadurch wird der jeweils gewünschte Gesamtkühlmittelstrom auf erheblich dynamischere Weise erreicht als im Stand der Technik.

[0018] In einer bevorzugten Ausgestaltung berücksichtigt die Steuereinrichtung bei der Ermittlung des Pumpendrucks einen von dem Gesamtkühlmittelstrom zu überwindenden Leitungswiderstand des Leitungssystems. Dadurch ergibt sich eine noch höhere Genauigkeit bei der Ermittlung des Pumpendrucks und damit der Ermittlung des Ansteuerzustands der Pumpe.

[0019] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung sind der Steuereinrichtung zusätzlich zu den Kühlmittelströmen, die zu dem jeweiligen Zeitpunkt über die Kühlmittelauslässe abgegeben werden sollen, für einen Prognosehorizont prognostizierte Kühlmittelströme bekannt, die für eine Anzahl von zukünftigen Zeitpunkten über die Kühlmittelauslässe abgegeben werden sollen. In diesem Fall ist es möglich, dass die Steuereinrichtung die

prognostizierten Kühlmittelströme mindestens eines der zukünftigen Zeitpunkte bei der Ermittlung des Ansteuerzustands der Pumpe berücksichtigt.

[0020] Insbesondere ist es möglich, dass die Steuereinrichtung für mindestens einen zukünftigen Zeitpunkt den zugehörigen Gesamtkühlmittelstrom ermittelt und bei der Ermittlung der Änderung des Gesamtkühlmittelstroms berücksichtigt. Im einfachsten Fall kann beispielsweise die Abweichung gegenüber dem Gesamtkühlmittelstrom für den jeweiligen Zeitpunkt ermittelt werden.

[0021] Zu noch besseren Ergebnissen führt es, wenn die Steuereinrichtung bei der Ermittlung der Änderung des Gesamtkühlmittelstroms zusätzlich zu den prognostizierten Kühlmittelströmen des mindestens einen zukünftigen Zeitpunkts weiterhin auch den Gesamtkühlmittelstrom mindestens eines vergangenen Zeitpunkts berücksichtigt. In diesem Fall liegt der jeweilige Zeitpunkt vorzugsweise in der Mitte zwischen dem mindestens einen zukünftigen Zeitpunkt und dem mindestens einen vergangenen Zeitpunkt.

[0022] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung umfassen die Kühlmittelauslässe Nutz-Kühlmittelauslässe und Bypass-Kühlmittelauslässe. In diesem Fall wird das heiße Walzgut ausschließlich mittels der über die Nutz-Kühlmittelauslässe abgegebenen Kühlmittelströme gekühlt. Die Bypass-Kühlmittelauslässe dienen als Möglichkeit, den Gesamtkühlmittelstrom zu beeinflussen, ohne die auf das heiße Walzgut aufgebrachten Kühlmittelströme zu ändern. Im Falle dieser Ausgestaltung bestimmt die Steuereinrichtung aufbauend auf den für den jeweiligen Zeitpunkt und/oder die zukünftigen Zeitpunkte über die Nutz-Kühlmittelauslässe abzugebenden Kühlmittelströmen die für den jeweiligen Zeitpunkt und/oder die zukünftigen Zeitpunkte über die Bypass-Kühlmittelauslässe abzugebenden Kühlmittelströme derart, dass jeder Gesamtkühlmittelstrom, der zu einem vor dem jeweiligen Zeitpunkt liegenden früheren Zeitpunkt im Rahmen der Ermittlung der für den früheren Zeitpunkt gültigen Änderung des Gesamtkühlmittelstroms berücksichtigt wurde, beibehalten wird.

[0023] Dadurch kann erreicht werden, dass der zeitliche Verlauf des Ansteuerzustands der Pumpe eine relativ niedrige Dynamik aufweist. Es kann also eine hinreichend "glatte" Ansteuerung der Pumpe erreicht werden. Dies vergrößert die Lebensdauer der Pumpe und vereinfacht deren Ansteuerung.

[0024] Alternativ oder zusätzlich zur Berücksichtigung der prognostizierten Kühlmittelströme des mindestens einen zukünftigen Zeitpunkts bei der Ermittlung der Änderung des Gesamtkühlmittelstroms ist es möglich, dass die Steuereinrichtung anhand der Prognose - soweit erforderlich - eine vorausschauende Anpassung des Ansteuerzustands der Pumpe vornimmt. Insbesondere ist es möglich, dass die Steuereinrichtung bei der Ermittlung des Ansteuerzustands der Pumpe - also der Ermittlung des Ansteuerzustands, mit dem die Pumpe zum jeweiligen Zeitpunkt angesteuert werden soll, -

- für die zukünftigen Zeitpunkte anhand der jeweiligen prognostizierten Kühlmittelströme einen jeweiligen prognostizierten Gesamtkühlmittelstrom ermittelt,
- für die zukünftigen Zeitpunkte Änderungen der ermittelten Gesamtkühlmittelströme ermittelt und
- für den jeweiligen Zeitpunkt und/oder zukünftige Zeitpunkte innerhalb des Prognosehorizonts die jeweiligen Gesamtkühlmittelströme in Abhängigkeit vom Einhalten oder Überschreiten einer vorbestimmten Maximaländerung beibehält oder vorausschauend anpasst, so dass nach Möglichkeit sowohl die Änderung des Gesamtkühlmittelstroms für den jeweiligen Zeitpunkt als auch die Änderungen der ermittelten Gesamtkühlmittelströme für die zukünftigen Zeitpunkte die Maximaländerung einhalten.

[0025] Diese Vorgehensweise entspricht der im Rahmen einer modellprädiktiven Regelung üblichen Vorgehensweise.

[0026] Falls eine Kenntnis bzw. Prognose von zukünftigen Gesamtkühlmittelströmen nicht möglich ist, ist es dennoch möglich, die Ansteuerung der Pumpe zu vergleichmäßigen. In diesem Fall umfassen die Kühlmittelauslässe - wie zuvor - Nutz-Kühlmittelauslässe und Bypass-Kühlmittelauslässe. Die Funktionalität der entsprechenden Kühlmittelauslässe ist ebenfalls wie zuvor. In diesem Fall bestimmt die Steuereinrichtung die über die Bypass-Kühlmittelauslässe abzugebenden Kühlmittelströme derart, dass über die Bypass-Kühlmittelauslässe abzugebende Kühlmittelströme möglichst nahe an einem Bypass-Soll-Kühlmittelstrom liegen und eine Änderung des über die Nutz-Kühlmittelauslässe und die Bypass-Kühlmittelauslässe insgesamt abzugebenden Gesamtkühlmittelstroms möglichst gering ist.

[0027] Die Ventile können im Einzelfall Schaltventile sein, die nur zwei Schaltzustände annehmen können, nämlich vollständig geöffnet und vollständig geschlossen. Vorzugsweise sind die Ventile jedoch stufenlos oder zumindest in mehreren Stufen ansteuerbar. Es existiert also vorzugsweise mindestens eine Zwischenstellung des jeweiligen Ventils zwischen "vollständig geöffnet" und "vollständig geschlossen".

[0028] Vorzugsweise bestimmt die Steuereinrichtung den Arbeitsdruck derart, dass die Ansteuerzustände der Ventile Mindestabstände zu einer Minimalansteuerung und einer Maximalansteuerung einhalten und der Ansteuerzustand der Pumpe so weit wie möglich konstant gehalten wird. Dadurch muss die Pumpe mit geringerer Dynamik angesteuert werden.

[0029] Vorzugsweise berücksichtigt die Steuereinrichtung im Rahmen der Ermittlung des Pumpendrucks zusätzlich auch eine zu überwindende Höhendifferenz. Die Höhendifferenz stellt einen konstanten Offset für den Pumpendruck dar.

[0030] Vorzugsweise ermittelt die Steuereinrichtung zusätzlich ein Steuersignal für ein der Pumpe parallel geschaltetes Kurzschlussventil und steuert das Kurzschlussventil entsprechend dem ermittelten Steuersignal an. Dadurch sind Betriebszustände der Pumpe erreichbar, die ohne Kurzschlussventil unmöglich bzw. unzulässig wären. Der über das Kurzschlussventil rückgeführte Kühlmittelstrom kann nach Bedarf dem Kühlmittelreservoir oder einer Verbindungsleitung zwischen dem Kühlmittelreservoir und der Pumpe zugeführt werden.

[0031] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung die Kühlstrecke gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0032] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke mit den Merkmalen des Anspruchs 14 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung die Kühlstrecke gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0033] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Kühlstrecke zum Kühlen von heißem Walzgut aus Metall mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst. Erfindungsgemäß weist die Kühlstrecke eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung auf, welche die Kühlstrecke gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt. Ein Kühlbereich der Kühlstrecke, innerhalb dessen das Kühlmittel auf das heiße Walzgut aufgebracht wird, kann insbesondere innerhalb einer Walzstraße angeordnet und/oder einer Walzstraße vorgeordnet und/oder der Walzstraße nachgeordnet sein. Der Begriff "und/oder" ist hierbei in dem Sinne zu verstehen, dass der Kühlbereich vollständig innerhalb der Walzstraße angeordnet sein kann, vollständig der Walzstraße nachgeordnet sein kann oder teilweise innerhalb der Walzstraße angeordnet und teilweise der Walzstraße nachgeordnet sein kann. Analoge Ausführungen gelten für eine Anordnung vor der Walzstraße.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0034] 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 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 3 eine Ventilkennlinie,
- FIG 4 eine Pumpenkennlinie,
- FIG 5 ein Zeitdiagramm,
- FIG 6 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 7 ein Zeitdiagramm,
- FIG 8 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 9 ein Pumpendiagramm,
- FIG 10 eine Pumpe mit einem parallel geschalteten Kurzschlussventil und
- FIG 11 eine Kühlstrecke.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0035] Gemäß FIG 1 weist eine Kühlstrecke einen Kühlbereich 1 auf. Innerhalb des Kühlbereichs 1 kann ein flüssiges Kühlmittel 2 - in der Regel Wasser - auf ein heißes Walzgut 3 aufgebracht werden und dadurch das heiße Walzgut 3 gekühlt werden. Das heiße Walzgut 3 besteht aus Metall, beispielsweise aus Stahl. Zum Aufbringen des flüssigen Kühlmittels 2 auf das heiße Walzgut 3 ist in dem Kühlbereich 1 eine Anzahl von Nutz-Kühlmittelauslässen 4 angeordnet. Der Kühlbereich 1 ist entsprechend der Darstellung in FIG 1 teilweise innerhalb einer Walzstraße angeordnet. Dies ist in FIG 1 dadurch angedeutet, dass einer der Nutz-Kühlmittelauslässe 4 einem letzten Walzgerüst 5 der Walzstraße (beispielsweise einer Fertigstraße) vorgeordnet ist. Der Kühlbereich 1 könnte jedoch ebenso vollständig innerhalb der Walzstraße angeordnet sein. Der Kühlbereich 1 ist weiterhin teilweise der Walzstraße nachgeordnet. Dies ist in FIG 1 dadurch angedeutet, dass die anderen Nutz-Kühlmittelauslässe 4 dem letzten Walzgerüst 5 der Walzstraße nachgeordnet sind. Der Kühlbereich 1 könnte jedoch ebenso vollständig der Walzstraße nachgeordnet sein. Im Falle der teilweisen oder vollständigen Nachordnung kann der Kühlbereich 1 beispielsweise zwischen dem letzten Walzgerüst 5 und einem Haspel 5' angeordnet sein. Weiterhin ist es auch möglich, dass der Kühlbereich 1 vollständig oder teilweise der Walzstraße vorgeordnet ist. Dies ist in FIG 1 und auch den übrigen Figuren nicht mit dargestellt.

