



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.10.2021 Patentblatt 2021/42

(51) Int Cl.:
F04D 15/00 (2006.01) B21B 37/76 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20169308.2**

(22) Anmeldetag: **14.04.2020**

(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:
KH MA MD TN

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

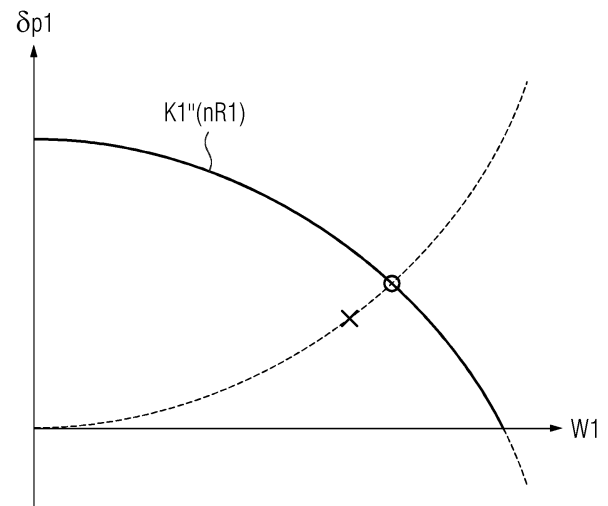
(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91058 Erlangen (DE)

(54) **BETRIEB EINER PUMPE EINER KÜHLEINRICHTUNG OHNE VERWERTUNG EINES MEHRDIMENSIONALEN, GEMESSENEN KENNLINIENFELDES**

(57) Eine Kühleinrichtung (1) zum Kühlen eines heißen Walzguts (2) aus Metall weist Kühlgruppen (3) auf, die ihrerseits jeweils Aufbringeinrichtungen (4) und eine Pumpe (6) aufweisen. Mittels der Aufbringeinrichtungen (4) wird Wasser (5) auf das Walzgut (2) aufgebracht. Die Pumpen (6) sind den Aufbringeinrichtungen (4) zugeordnet. Mit ihnen wird das Wasser (5) zu den Aufbringeinrichtungen (4) gepumpt. Eine Steuereinrichtung (8) für die Kühleinrichtung (1) ermittelt anhand von den Aufbringeinrichtungen (4) zuzuführenden Sollströmen (w_1 bis w_4) von den Pumpen (6) zu fördernde Gruppenströme (W_1 , W_2) und anhand der Gruppenströme (W_1 , W_2) und von den Pumpen (6) aufzubringenden Druckdifferenzen (δp_1 , δp_2) Solldrehzahlen (n_1 , n_2) der Pumpen (6). Sie betreibt die Pumpen (6) entsprechend den ermittelten Solldrehzahlen (n_1 , n_2), so dass den Aufbringeinrichtungen (4) entsprechend den Sollströmen (w_1 bis w_4) Wasser (5) zugeführt wird. Die Gruppenströme (W_1 , W_2), die aufzubringenden Druckdifferenzen (δp_1 , δp_2) und die Solldrehzahlen (n_1 , n_2) bilden charakteristische Kenngrößen der Pumpen (6). Die Steuereinrichtung (8) ermittelt die Solldrehzahlen (n_1 , n_2) der Pumpen (6) entweder mittels mathematischanalytischer Gleichungen, in die als Eingangsgrößen der jeweilige Gruppenstrom (W_1 , W_2) und die jeweilige aufzubringende Druckdifferenz (δp_1 , δp_2) eingehen, oder unter Verwertung von Kennlinien (K_1 , K_1' , K_1'') der Pumpen (6), die nur von einer der charakteristischen Kenngrößen (W_1 , δp_1 , n_1) der jeweiligen Pumpe (6) abhängig sind und jeweils eine einzelne Ausgangsgröße (R_1 , n_1) liefern.