[0036] Zusätzlich zu den Nutz-Kühlmittelauslässen 4 sind vorzugsweise weiterhin Bypass-Kühlmittelauslässe 6 vorhanden. In FIG 1 ist nur ein einziger derartiger Bypass-Kühlmittelauslass 6 dargestellt. In der Regel ist auch nur ein einziger Bypass-Kühlmittelauslass 6 vorhanden. Prinzipiell können aber auch mehrere Bypass-Kühlmittelauslässe 6 vorhanden sein. Unabhängig von der Anzahl an Bypass-Kühlmittelauslässen 6 erfolgt das Kühlen des heißen Walzguts

3 jedoch ausschließlich über die Nutz-Kühlmittelauslässe 4. Kühlmittel 2, das über einen der Bypass-Kühlmittelauslässe 6 abgegeben wird, dient nicht zur Kühlung des heißen Walzguts 3. Beispielsweise kann dieser Teil des Kühlmittels 2 über einen Auffangbehälter 6' aufgefangen und rückgeführt werden. Die Rückführung des Kühlmittels 2 aus dem Auffangbehälter 6' ist in FIG 1 nicht mit dargestellt.

[0037] Die Kühlstrecke weist eine Pumpe 7 auf. Die Pumpe 7 kann aus einem Kühlmittelreservoir 8 - beispielsweise einem Wassertank - Kühlmittel 2 entnehmen und über ein Leitungssystem 9 den Kühlmittelauslässen 4, 6 zuführen. Der Begriff "Pumpe" wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung im generischen Sinne gebraucht. Es kann sich bei der Pumpe 7 also um eine einzelne Pumpe oder mehrere hintereinander und/oder parallel angeordnete Pumpen handeln.

[0038] Zwischen der Pumpe 7 und den Kühlmittelauslässen 4, 6 sind Ventile 10 angeordnet. Mittels der Ventile 10 können Kühlmittelströme W_i , die über die Kühlmittelauslässe 4, 6 abgegeben werden, gesteuert werden. Der Index i steht, wenn er den Wert 0 aufweist, für den Bypass-Kühlmittelauslass 6, der zugehörige Kühlmittelstrom W_0 also für den über den Bypass-Kühlmittelauslass 6 abgegebenen Kühlmittelstrom. In analoger Weise steht der Index i , wenn er den Wert 1, 2, ... n aufweist, für jeweils einen der Nutz-Kühlmittelauslässe 4, der zugehörige Kühlmittelstrom W_i also für den über den jeweiligen Nutz-Kühlmittelauslass 4 abgegebenen Kühlmittelstrom. Die Kühlmittelströme W_i weisen die Einheit m^3/s auf.

[0039] Die Kühlstrecke weist eine Steuereinrichtung 11 auf, welche die Kühlstrecke gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird.

[0040] Die Steuereinrichtung 11 ist in der Regel als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Dies ist in FIG 1 dadurch angedeutet, dass in die Steuereinrichtung 11 die Zeichen " μP " für Mikroprozessor eingezeichnet sind. Die Steuereinrichtung 11 ist mit einem Computerprogramm 12 programmiert. Das Computerprogramm 12 umfasst Maschinencode 13, der von der Steuereinrichtung 11 abarbeitbar ist. Die Programmierung der Steuereinrichtung 11 mit dem Computerprogramm 12 (bzw., hiermit äquivalent, die Abarbeitung des Maschinencodes 13 durch die Steuereinrichtung 11) bewirkt, dass die Steuereinrichtung 11 die Kühlstrecke gemäß dem nachfolgend erläuterten Betriebsverfahren betreibt.

[0041] Aufgrund der Programmierung mit dem Computerprogramm 12 führt die Steuereinrichtung 11 das nachfolgend in Verbindung mit FIG 2 erläuterte Betriebsverfahren aus:

In einem Schritt S1 wird der Steuereinrichtung 11 für einen jeweiligen Zeitpunkt für die Nutz-Kühlmittelauslässe 4 der jeweilige Kühlmittelstrom W_i bekannt. Der jeweilige Kühlmittelstrom W_i ist derjenige Kühlmittelstrom, der zu dem jeweiligen Zeitpunkt über den jeweiligen Nutz-Kühlmittelauslass 4 abgegeben werden soll.

[0042] In einem Schritt S2 bestimmt die Steuereinrichtung 11 den Kühlmittelstrom W_0 . Der Kühlmittelstrom W_0 ist derjenige Kühlmittelstrom, der zu dem jeweiligen Zeitpunkt über den Bypass-Kühlmittelauslass 6 abgegeben werden soll. In der Regel erfolgt die Bestimmung des Kühlmittelstroms W_0 in Abhängigkeit von der Summe der über die Nutz-Kühlmittelauslässe 4 abzugebenden Kühlmittelströme W_i . Dies wird aus späteren Ausführungen noch ersichtlich werden.

[0043] In einem Schritt S3 bildet die Steuereinrichtung 11 durch Summieren der Kühlmittelströme W_i einen für den jeweiligen Zeitpunkt gültigen Gesamtkühlmittelstrom W_G .

[0044] In Einzelfällen kann es vorkommen, dass zusätzlich zu den Nutz-Kühlmittelauslässen 4 und dem Bypass-Kühlmittelauslass 6 noch weitere Verbraucher an das Leitungssystem 9 angeschlossen sind. In diesem Fall muss die von den weiteren Verbrauchern benötigte Kühlmittelmenge bei der Ermittlung des Gesamtkühlmittelstroms W_G mit berücksichtigt werden. Oftmals wird auch der weitere Verbraucher von der Steuereinrichtung 11 gesteuert, so dass dies ohne weiteres möglich ist. Alternativ ist es möglich, beispielsweise eine Istgröße zu erfassen, anhand derer der aktuelle Verbrauch des weiteren Verbrauchers ermittelt werden kann. Wenn keine weitergehende Information zur Verfügung steht, kann die von den weiteren Verbrauchern benötigte Kühlmittelmenge auch geschätzt werden.

[0045] In einem Schritt S4 ermittelt die Steuereinrichtung 11 eine Änderung δW_G des Gesamtkühlmittelstroms W_G . Die Änderung δW des Gesamtkühlmittelstroms W_G gibt an, in welchem Umfang sich der Gesamtkühlmittelstrom W_G zum jeweiligen Zeitpunkt ändert. Es handelt sich also um die Ableitung des Gesamtkühlmittelstroms W_G nach der Zeit. Die Steuereinrichtung 11 kann zur Ermittlung der Änderung δW des Gesamtkühlmittelstroms W_G insbesondere einen Gesamtkühlmittelstrom W_G' verwenden, der ihr aus einem vorherigen Zyklus bekannt ist.

[0046] In einem Schritt S5 aktualisiert die Steuereinrichtung 11 den Gesamtkühlmittelstrom W_G' für den vorherigen Zyklus. Beispielsweise übernimmt sie den Wert für den Gesamtkühlmittelstrom W_G , den sie im Schritt S3 ermittelt hat.

[0047] In einem Schritt S6 legt die Steuereinrichtung 11 einen Arbeitsdruck p_A (Einheit: N/m^2) fest. Der Arbeitsdruck p_A ist derjenige Druck, den das Kühlmittel 3 eingangsseitig der Ventile 10 aufweisen soll. Es ist möglich, dass der Arbeitsdruck p_A der Steuereinrichtung 11 vorgegeben wird. Alternativ ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 11 den Arbeitsdruck p_A eigenständig bestimmt.

[0048] In einem Schritt S7 ermittelt die Steuereinrichtung 11 Ansteuerzustände C_i (mit $i = 0, 1, \dots, n$) für die Ventile 10. Die Ansteuerzustände C_i können insbesondere Öffnungsstellungen der Ventile 10 sein.

[0049] Die Ventile 10 sind vorzugsweise stufenlos oder zumindest in mehreren Stufen ansteuerbar. Der über das

jeweilige Ventil 10 fließende Kühlmittelstrom W_i kann daher gemäß der Beziehung

$$W_i = g_i(C_i) \cdot \sqrt{p_A / p_{A0}} \quad (1)$$

bestimmt werden. In Gleichung 1 ist g_i eine für das jeweilige Ventil 10 gültige Kennlinie. Die Kennlinie g_i ist eine Funktion des jeweiligen Ansteuerzustands C_i . Sie gibt für einen Nennndruck p_{A0} an, wie groß bei einem bestimmten Ansteuerzustand C_i der über das jeweilige Ventil 10 fließende Kühlmittelstrom W_i jeweils ist. Dies ist in FIG 3 für ein einzelnes Ventil 10 rein exemplarisch dargestellt. Die Kennlinien g_i der Ventile 10 können entweder aus Datenblättern der Hersteller der Ventile 10 entnommen werden oder experimentell ermittelt werden. Zur Ermittlung des jeweils erforderlichen Ansteuerzustands C_i kann die Steuereinrichtung beispielsweise Gleichung 1 nach C_i auflösen.

[0050] In einem Schritt S8 ermittelt die Steuereinrichtung 11 einen Pumpendruck p_P . Der Pumpendruck p_P ist derjenige Druck, der ausgangsseitig der Pumpe 7 herrschen soll, so dass eingangsseitig der Ventile 10 der Arbeitsdruck p_A erreicht wird. Die Steuereinrichtung 11 berücksichtigt bei der Ermittlung des Pumpendrucks p_P zumindest den Gesamtkühlmittelstrom WG , den Arbeitsdruck p_A und die Änderung δW des Gesamtkühlmittelstroms WG . Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 11 den Pumpendruck p_P gemäß der Beziehung

$$p_P = p_A + p_H + p_1(WG) + p_2(\delta WG) \quad (2)$$

ermitteln. In Gleichung 2 ist p_H ein (in der Regel konstanter) Druck, der durch eine Höhendifferenz H hervorgerufen wird. Die Höhendifferenz H wird zwischen der Ausgangsseite der Pumpe 7 und den Auslässen der Ventile 10 gemessen. Der Druck p_1 beschreibt einen Druckabfall, der aufgrund der geförderten Gesamtkühlmittelstroms WG auf dem Weg von der Pumpe 7 zu den Ventilen 10 auftritt. Der Druck p_1 beschreibt somit den Leitungswiderstand des Leitungssystems 9. Der Druck p_1 ist eine - in der Regel nichtlineare - Funktion des Gesamtkühlmittelstroms WG . In den Druck p_1 gehen, soweit erforderlich, auch zusätzliche Widerstände des Leitungssystems 9 wie beispielsweise Filterwiderstände und dergleichen mehr ein. Der Druck p_2 ist eine Funktion der Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG . Er errechnet sich wie folgt:

Für die Beschleunigung des Kühlmittels 3 im Leitungssystem 9 wird nachfolgend davon ausgegangen, dass das Leitungssystem 9 über seine gesamte Länge L einheitlich einen Querschnitt A aufweist. Wenn dies nicht der Fall ist, muss die nachfolgende Betrachtung für die einzelnen Abschnitte des Leitungssystems 9 vorgenommen werden, die jeweils einen einheitlichen Querschnitt aufweisen.

[0051] Die im Leitungssystem 9 befindliche Menge an Kühlmittel 3 ergibt sich demzufolge zu AL , die Masse m des Kühlmittels 3 zu ρAL , wobei ρ die Dichte des Kühlmittels 3 ist (in der üblichen Einheit kg/m^3). Die erforderliche Beschleunigung a ergibt sich zu $\delta WG/A$. Damit ergibt sich die erforderliche Kraft F zu ma , also dem Produkt von Masse m und Beschleunigung a . Somit ergibt sich der erforderliche Druck p_2 zu F/A . Ineinander eingesetzt gilt somit:

$$p_2 = \frac{\rho \cdot L}{A} \cdot \delta WG \quad (3)$$

[0052] Hierzu ein Zahlenbeispiel: Man nehme an, das Leitungssystem 9 weise eine Länge L von 100 m und einen Querschnitt A von 1 m^2 auf. Das Kühlmittel 3 sei Wasser. Binnen 1 Sekunde soll der Gesamtkühlmittelstrom WG von $2 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht werden. Dann ist für die erforderliche Beschleunigung der im Leitungssystem 9 befindlichen Wassermenge ein Druck p_2 von 50 kPa erforderlich.

[0053] Nach der Ermittlung des erforderlichen Pumpendrucks p_P ermittelt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S9 einen zugehörigen Ansteuerzustand CP für die Pumpe 7, so dass ausgangsseitig der Pumpe 7 der gewünschte Pumpendruck p_P erreicht wird. Die Steuereinrichtung 11 berücksichtigt bei der Ermittlung den Pumpendruck p_P , den Gesamtkühlmittelstrom WG und einen Saugdruck p_S , der eingangsseitig der Pumpe 7 herrscht. Der Saugdruck p_S kann der Steuereinrichtung 11 vorgegeben sein oder messtechnisch erfasst werden. Er kann, je nach Lage des Einzelfalls, einen negativen oder einen positiven Wert oder auch den Wert 0 aufweisen. Die Steuereinrichtung 11 verwendet zur Ermittlung des Ansteuerzustands CP für die Pumpe 7 vorzugsweise eine Pumpenkennlinie. Die Pumpenkennlinie setzt den Gesamtkühlmittelstrom WG , den Saugdruck p_S eingangsseitig der Pumpe 7 und den Pumpendruck p_P ausgangsseitig der Pumpe 7 in Beziehung zueinander. Die Pumpenkennlinie kann beispielsweise entsprechend der Darstellung in FIG 4 als Eingangsparameter den Gesamtkühlmittelstrom WG und die Differenz zwischen Pumpendruck p_P und

Saugdruck pS aufweisen und als Ausgangsparameter den zugehörigen Ansteuerzustand CP liefern. Der Ansteuerzustand CP kann insbesondere die Drehzahl der Pumpe 7 sein. Derartige Kennlinien sind Fachleuten allgemein bekannt.

[0054] Nach der Ermittlung sämtlicher Ansteuerzustände Ci, CP steuert die Steuereinrichtung in einem Schritt S10 die Ventile 10 und die Pumpe 7 entsprechend den ermittelten Ansteuerzuständen Ci, CP an.

[0055] Vom Schritt S10 aus geht die Steuereinrichtung 11 zum Schritt S1 zurück. Die Steuereinrichtung 11 führt die Schritte S1 bis S10 also zyklisch aus, wobei die jeweilige Ausführung für einen jeweiligen Zeitpunkt gültig ist. Vorzugsweise erfolgt eine streng zyklische Ausführung, d.h. es existiert ein fester Arbeitstakt T, innerhalb dessen die Schritte S1 bis S10 jeweils einmal abgearbeitet werden. Der Arbeitstakt T kann beispielsweise bei 0,1 Sekunden bis 1,0 Sekunden liegen, vorzugsweise zwischen 0,2 Sekunden und 0,5 Sekunden, insbesondere bei ca. 0,3 Sekunden.

[0056] Im einfachsten Fall sind der Steuereinrichtung 11 nur die Nutz-Kühlmittelströme Wi (i = 1, 2, ... n) für den jeweiligen Zeitpunkt und für zeitlich vor dem jeweiligen Zeitpunkt liegende Zeitpunkte bekannt. Sogar in diesem Fall kann die Steuereinrichtung 11 den über den Bypass-Kühlmittelauslass 6 abgegebenen Kühlmittelstrom W0 dazu verwenden, den Ansteuerzustand CP der Pumpe 7 zu vergleichmäßigen. Zu diesem Zweck kann die Steuereinrichtung 11 beispielsweise eine Funktion F der Form

$$F = \alpha \cdot \left\| \sum_{i=1}^n W_i + W_0 - W_G' \right\| + \beta \|W_0 - W_0^*\| \quad (4)$$

ansetzen. WG' ist der Gesamtkühlmittelstrom des vorherigen Zeitpunkts. W0* ist ein für den Bypass-Kühlmittelauslass 6 vorgegebener Soll-Kühlmittelstrom. Er liegt vorzugsweise bei ca. 30 % bis ca. 70 % des maximalen Kühlmittelstroms für den Bypass-Kühlmittelauslass 6, insbesondere bei ca. 50 % dieses Wertes. α und β sind Wichtungsfaktoren. Sie sind nicht-negativ. Weiterhin kann - ohne Beschränkung der Allgemeinheit - gefordert werden, dass die beiden Wichtungsfaktoren α, β sich zu 1 summieren. Die Doppelstriche stehen für eine Norm. Bei der Norm kann es sich insbesondere um die übliche Quadratnorm handeln.

[0057] Die Kühlmittelströme Wi für die Nutz-Kühlmittelauslässe 4 für den jeweiligen Zeitpunkt sind der Steuereinrichtung 11 fest vorgegeben. Die Funktion F hat somit als einzigen frei wählbaren Parameter den über den Bypass-Kühlmittelauslass 6 abzugebenden Kühlmittelstrom W0. Es ist daher möglich, das Minimum der Funktion F zu ermitteln und als Kühlmittelstrom W0 für den Bypass-Kühlmittelauslass 6 denjenigen Wert heranzuziehen, bei dem sich dieses Minimum ergibt. Im Ergebnis wird dadurch erreicht, dass der über den Bypass-Kühlmittelauslass 6 abzugebende Kühlmittelstrom W0 möglichst nahe an dem Bypass-Soll-Kühlmittelstrom W0* liegt und die Änderung des Gesamtkühlmittelstroms WG möglichst gering ist.

[0058] Vorzugsweise sind der Steuereinrichtung 11 jedoch nicht nur die Kühlmittelströme für den jeweiligen Zeitpunkt und - bezogen auf den jeweiligen Zeitpunkt - für die Vergangenheit bekannt, sondern zusätzlich auch für einen Prognosehorizont PH prognostizierte Nutz-Kühlmittelströme, also diejenigen Kühlmittelströme, die für eine Anzahl von zukünftigen Zeitpunkten über die Nutz-Kühlmittelauslässe 4 abgegeben werden sollen. Dargestellt ist dies in FIG 5 für die sich jeweils ergebenden Gesamtkühlmittelströme WG und einen Prognosehorizont PH von (rein beispielhaft) vier Arbeitstakten T. Der Begriff "Prognosehorizont" ist weiterhin nicht in dem Sinne gemeint, wie weit der Steuereinrichtung 11 tatsächlich eine Prognose bekannt ist. Es kommt nur drauf an, wie weit die Steuereinrichtung 11 die Prognose im Rahmen der Ermittlung der Ansteuerzustände Ci, CP für die Ventile 10 und die Pumpe 7 verwertet. Der Prognosehorizont PH kann beispielsweise im Bereich von 2 bis 10 Sekunden liegen. Allgemein sollte er bei einer streng zyklischen Ausführung der Vorgehensweise von FIG 2 mit mehreren Arbeitstakten T korrespondieren.

[0059] In dem Fall, dass der Steuereinrichtung 11 auch die prognostizierten Nutz-Kühlmittelströme bekannt sind, kann die Steuereinrichtung 11 die prognostizierten Nutz-Kühlmittelströme mindestens eines der zukünftigen Zeitpunkte bei der Ermittlung des Ansteuerzustands C0 für das den Bypass-Kühlmittelauslass 6 steuernden Ventils 10 und/oder des Ansteuerzustands CP der Pumpe 7 berücksichtigen. Hierbei existieren verschiedene Möglichkeiten zur Berücksichtigung. Mehrere der Möglichkeiten werden nachstehend erläutert.

[0060] Um die Vorgehensweise darzulegen, werden die Kühlmittelströme nachfolgend mit zwei Indizes versehen. Der erste Index (i) steht - wie zuvor - für den jeweiligen Kühlmittelauslass 4, 6. Der zweite Index (j) steht für den Zeitpunkt, wobei ein Wert j = 0 für den jeweiligen Zeitpunkt steht, ein Wert j = 1 für den nachfolgenden Zeitpunkt usw.. In analoger Weise sind auch die Gesamtkühlmittelströme mit dem zweiten Index (j) versehen. Beispielsweise für den mit dem zweiten Index j = 2 bezeichneten Zeitpunkt sind also Wi2 die jeweiligen Kühlmittelströme für die einzelnen Kühlmittelauslässe 4, 6, während WG2 den zugehörigen Gesamtkühlmittelstrom bezeichnet.

[0061] Beispielsweise ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 11 für mindestens einen zukünftigen Zeitpunkt den zugehörigen Gesamtkühlmittelstrom WGj (mit j > 0) ermittelt und diesen Gesamtkühlmittelstrom WGj bei der Ermittlung der Änderung des Gesamtkühlmittelstroms δWG berücksichtigt. Bei dem entsprechenden Gesamtkühlmittelstrom WGj kann es sich insbesondere um den Gesamtkühlmittelstrom WG1 für den nächsten Zeitpunkt handeln.

[0062] Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 11 für den jeweiligen Zeitpunkt ($j = 0$) und den nächsten Zeitpunkt ($j = 1$) jeweils so, wie obenstehend erläutert, die Funktion F optimieren und dadurch für die beiden genannten Zeitpunkte jeweils den zugehörigen Gesamtkühlmittelstrom WG_0 , WG_1 ermitteln und sodann anhand der Beziehung

$$\delta WG = \frac{WG_1 - WG_0}{T} \quad (5)$$

die Änderung des Gesamtkühlmittelstroms δWG ermitteln. Vorzugsweise berücksichtigt die Steuereinrichtung 11 bei der Ermittlung der Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms jedoch zusätzlich zu den prognostizierten Nutz-Kühlmittelströmen W_{ij} des mindestens einen zukünftigen Zeitpunkts weiterhin auch den Gesamtkühlmittelstrom WG' mindestens eines vergangenen Zeitpunkts. Der jeweilige Zeitpunkt sollte in der Mitte zwischen dem mindestens einen zukünftigen Zeitpunkt und dem mindestens einen vergangenen Zeitpunkt liegen. Insbesondere kann die Steuereinrichtung 11 die Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG anhand der Beziehung

$$\delta WG = \frac{WG_1 - WG'}{2T} \quad (6)$$

ermitteln. Bei dem Gesamtkühlmittelstrom WG' für den vergangenen Zeitpunkt kann es sich alternativ um einen Sollwert oder um einen Istwert handeln. Dies steht im Gegensatz zu den übrigen im vorliegenden Fall verwendeten variablen Größen, bei denen es sich stets um Sollwerte handelt.

[0063] Die soeben erläuterte Vorgehensweise wird nachstehend in Verbindung mit FIG 6 nochmals detailliert dargelegt.

[0064] FIG 6 umfasst unter anderem - analog zu FIG 2 - die Schritte S6 bis S10. Diese Schritte werden daher nachstehend nicht nochmals erläutert. Die Schritte S1 bis S5 sind jedoch durch Schritte S11 bis S15 ersetzt.

[0065] Im Schritt S11 wird der Steuereinrichtung 11 - analog zum Schritt S1 - für einen jeweiligen Zeitpunkt für die Nutz-Kühlmittelauslässe 4 der jeweilige Kühlmittelstrom W_{i0} bekannt. Insoweit wird auf die obigen Ausführungen zu FIG 2 verwiesen. Zusätzlich werden der Steuereinrichtung 11 jedoch für spätere Zeitpunkte, also für Zeitpunkte, die nach dem jeweiligen Zeitpunkt liegen, für die Nutz-Kühlmittelauslässe 4 die jeweiligen Kühlmittelströme W_{ij} (mit $j = 1, 2, \dots, m$) bekannt.