FIG 7



Beschreibung

Gebiet der Technik

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Kühleinrichtung zum Kühlen eines heißen Walzguts aus Metall,

- wobei die Kühleinrichtung eine Anzahl von Kühlgruppen aufweist,
- 10 - wobei die Kühlgruppen jeweils eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen aufweisen, mittels derer Wasser auf das Walzgut aufgebracht wird,
- wobei die Kühlgruppen jeweils eine den Aufbringeinrichtungen der jeweiligen Kühlgruppe vorgeordnete Pumpe aufweisen, mittels derer das Wasser zu den Aufbringeinrichtungen der jeweiligen Kühlgruppe gepumpt wird,
- wobei eine Steuereinrichtung für die Kühleinrichtung anhand von jeweiligen Sollströmen, die den Aufbringeinrichtungen der jeweiligen Kühlgruppe zugeführt werden sollen, einen von der jeweiligen Pumpe zu fördernden jeweiligen Gruppenstrom ermittelt,
- 15 - wobei die Steuereinrichtung anhand des jeweiligen Gruppenstroms und einer von der jeweiligen Pumpe aufzubringenden jeweiligen Druckdifferenz eine Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe ermittelt und die jeweilige Pumpe entsprechend der ermittelten Solldrehzahl betreibt, so dass den Aufbringeinrichtungen der jeweiligen Kühlgruppe entsprechend den Sollströmen Wasser zugeführt wird,
- 20 - wobei der jeweilige Gruppenstrom, die jeweilige aufzubringende Druckdifferenz und die jeweilige Solldrehzahl charakteristische Kenngrößen der jeweiligen Pumpe bilden.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Computerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für eine Kühleinrichtung zum Kühlen eines heißen Walzguts aus Metall abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Kühleinrichtung gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Kühleinrichtung zum Kühlen eines heißen Walzguts aus Metall, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Kühleinrichtung gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

30 **[0004]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Kühleinrichtung zum Kühlen eines heißen Walzguts aus Metall,

- wobei die Kühleinrichtung eine Anzahl von Kühlgruppen aufweist,
- wobei die Kühlgruppen jeweils eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen aufweisen, mittels derer Wasser auf das Walzgut aufgebracht wird,
- 35 - wobei die Kühlgruppen jeweils eine den Aufbringeinrichtungen der jeweiligen Kühlgruppe vorgeordnete Pumpe aufweisen, mittels derer das Wasser zu den Aufbringeinrichtungen der jeweiligen Kühlgruppe gepumpt wird,
- wobei die Kühleinrichtung eine derartige Steuereinrichtung aufweist, welche die Kühleinrichtung gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

40

Stand der Technik

[0005] Die obengenannten Gegenstände sind allgemein bekannt. Rein beispielhaft kann insbesondere auf die WO 2014/124 867 A1, auf die WO 2013/143 925 A1 und auf die WO 2019/115 145 A1 verwiesen werden.

45 **[0006]** Kühleinrichtungen zum Kühlen eines heißen Walzguts aus Metall weisen oftmals Pumpen auf, mittels derer Wasser zu Aufbringeinrichtungen (beispielsweise Spritzbalken) geführt wird. Insbesondere bei einer sogenannten Intensivkühlung ist dies der Fall. Hier werden sogenannte Boosterpumpen verwendet, um den erforderlichen Wasserdruck aufzubringen. Zwischen den Pumpen und den Aufbringeinrichtungen sind oftmals Ventile angeordnet, mittels derer die Wassermengen, die über die einzelnen Aufbringeinrichtungen auf das heiße Walzgut aufgebracht werden, zusätzlich dosiert werden können. Es ist aber auch schon bekannt, ausschließlich die Pumpen zur Einstellung des über die Aufbringeinrichtungen aufzubringenden Wassers zu verwenden. Rein beispielhaft kann in diesem Zusammenhang die EP 3 599 037 A1 genannt werden.

50 **[0007]** Wichtig bei der Ansteuerung ist insbesondere eine schnelle Ansteuerung der Pumpen und gegebenenfalls auch der Ventile. Da diese Ansteuerung in Echtzeit erfolgen muss, ist es erforderlich, nach der Vorgabe eines neuen Satzes an Sollströmen für die Aufbringeinrichtungen möglichst schnell und möglichst einfach die zugehörigen Ansteuerwerte für die Pumpen und gegebenenfalls auch die Ventile zu ermitteln.

55 **[0008]** Zur Ermittlung der Ansteuerwerte für Ventile ist bekannt, zweidimensionale Kennlinienfelder zu verwerten, mittels derer die charakteristischen Kenngrößen des jeweiligen Ventils miteinander in Bezug gesetzt werden, so dass

bei Vorgabe von zwei der charakteristischen Kenngrößen die dritte charakteristische Kenngröße ermittelt werden kann. Die charakteristischen Kenngrößen eines Ventils sind der eingangsseitig des Ventils anstehende Arbeitsdruck, die Öffnungsstellung des Ventils und der das Ventil durchströmende Volumenstrom. Diese Vorgehensweise ist beispielsweise in der WO 2013/143 925 A1 erläutert.