[0066] Im Schritt S12 bestimmt die Steuereinrichtung 11 den Kühlmittelstrom W_{00} . Insbesondere ergibt sich der Kühlmittelstrom W_{00} anhand der Beziehung

$$W_{00} = WG' - \sum_{i=1}^n W_{i0} \quad (7)$$

[0067] Dadurch wird erreicht, dass bezüglich der Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG_0 die Prognose des vorherigen Zyklus eingehalten wird. Es wird also erreicht, dass der Gesamtkühlmittelstrom WG_0 des aktuellen Zyklus mit dem Gesamtkühlmittelstrom WG_1 des vorherigen Zyklus übereinstimmt. Der im vorherigen Zyklus prognostizierte Gesamtkühlmittelstrom wird also beibehalten. Diese Vorgehensweise ist im Rahmen von FIG 6, bei welcher zur Ermittlung der Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG_0 nur der Gesamtkühlmittelstrom WG_1 des nächsten Zyklus und der Gesamtkühlmittelstrom WG' des vorherigen Zyklus berücksichtigt werden, ausreichend. Analoge Vorgehensweisen können bei Bedarf auch für weitere Gesamtkühlmittelströme WG_j (mit $j > 1$) ergriffen werden. Insbesondere kann die Vorgehensweise für jeden Gesamtkühlmittelstrom WG_j ergriffen werden, der in einem vorherigen Zyklus im Rahmen der Ermittlung der für den jeweiligen Zyklus gültigen Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG_0 berücksichtigt wurde. Es werden also die Kühlmittelströme W_{0j} für den Bypass-Kühlmittelauslass 6 angepasst, um den Gesamtkühlmittelstrom WG_j , der im Rahmen des vorherigen Zyklus verwertet wurde, konstant halten zu können.

[0068] Weiterhin bestimmt die Steuereinrichtung 11 im Schritt S12 für zumindest einen Arbeitstakt T , für den der Steuereinrichtung 11 die prognostizierten Nutz-Kühlmittelströme W_{ij} bekannt sind, den zugehörigen Bypass-Kühlmittelstrom W_{0j} . Im Rahmen der konkreten Vorgehensweise von FIG 6 kann die Steuereinrichtung 11 beispielsweise den Bypass-Kühlmittelstrom W_{01} durch Minimieren der nachfolgenden Gleichung 8 ermitteln:

$$F = \alpha \left\| \sum_{i=1}^n W_{i1} + W_{01} - WG_0 \right\| + \beta \|W_{01} - W_{01}^*\| \quad (8)$$

[0069] Die Vorgehensweise ist die gleiche, wie sie obenstehend bereits in Verbindung mit Gleichung 4 erläutert wurde.

[0070] In einem Schritt S13 bildet die Steuereinrichtung 11 durch Summieren der entsprechenden Kühlmittelströme W_{ij} die entsprechenden Gesamtkühlmittelströme WG_j .

[0071] Im Schritt S14 ermittelt die Steuereinrichtung 11 die Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG . Der Unterschied zum Schritt S4 von FIG 2 besteht darin, dass die Steuereinrichtung 11 im Schritt S14 die obenstehend in Gleichung 6 angegebene Beziehung verwendet.

[0072] Im Schritt S15 aktualisiert die Steuereinrichtung 11 den Gesamtkühlmittelstrom WG' für den vorherigen Zyklus. Der Unterschied zum Schritt S5 von FIG 2 besteht darin, dass die Steuereinrichtung 11 im Schritt S15 nicht den Gesamtkühlmittelstrom WG_0 des aktuellen Zyklus verwendet, sondern den Gesamtkühlmittelstrom WG_1 , den sie im Rahmen der Ermittlung der Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG_0 verwertet hat.

[0073] Eine weitere Möglichkeit zur Berücksichtigung der prognostizierten Nutz-Kühlmittelströme wird nachstehend in Verbindung mit FIG 7 erläutert.

[0074] Wie obenstehend bereits erläutert, ermittelt die Steuereinrichtung 11 - siehe in FIG 6 den Schritt S13 - für den jeweiligen Zeitpunkt und nach diesem Zeitpunkt liegende zukünftige Zeitpunkte jeweils den zugehörigen Gesamtkühlmittelstrom WG_j . FIG 7 zeigt dies für einen Prognosehorizont PH von vier Arbeitstakten T. Dieser Prognosehorizont PH ist aber selbstverständlich nur beispielhaft. Der Prognosehorizont PH könnte auch größer oder kleiner sein. Die ermittelten Gesamtkühlmittelströme WG_j sind in FIG 7 durch kleine Kreuze angedeutet.

[0075] FIG 7 zeigt weiterhin die jeweilige Summe der Nutz-Kühlmittelströme W_{ij} . Diese Ermittlung ist im Rahmen des Prognosehorizonts PH ohne weiteres möglich, da der Steuereinrichtung 11 die Nutz-Kühlmittelströme W_{ij} bekannt sind. Die zugehörigen Summen der Nutz-Kühlmittelströme W_{ij} sind in FIG 7 durch kleine Kreise angedeutet.

[0076] Die Steuereinrichtung 11 ermittelt nunmehr weiterhin durch Bilden der Differenz unmittelbar aufeinanderfolgender Gesamtkühlmittelströme WG_j - beispielsweise der Gesamtkühlmittelströme WG_1 und WG_2 - die zugehörigen Änderungen der Gesamtkühlmittelströme WG_j . Sodann prüft die Steuereinrichtung 11 innerhalb des Prognosehorizonts PH, ob die ermittelten Änderungen der Gesamtkühlmittelströme WG_j jeweils eine vorbestimmte Maximaländerung δ_{max} einhalten oder nicht. Wenn die Gesamtkühlmittelströme WG_j die Maximaländerung δ_{max} einhalten, behält die Steuereinrichtung 11 die ermittelten Gesamtkühlmittelströme WG_j bei. Wenn die Gesamtkühlmittelströme WG_j die Maximaländerung δ_{max} hingegen nicht einhalten, passt die Steuereinrichtung 11 die ermittelten Gesamtkühlmittelströme WG_j vorausschauend an. Die zugehörigen modifizierten Gesamtkühlmittelströme WG_j sind in FIG 7 durch kleine Rechtecke dargestellt.

[0077] Die Anpassung erfolgt nach Möglichkeit derart, dass sowohl die Änderung δWG des Gesamtkühlmittelstroms WG_0 für den jeweiligen Zeitpunkt als auch die Änderungen der ermittelten Gesamtkühlmittelströme WG_j für die zukünftigen Zeitpunkte die Maximaländerung δ_{max} einhalten. Diese Situation ist in FIG 7 dargestellt.

[0078] Nach Möglichkeit behält die Steuereinrichtung 11 im Rahmen der Anpassung die für die verschiedenen Zeitpunkte vorgegebenen Nutz-Kühlmittelströme W_{ij} bei und passt nur die Bypass-Kühlmittelströme W_{0j} an. Falls das Einhalten der Maximaländerung δ_{max} mit einer Anpassung ausschließlich der Bypass-Kühlmittelströme W_{0j} nicht erreicht werden kann, muss jedoch auch eine Anpassung der Nutz-Kühlmittelströme W_{ij} vorgenommen werden.

[0079] Es kann also, basierend auf der Prognose, eine vorausschauende prädiktive Planung erfolgen. Dies kann nicht nur, so wie in FIG 7 dargestellt, bei einer Erhöhung der angeforderten Gesamtkühlmittelströme WG_j erforderlich sein, sondern auch bei einer Reduzierung der angeforderten Gesamtkühlmittelströme WG_j .

[0080] Im Rahmen der Vorgehensweise gemäß FIG 2 - gleiches gilt für die Vorgehensweise gemäß FIG 6 - wird der Arbeitsdruck p_A im Schritt S6 einmalig festgesetzt und wird danach nicht mehr geändert. Es ist jedoch möglich, die Vorgehensweise von FIG 2 so zu modifizieren, wie dies nachfolgend in Verbindung mit FIG 8 erläutert wird. Eine analoge Modifikation ist für die Vorgehensweise von FIG 6 möglich.

[0081] Gemäß FIG 8 ist zwischen den Schritten S9 und S10 ein Schritt S21 vorhanden. Im Schritt S21 prüft die Steuereinrichtung 11, ob die Ansteuerzustände C_i der Ventile 10 Mindestabstände zu einer Minimalansteuerung des jeweiligen Ventils 10 und einer Maximalansteuerung des jeweiligen Ventils 10 einhalten. Weiterhin prüft die Steuereinrichtung 11 im Schritt S21, in welchem Umfang der Ansteuerzustand CP der Pumpe 7 geändert worden ist. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 11 im Rahmen des Schrittes S21 ein Optimierungsproblem mit zu beachtenden Randbedingungen ansetzen. Derartige Optimierungsprobleme sind Fachleuten allgemein bekannt.

[0082] Wenn die Steuereinrichtung 11 im Schritt S21 zu dem Ergebnis kommt, dass die Ansteuerzustände C_i der Ventile 10 die Mindestabstände einhalten und der Ansteuerzustand CP der Pumpe 7 so weit wie möglich konstant gehalten wird, geht die Steuereinrichtung 11 zum Schritt S10 über. Anderenfalls geht die Steuereinrichtung 11 zu einem Schritt S22 über. Im Schritt S22 variiert die Steuereinrichtung 11 den angesetzten Arbeitsdruck p_A im Sinne der genannten Optimierung.

[0083] Die Pumpe 7 weist einen zulässigen Betriebsbereich auf. Insbesondere ist der Betrieb der Pumpe 7 entsprechend der Darstellung in FIG 9 nur zwischen einer minimalen Drehzahl n_{min} und einer maximalen Drehzahl n_{max} zulässig. Weiterhin muss die geforderte Kühlmittelmenge - also der jeweilige Gesamtkühlmittelstrom WG - zwischen einem minimal zulässigen Kühlmittelstrom WG_{min} und einem maximal zulässigen Kühlmittelstrom WG_{max} liegen. Der

minimal zulässige Kühlmittelstrom $WG_{\min}$ und der maximal zulässige Kühlmittelstrom $WG_{\max}$ sind hierbei entsprechend der Darstellung in FIG 9 von der Differenz zwischen dem Pumpendruck p_P und dem Saugdruck p_S abhängig. Ohne weitere Maßnahmen kann die Pumpe 7 daher nur innerhalb des in FIG 9 unschraffierten Bereichs betrieben werden.

[0084] Es ist jedoch möglich, der Pumpe 7 entsprechend der Darstellung in FIG 10 ein Kurzschlussventil 14 parallel zu schalten. Dadurch ist es - je nach Ansteuerung des Kurzschlussventils 14 - möglich, zwischen 0 % und 100 % des von der Pumpe 7 geförderten Kühlmittelstroms über das Kurzschlussventil 14 abzuzweigen und zur Eingangsseite der Pumpe 7 oder zum Kühlmittelreservoir 8 zurückzuführen. Dadurch verbleibt nur der übrige, nicht zurückgeführte Anteil als Gesamtkühlmittelstrom WG . Somit ist es nicht nur möglich, die Gesamtheit von Pumpe 7 und Kurzschlussventil 14 nicht nur innerhalb des in FIG 9 unschraffierten Bereichs zu betreiben. Dies wäre auch ohne das Kurzschlussventil 14 möglich. Vielmehr ist es aufgrund des Kurzschlussventils 14 zusätzlich auch möglich, die Gesamtheit von Pumpe 7 und Kurzschlussventil 14 innerhalb des in FIG 9 kreuzweise schraffierten Bereichs zu betreiben. Die Ermittlung eines Steuersignals CK für das Kurzschlussventil 14 kann beispielsweise im Rahmen des Schrittes S9 (vergleiche FIG 2 und FIG 6) erfolgen. Selbstverständlich erfolgt in diesem Fall im Schritt S10 eine entsprechende Ansteuerung des Kurzschlussventils 14 durch die Steuereinrichtung 11.

[0085] Vorzugsweise erfolgt im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 10 zunächst eine Prüfung, ob die Pumpe 7 in einem für sich gesehen zulässigen Bereich betrieben werden kann. Wenn dies der Fall ist, bleibt das Kurzschlussventil 14 (vollständig) geschlossen. Wenn dies nicht der Fall ist, wird das Kurzschlussventil 14 so weit geöffnet, wie dies erforderlich ist, um die Pumpe 7 in einem für sich gesehen zulässigen Bereich zu betreiben.

[0086] Die vorliegende Erfindung wurde obenstehend für eine einfache Ausgestaltung des Leitungssystems 9 erläutert, nämlich gemäß der Darstellung in FIG 1 für eine einzelne direkte Verbindung von der Pumpe 7 zu den Ventilen 10, wobei die Längen der einzelnen Sticleitungen zwischen einem Knotenpunkt 15, an der die Sticleitungen zu den einzelnen Ventilen 10 abgehen, und den Kühlmittelauslässen 4, 6 vernachlässigt werden können.

[0087] Die vorliegende Erfindung ist jedoch auch anwendbar, wenn das Leitungssystem 9 komplexer ausgestaltet ist. In diesem Fall muss lediglich berücksichtigt werden, dass für jeden Knotenpunkt, an dem eine Verzweigung auftritt, die Summe der in den jeweiligen Knotenpunkt einströmenden und von dem jeweiligen Knotenpunkt ausströmenden Kühlmittelströme insgesamt 0 ergeben muss und dass an dem jeweiligen Knotenpunkt für jeden angeschlossenen Abschnitt des Leitungssystems 9 derselbe Druck gegeben sein muss. Die Vorgehensweise ist analog zu den Kirchhoffschen Regeln der Elektrotechnik. Die Vorgehensweise wird dadurch zwar rechentechnisch komplizierter, die Systematik bleibt aber unverändert.

[0088] Die Systematik bleibt sogar dann unverändert, wenn in einzelnen der Abschnitte des Leitungssystems 9 eigene Pumpen angeordnet sind. Dies wird nachfolgend in Verbindung mit FIG 11 anhand eines Beispiels näher erläutert.

[0089] Gemäß FIG 11 weist das Leitungssystem 9 drei Abschnitte 16a, 16b, 16c auf. Der Abschnitt 16a erstreckt sich von einer Pumpe 7a bis zu einem Knotenpunkt 15. Er weist die Länge L_a und den Querschnitt A_a auf. Von dem Knotenpunkt 15 erstrecken sich die beiden anderen Abschnitte 16b, 16c zu jeweiligen Nutz-Kühlmittelauslässen 4b, 4c und jeweiligen Bypass-Kühlmittelauslässen 6b, 6c. In dem Abschnitt 16b befindet sich kurz hinter dem Knotenpunkt 15 eine weitere Pumpe 7b. Der Abschnitt 16b weist eine Länge L_b und einen Querschnitt A_b auf. In dem Abschnitt 16c befindet sich keine Pumpe. Der Abschnitt 16c weist eine Länge L_c und einen Querschnitt A_c auf. Den Kühlmittelauslässen 4b, 4c und 6b, 6c sind jeweils Ventile 10b, 10c vorgeordnet. Die in FIG 11 gezeigte Konfiguration kann beispielsweise bei einer Kühlstrecke auftreten, die einerseits eine Intensivkühlung (Kühlmittelauslässe 4b) und zusätzlich eine Laminarkühlung (Kühlmittelauslässe 4c) sowie für jede der beiden Kühlungen je einen Bypass-Kühlmittelauslass 6b, 6c aufweist. Das heiße Walzgut 3 und die Anordnung der Nutz-Kühlmittelauslässe 4b, 4c im Kühlbereich 1 sind in FIG 11 nicht mit dargestellt, um FIG 11 nicht zu überfrachten.

[0090] Die Ansteuerzustände C_{ic} der Ventile 10c im Abschnitt 16c ergeben sich gemäß

$$W_{ic} = g_{ic}(C_{ic}) \cdot \sqrt{p_{Ac} / p_{A0}} \quad (9)$$

[0091] W_{ic} sind die jeweiligen Kühlmittelströme, g_{ic} ist die jeweilige Ventilkennlinie, p_{Ac} der eingangsseitig der Ventile 10c herrschende Arbeitsdruck. p_{A0} ist, wie bereits in Verbindung mit Gleichung 1 erläutert, ein Nenndruck p_{A0} . Dadurch ergibt sich der Gesamtkühlmittelstrom W_c für den Abschnitt 16c zu

$$W_c = \sum W_{ic} \quad (10)$$

[0092] Hieraus folgt unter Vernachlässigung von zu überwindenden Höhendifferenzen für den Druck p_{15} am Knotenpunkt 15:

$$p_{15} = p_{Ac} + p_{1c}(W_c) + p_{2c}(\delta W_c) \quad (11)$$

p_{1c} und p_{2c} sind analog zu den Funktionen p₁ und p₂ definiert, jedoch auf den Abschnitt 16c bezogen. δW_c ist die Änderung des Gesamtkühlmittelstroms W_c .

[0093] In analoger Weise ergeben sich die Ansteuerzustände C_{ib} der Ventile 10b im Abschnitt 16b gemäß

$$W_{ib} = g_{ib}(C_{ib}) \cdot \sqrt{p_{Ab} / p_{A0}} \quad (12)$$

[0094] W_{ib} sind die jeweiligen Kühlmittelströme, g_{ib} ist die jeweilige Ventilkennlinie, p_{Ab} der eingangsseitig der Ventile 10b herrschende Arbeitsdruck. p_{A0} ist wie zuvor ein Nenndruck p_{A0} . Dadurch ergibt sich der Gesamtkühlmittelstrom W_b für den Abschnitt 16b zu

$$W_b = \sum W_{ib} \quad (13)$$

[0095] Hieraus folgt - erneut unter Vernachlässigung von zu überwindenden Höhendifferenzen - für den Pumpendruck p_{Pb} ausgangsseitig der Pumpe 7b:

$$p_{Pb} = p_{Ab} + p_{1b}(W_b) + p_{2b}(\delta W_b) \quad (14)$$

p_{1b} und p_{2b} sind analog zu den Funktionen p_1 und p_2 definiert, jedoch auf den Abschnitt 16b bezogen. δW_b ist die Änderung des Gesamtkühlmittelstroms W_b . Dadurch kann auch entsprechend

$$C_{Pb} = C_{Pb}(W_b, p_{Pb} - p_{15}) \quad (15)$$

der erforderliche Ansteuerzustand C_{Pb} der Pumpe 7b ermittelt werden.

[0096] Der im Abschnitt 16a fließende Gesamtkühlmittelstrom W_a ergibt sich als Summe der in den Abschnitten 16b und 16c fließenden Gesamtkühlmittelströme W_b , W_c :

$$W_a = W_b + W_c \quad (16)$$

[0097] Dadurch kann nun anhand der Beziehung

$$p_{Pa} = p_{16} + p_{1a}(W_a) + p_{2a}(\delta W_a) \quad (17)$$

der erforderliche Pumpendruck p_{Pa} ausgangsseitig der Pumpe 7a ermittelt werden. p_{1a} und p_{2a} sind analog zu den Funktionen p_1 und p_2 definiert, jedoch auf den Abschnitt 16a bezogen. Anhand des Pumpendrucks p_{Pa} kann nun mittels der Beziehung

$$C_{Pa} = C_{Pa}(W_a, p_{Pa} - p_S) \quad (18)$$

der Ansteuerzustand C_{Pa} der Pumpe 7a ermittelt werden.

[0098] Nunmehr sind die Arbeitsdrücke p_{Ab} und p_{Ac} Zielgrößen des Systems, die vorgegeben oder unter Umständen auch von der Steuereinrichtung 11 bestimmt werden können. Die Gesamtkühlmittelströme W_b , W_c sind bekannt. Für die Ermittlung der Änderungen δW_b , δW_c (und damit im Ergebnis auch der Änderung δW_a) kann auf die oben stehenden Ausführungen in Verbindung mit den FIG 2 und 6 verwiesen werden. Das Gleichungssystem ist somit eindeutig lösbar.

[0099] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere werden die geforderten Kühlmittelströme W_i , W_G mit hoher Genauigkeit zur Verfügung gestellt, ohne einen Wassertank oder andere Ausgleichsmaßnahmen zu benötigen. Der Arbeitsdruck p_A kann nach Bedarf gewählt und sogar während des Betriebs der Kühlstrecke angepasst werden. Der Betriebsbereich der Kühlstrecke wird erweitert. Insbesondere können nach Bedarf sowohl der Saugdruck

pS als auch der Pumpendruck pP variiert werden. Dies gilt sowohl für eine reine Laminarkühlung als auch für eine reine Intensivkühlung als auch für eine Kühlstrecke, welche sowohl eine Laminarkühlung als auch eine Intensivkühlung umfasst. Aufgrund der Anpassung des Arbeitsdrucks pA und des Pumpendrucks pP kann in erheblichem Umfang Energie eingespart werden. In einer Warmbreitbandstraße kann dadurch der mittlere Energieverbrauch, der zum Pumpen des Kühlmittels 2 erforderlich ist, gegenüber den Lösungen des Standes der Technik um mindestens 30 % gesenkt werden, in manchen Fällen sogar um bis zu 50 %. Die hiermit verbundenen Kosteneinsparungen können im Bereich von weit oberhalb von 100.000 € pro Jahr liegen. Weiterhin ist das Verfahren extrem flexibel. Innerhalb weniger Sekunden kann der Gesamtkühlmittelstrom WG von einem Minimalwert auf einen Maximalwert gesteigert werden bzw. umgekehrt von dem Maximalwert auf den Minimalwert gesenkt werden, ohne dass die Genauigkeit der Kühlung darunter leidet.

[0100] 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 Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0101]

1	Kühlbereich
2	Kühlmittel
3	Walzgut
4, 4b, 4c	Nutz-Kühlmittelauslässe
5	Walzgerüst
5'	Haspel
6, 6b, 6c	Bypass-Kühlmittelauslass
6'	Auffangbehälter
7, 7a, 7b	Pumpen
8	Kühlmittelreservoir
9	Leitungssystem
10, 10b, 10c	Ventile
11	Steuereinrichtung
12	Computerprogramm
13	Maschinencode
14	Kurzschlussventil
15	Knotenpunkt
16a, 16b, 16c	Abschnitte des Leitungssystems
A, Aa, Ab, Ac	Querschnitt des Leitungssystems
Ci, Cib, Cic	Ansteuerzustände der Ventile
CP, CPa, CPb	Ansteuerzustände von Pumpen
F	Funktion
gi, gib, gic	Ventilkennlinien
H	Höhendifferenz
i, j	Indizes
L, La, Lb, Lc	Länge des Leitungssystems
nmin, nmax	Drehzahlen
p1, p1a bis p1c p2, p2a bis p2c	Funktionen
p15	Druck
pA, pAb, pAc	Arbeitsdrücke
pA0	Nenndruck
PH	Prognosehorizont
pP, pPa, pPb	Pumpendrucke
pS	Saugdruck
S1 bis S22	Schritte
T	Arbeitstakt
WG, WG', WGj	Gesamtkühlmittelströme
Wgmin, Wgmax Wi, W0, Wij	Kühlmittelströme
W0*	Soll-Kühlmittelstrom

α, β	Wichtungsfaktoren
$\delta WG, \delta Wa, \delta Wb, \delta Wc$	Änderung des Gesamtkühlmittelstroms
δ_{max}	Maximaländerung
ρ	Dichte des Kühlmittels

5

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke zum Kühlen von heißem Walzgut (3) aus Metall, wobei die Kühlstrecke eine Pumpe (7) aufweist, die aus einem Kühlmittelreservoir (8) Kühlmittel (2) entnimmt und über ein Leitungssystem (9) einer Anzahl von Kühlmittelauslässen (4, 6) zuführt, die über den Kühlmittelauslässen (4, 6) vorgeordnete Ventile (10) gesteuert werden,
- wobei eine Steuereinrichtung (11) der Kühlstrecke zyklisch für einen jeweiligen Zeitpunkt
- unter Berücksichtigung von Kühlmittelströmen (W_i), die zu dem jeweiligen Zeitpunkt über die Kühlmittelauslässe (4, 6) abgegeben werden sollen, in Verbindung mit einem eingangsseitig der Ventile (10) anstehenden Arbeitsdruck (p_A) des Kühlmittels (2) Ansteuerzustände (C_i) für die Ventile (10) ermittelt,
 - durch Summieren der Kühlmittelströme (W_i) einen Gesamtkühlmittelstrom (WG) ermittelt,
 - unter Berücksichtigung des Gesamtkühlmittelstroms (WG), des Arbeitsdrucks (p_A) des Kühlmittels (2) und zusätzlich einer Änderung (δWG) des Gesamtkühlmittelstroms (WG) einen Pumpendruck (p_P) ermittelt, der ausgangseitig der Pumpe (7) herrschen soll, so dass eingangsseitig der Ventile (10) der Arbeitsdruck (p_A) erreicht wird,
 - unter Berücksichtigung des Gesamtkühlmittelstroms (WG), des Pumpendrucks (p_P) und eines eingangsseitig der Pumpe (7) herrschenden Saugdrucks (p_S) einen Ansteuerzustand (CP) für die Pumpe (7) ermittelt und
 - die Ventile (10) und die Pumpe (7) entsprechend den ermittelten Ansteuerzuständen (C_i, CP) ansteuert.
2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (11) bei der Ermittlung des Pumpendrucks (p_P) einen von dem Gesamtkühlmittelstrom (WG) zu überwindenden Leitungswiderstand (p_2) des Leitungssystems (9) berücksichtigt.
3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Steuereinrichtung (11) zusätzlich zu den Kühlmittelströmen (W_{ij}), die zu dem jeweiligen Zeitpunkt über die Kühlmittelauslässe (4, 6) abgegeben werden sollen, für einen Prognosehorizont (PH) prognostizierte Kühlmittelströme (W_{ij}) bekannt sind, die für eine Anzahl von zukünftigen Zeitpunkten über die Kühlmittelauslässe (4, 6) abgegeben werden sollen, und dass die Steuereinrichtung (11) die prognostizierten Kühlmittelströme (W_{ij}) mindestens eines der zukünftigen Zeitpunkte bei der Ermittlung des Ansteuerzustands (CP) der Pumpe (7) berücksichtigt.
4. Betriebsverfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (11) für mindestens einen zukünftigen Zeitpunkt den zugehörigen Gesamtkühlmittelstrom (WG_j) ermittelt und bei der Ermittlung der Änderung (δWG) des Gesamtkühlmittelstroms (WG_0) berücksichtigt.
5. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (11) bei der Ermittlung der Änderung (δWG) des Gesamtkühlmittelstroms (WG_0) zusätzlich zu den prognostizierten Kühlmittelströmen (W_{ij}) des mindestens einen zukünftigen Zeitpunkts weiterhin auch den Gesamtkühlmittelstrom (WG') mindestens eines vergangenen Zeitpunkts berücksichtigt und dass der jeweilige Zeitpunkt in der Mitte zwischen dem mindestens einen zukünftigen Zeitpunkt und dem mindestens einen vergangenen Zeitpunkt liegt.
6. Betriebsverfahren nach Anspruch 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet,
- dass die Kühlmittelauslässe (4, 6) Nutz-Kühlmittelauslässe (4) und Bypass-Kühlmittelauslässe (6) umfassen,

- **dass** das heiße Walzgut (3) ausschließlich mittels der über die Nutz-Kühlmittelauslässe (4) abgegebenen Kühlmittelströme (W_{ij}) gekühlt wird,
- **dass** die Steuereinrichtung (11) aufbauend auf den für den jeweiligen Zeitpunkt und/oder die zukünftigen Zeitpunkte über die Nutz-Kühlmittelauslässe (4) abzugebenden Kühlmittelströmen (W_{ij}) die für den jeweiligen Zeitpunkt und/oder die zukünftigen Zeitpunkte über die Bypass-Kühlmittelauslässe (6) abzugebenden Kühlmittelströme (W_{i0}) derart bestimmt, dass jeder Gesamtkühlmittelstrom (WG_j), der zu einem vor dem jeweiligen Zeitpunkt liegenden früheren Zeitpunkt im Rahmen der Ermittlung der für den früheren Zeitpunkt gültigen Änderung (δWG) des Gesamtkühlmittelstroms (WG) berücksichtigt wurde, beibehalten wird.

7. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Steuereinrichtung (11) bei der Ermittlung des Ansteuerzustands (CP) der Pumpe (7)

- für die zukünftigen Zeitpunkte anhand der jeweiligen prognostizierten Kühlmittelströme (W_{ij}) einen jeweiligen prognostizierten Gesamtkühlmittelstrom (WG_j) ermittelt,
- für die zukünftigen Zeitpunkte Änderungen der ermittelten Gesamtkühlmittelströme (WG_j) ermittelt und
- für den jeweiligen Zeitpunkt und/oder zukünftige Zeitpunkte innerhalb des Prognosehorizonts (PH) die jeweiligen Gesamtkühlmittelströme (WG_j) in Abhängigkeit vom Einhalten oder Überschreiten einer vorbestimmten Maximaländerung (δ_{max}) beibehält oder vorausschauend anpasst, so dass nach Möglichkeit sowohl die Änderung des Gesamtkühlmittelstroms (WG_0) für den jeweiligen Zeitpunkt als auch die Änderungen der ermittelten Gesamtkühlmittelströme (WG_j) für die zukünftigen Zeitpunkte die Maximaländerung (δ_{max}) einhalten.

8. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Kühlmittelauslässe (4, 6) Nutz-Kühlmittelauslässe (4) und Bypass-Kühlmittelauslässe (6) umfassen,
- **dass** das heiße Walzgut (3) ausschließlich mittels der über die Nutz-Kühlmittelauslässe (4) abgegebenen Kühlmittelströme (W_i) gekühlt wird und
- **dass** die Steuereinrichtung (11) die über die Bypass-Kühlmittelauslässe (6) abzugebenden Kühlmittelströme (W_0) derart bestimmt, dass die über die Bypass-Kühlmittelauslässe (6) abzugebenden Kühlmittelströme (W_0) möglichst nahe an einem Bypass-Soll-Kühlmittelstrom (W_0^*) liegen und eine Änderung (δWG) des über die Nutz-Kühlmittelauslässe (4) und die Bypass-Kühlmittelauslässe (6) insgesamt abzugebenden Gesamtkühlmittelstroms (WG) möglichst gering ist.

9. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventile (10) stufenlos oder zumindest in mehreren Stufen ansteuerbar sind.

10. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (11) den Arbeitsdruck (pA) derart bestimmt, dass die Ansteuerzustände (C_i) der Ventile (10) Mindestabstände zu einer Minimalansteuerung und einer Maximalansteuerung einhalten und der Ansteuerzustand (CP) der Pumpe (7) so weit wie möglich konstant gehalten wird.

11. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (11) im Rahmen der Ermittlung des Pumpendrucks (pP) zusätzlich auch eine zu überwindende Höhendifferenz (H) berücksichtigt.

12. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (11) zusätzlich ein Steuersignal (CK) für ein der Pumpe (7) parallel geschaltetes Kurzschlussventil (14) ermittelt und das Kurzschlussventil (14) entsprechend dem ermittelten Steuersignal (CK) ansteuert.

13. Computerprogramm, das Maschinencode (13) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (11) für eine Kühlstrecke abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (13) durch die Steuereinrichtung (11) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (11) die Kühlstrecke gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

14. Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke, wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (12) nach Anspruch 13 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Kühlstrecke gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 betreibt.

5 15. Kühlstrecke zum Kühlen von heißem Walzgut (3) aus Metall,

- wobei die Kühlstrecke eine Pumpe (7) aufweist, die aus einem Kühlmittelreservoir (8) Kühlmittel (2) entnimmt und über ein Leitungssystem (9) einer Anzahl von Kühlmittelauslässen (4, 6) zuführt, die über den Kühlmittelauslässen (4, 6) vorgeordnete Ventile (10) gesteuert werden,

10 - wobei die Kühlstrecke eine Steuereinrichtung (11) aufweist, welche die Kühlstrecke gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 betreibt.

16. Kühlstrecke nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet,

15 **dass** ein Kühlbereich (1) der Kühlstrecke, innerhalb dessen das Kühlmittel (2) auf das heiße Walzgut (3) aufgebracht wird, innerhalb einer Walzstraße angeordnet und/oder einer Walzstraße vorgeordnet und/oder der Walzstraße nachgeordnet ist.

FIG 1

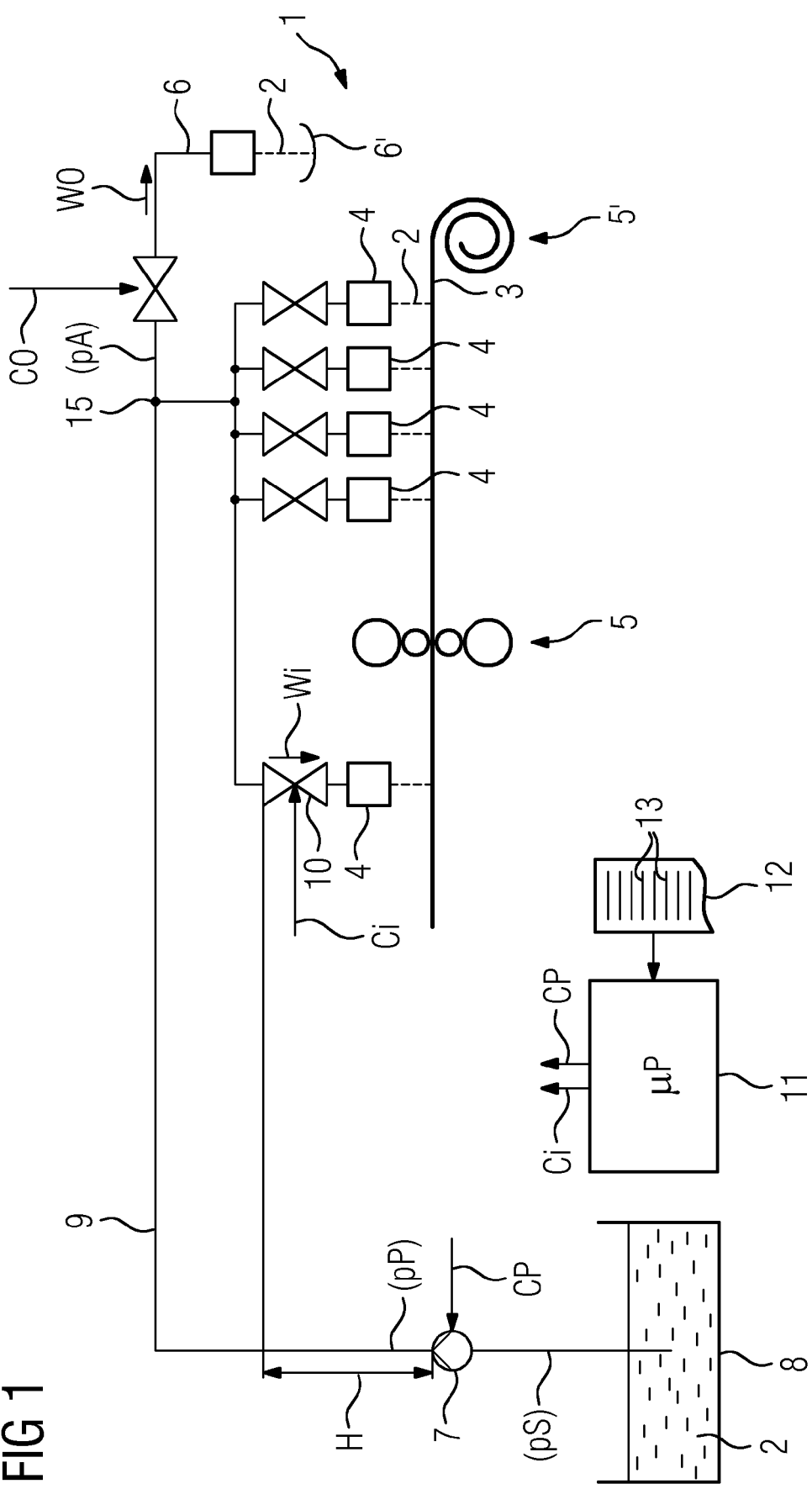


FIG 2

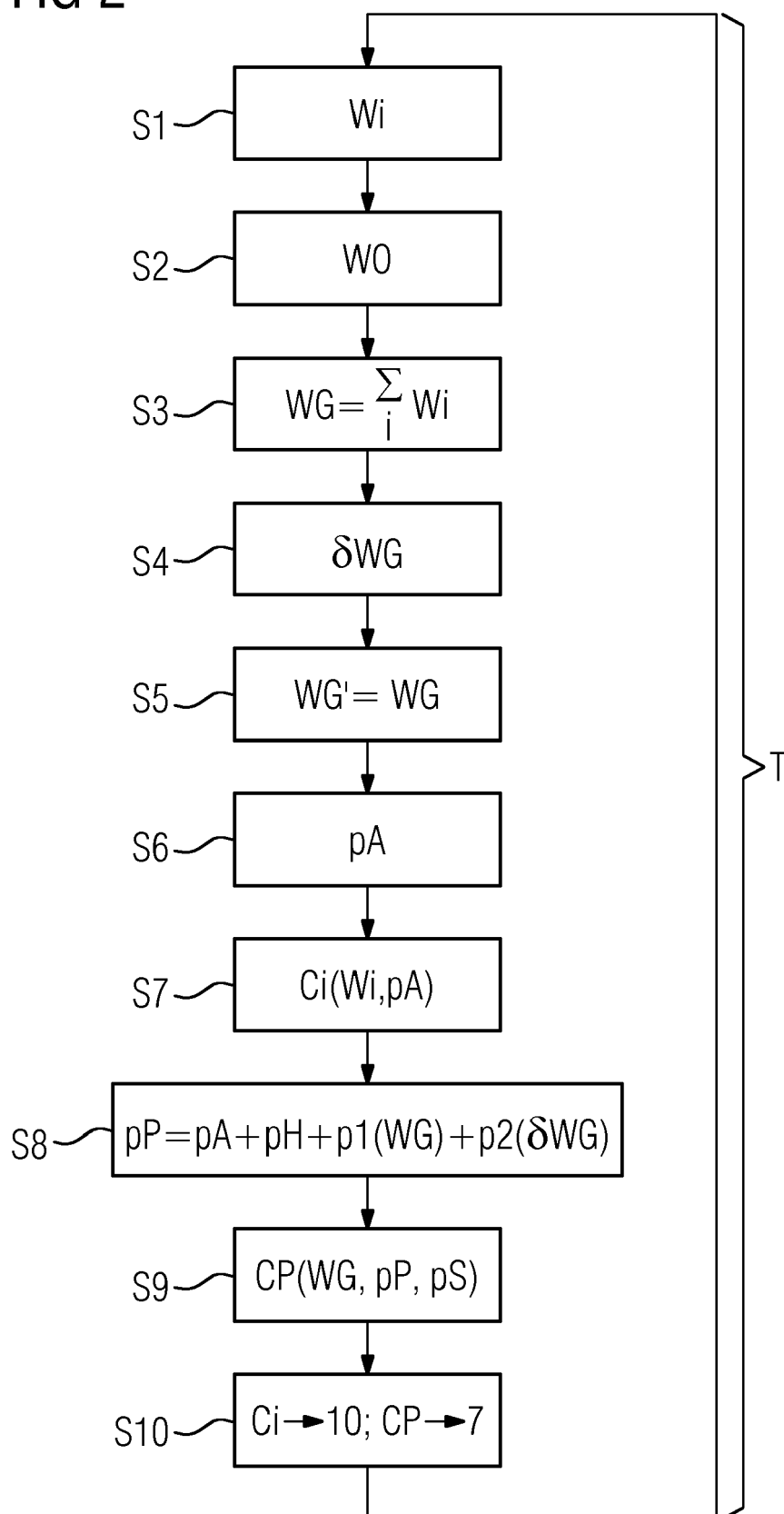


FIG 3

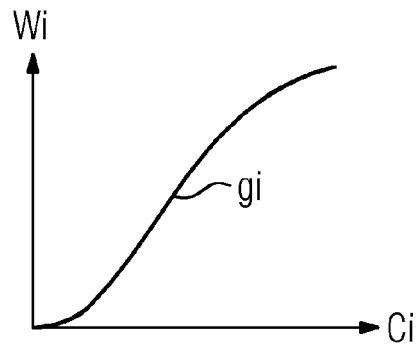


FIG 4

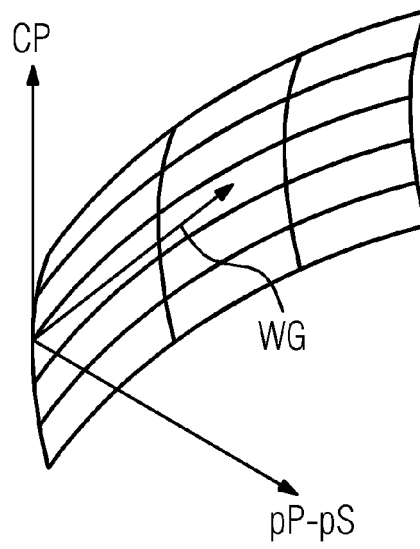


FIG 5

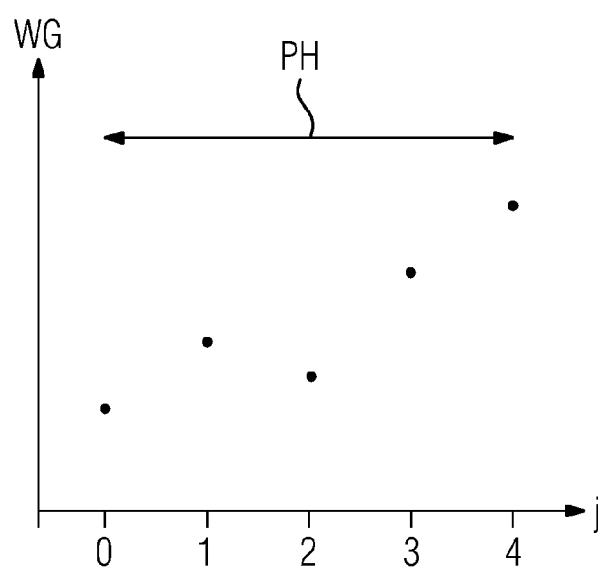


FIG 6

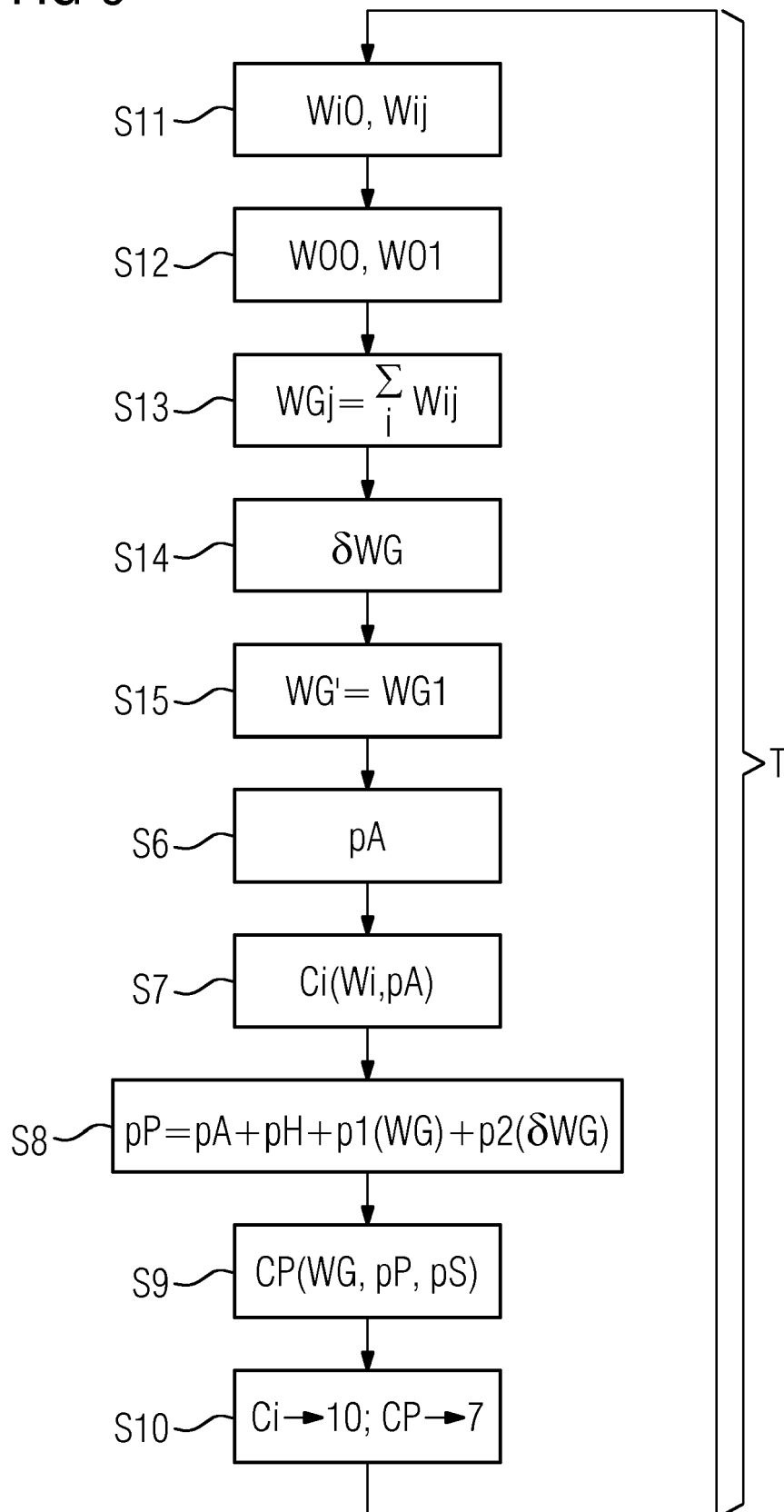


FIG 7

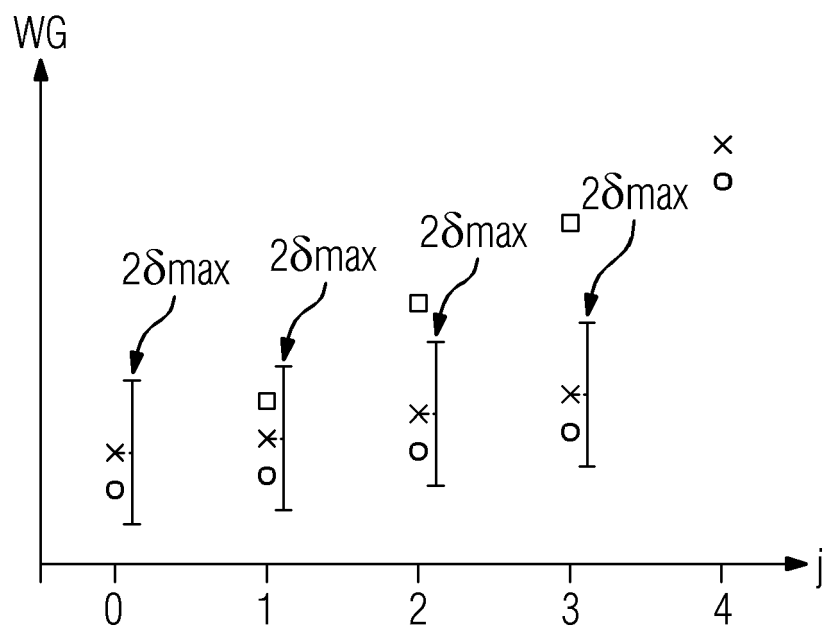


FIG 8

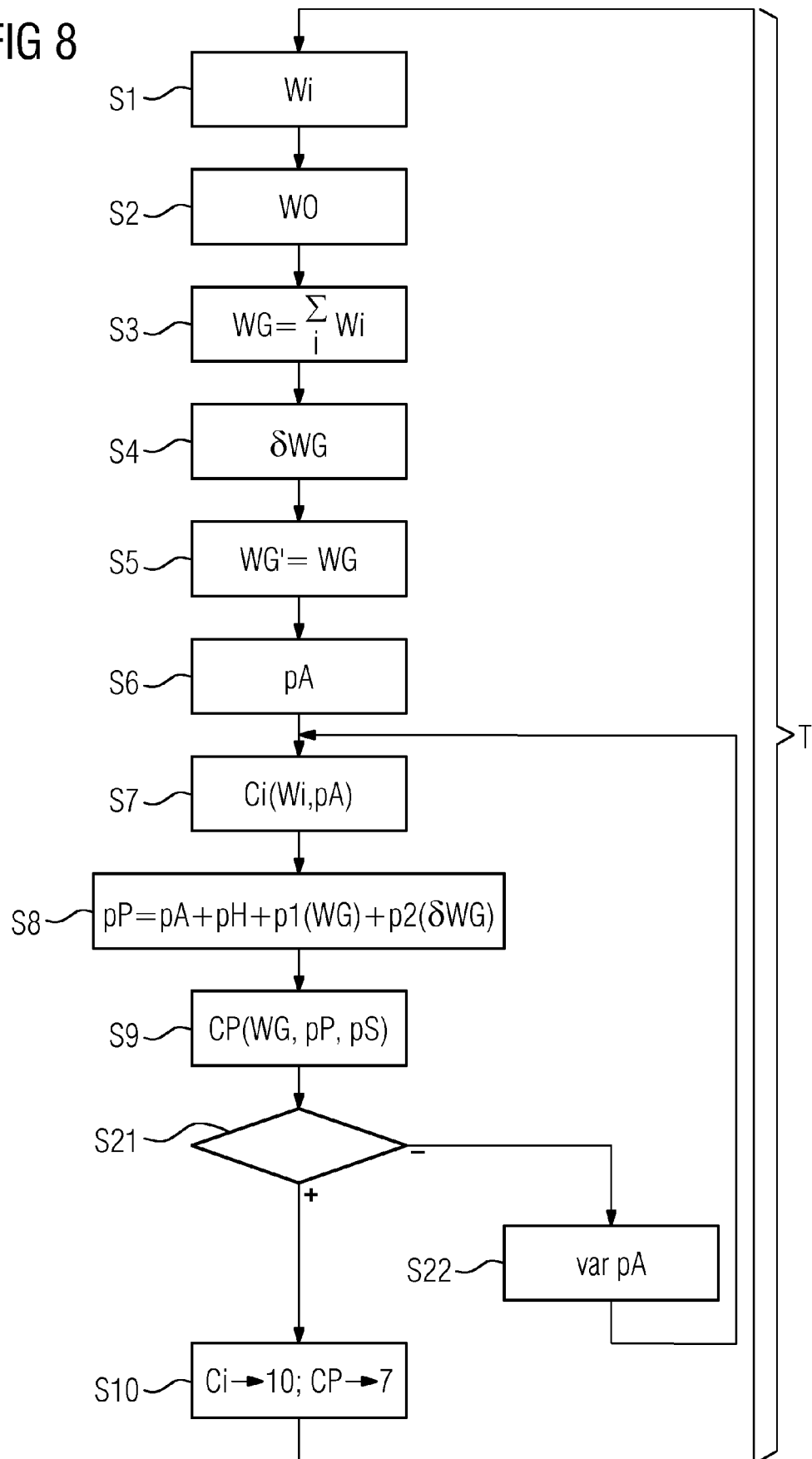


FIG 9

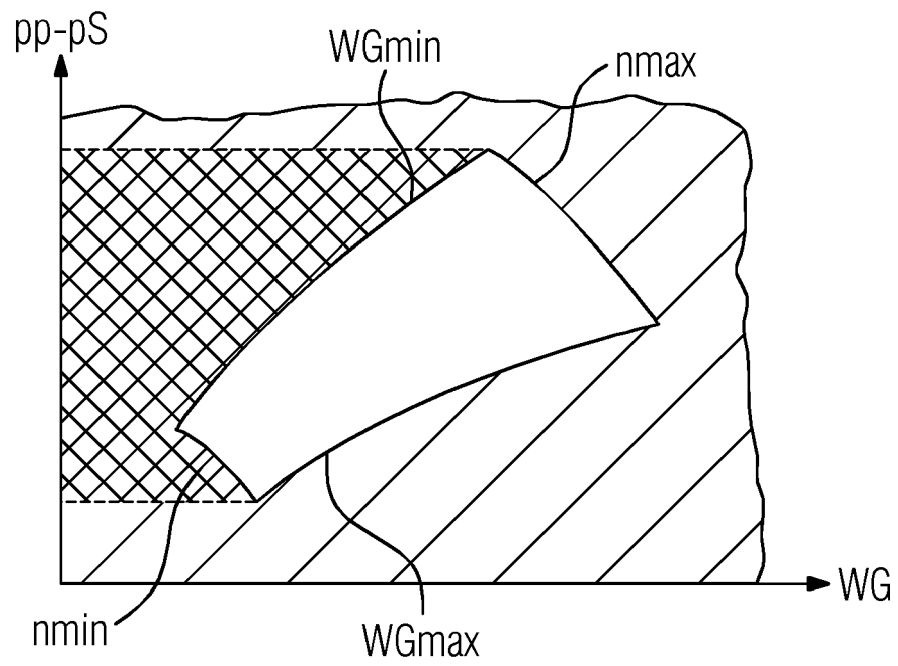


FIG 10

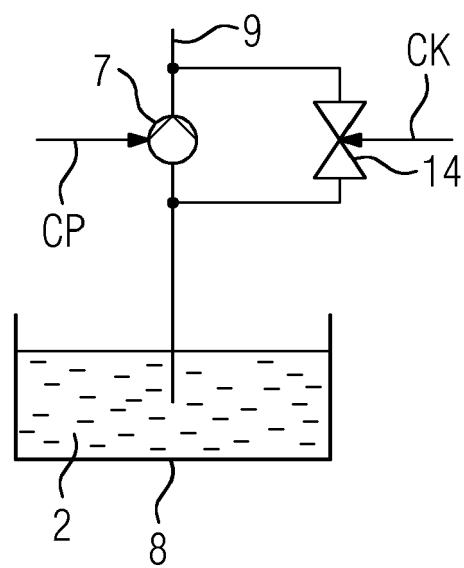
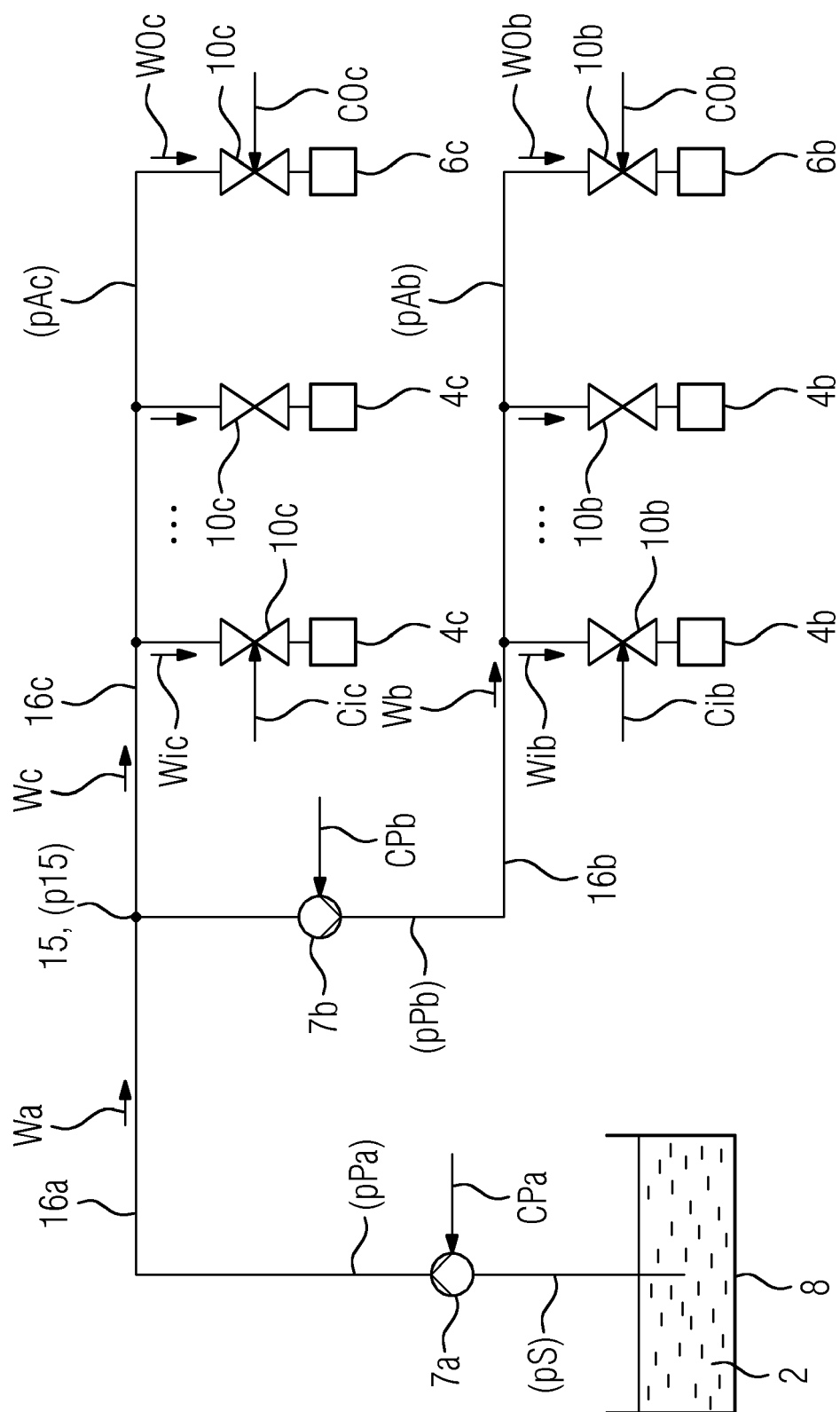


FIG 11





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 17 20 6426

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,D	WO 2013/143925 A1 (SIEMENS AG [DE]) 3. Oktober 2013 (2013-10-03) * Ansprüche 1-14; Abbildungen 1-6 *	1-16	INV. B21B37/74
A	WO 2014/124868 A1 (SIEMENS VAI METALS TECH GMBH [AT]) 21. August 2014 (2014-08-21) * Ansprüche 1-7; Abbildungen 1-2 *	1-16	
A	JP H04 167916 A (SUMITOMO METAL IND) 16. Juni 1992 (1992-06-16) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1,13-15	
A	JP S55 24933 A (NIPPON STEEL CORP) 22. Februar 1980 (1980-02-22) * Zusammenfassung; Abbildung 2 *	1,13-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 7. Juni 2018	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 17 20 6426

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.

07-06-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	WO 2013143925 A1	03-10-2013	CN 104334754 A EP 2644719 A1 EP 2817425 A1 WO 2013143925 A1	04-02-2015 02-10-2013 31-12-2014 03-10-2013
20	WO 2014124868 A1	21-08-2014	BR 112015019431 A2 CN 105163876 A EP 2767353 A1 EP 2956250 A1 US 2015375284 A1 WO 2014124868 A1	18-07-2017 16-12-2015 20-08-2014 23-12-2015 31-12-2015 21-08-2014
25	JP H04167916 A	16-06-1992	KEINE	
30	JP S5524933 A	22-02-1980	KEINE	
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2013143925 A1 [0005] [0014]
- WO 2014124867 A1 [0005]
- WO 2014032838 A1 [0012]