[0009] In analoger Weise ist es zur Ermittlung der Ansteuerwerte für Pumpen bekannt, zweidimensionale Kennlinienfelder zu verwenden, mittels derer die drei charakteristischen Kenngrößen der jeweiligen Pumpe miteinander in Bezug gesetzt werden, so dass bei Vorgabe von zwei der charakteristischen Kenngrößen die dritte charakteristische Kenngröße ermittelt werden kann. Die charakteristischen Kenngrößen einer Pumpe sind die Differenz zwischen dem ausgangsseitig der Pumpe generierten Pumpendruck und dem eingangsseitig der Pumpe anstehenden Saugdruck, die Drehzahl der Pumpe und der die Pumpe durchströmende Volumenstrom. Auch diese Vorgehensweise ist beispielsweise in der WO 2013/143 925 A1 erläutert.

[0010] Zum Ermitteln des jeweiligen zweidimensionalen Kennlinienfeldes ist eine Vielzahl von Messungen erforderlich. Insbesondere muss zum Ermitteln des jeweiligen zweidimensionalen Kennlinienfeldes im Rahmen von Versuchen für eine Vielzahl von Wertepaaren von zwei der charakteristischen Kenngrößen die jeweilige dritte charakteristische Kenngröße messtechnisch erfasst werden. Dies ist sehr zeitaufwendig.

[0011] Für Ventile ist es bereits bekannt, zur Ermittlung der Ansteuerwerte eine eindimensionale Kennlinie zu verwenden, mittels derer zwei der charakteristischen Kenngrößen des jeweiligen Ventils für einen Referenzwert der dritten charakteristischen Kenngröße miteinander in Bezug gesetzt werden, wobei zusätzlich ein funktionaler Zusammenhang bekannt ist, mittels dessen die Kennlinie auf einen anderen Wert der dritten charakteristischen Kenngröße umgerechnet werden kann. Auch auf diese Art und Weise kann bei Vorgabe von zwei der charakteristischen Kenngrößen die dritte charakteristische Kenngröße ermittelt werden. Diese Vorgehensweise ist beispielsweise in der WO 2014/124 867 A1 und der WO 2019/115 145 A1 erläutert. Konkret erfolgt die Vorgabe einer Kennlinie, bei welcher für einen Referenzdruck eingangsseitig des Ventils der das Ventil durchströmende Volumenstrom als Funktion der Öffnungsstellung des Ventils oder umgekehrt für einen Referenzdruck eingangsseitig des Ventils die Öffnungsstellung des Ventils als Funktion des das Ventil durchströmenden Volumenstroms angegeben wird. Die Umrechnung auf einen anderen Arbeitsdruck als den Referenzdruck erfolgt durch Skalieren des Volumenstroms mit der Wurzel des Quotienten des Arbeitsdruckes und des Referenzdruckes. Bei gleicher Öffnungsstellung ergibt sich beispielsweise bei einem Vierfachen des Referenzdruckes eine Verdopplung des Volumenstroms.

[0012] Diese Vorgehensweise führt gegenüber dem Aufwand zum Ermitteln eines zweidimensionalen Kennlinienfeldes für ein Ventil zu einer deutlichen Verringerung des Aufwandes. Insbesondere muss im Rahmen von Versuchen nur noch für eine Vielzahl von einzelnen Werten einer einzelnen der charakteristischen Kenngrößen die jeweilige zweite charakteristische Kenngröße messtechnisch erfasst werden, während die dritte charakteristische Kenngröße lediglich konstant auf einem einzelnen Wert - dem Referenzwert - gehalten werden muss.

Zusammenfassung der Erfindung

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer der Aufwand zum Ermitteln eines zweidimensionalen Kennlinienfeldes auch für Pumpen vermieden werden kann.

[0014] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 8.

[0015] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung die jeweilige Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe entweder mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung ermittelt, in die als Eingangsgrößen der jeweilige Gruppenstrom und die jeweilige aufzubringende Druckdifferenz eingehen, oder unter Verwertung einer Kennlinie der jeweiligen Pumpe ermittelt, die nur von einer der charakteristischen Kenngrößen der jeweiligen Pumpe abhängig ist und eine einzelne Ausgangsgröße liefert.

[0016] In der erstgenannten Alternative erfolgt die Ermittlung der Solldrehzahl somit ohne Verwertung einer Kennlinie. In diesem Fall ist es nur noch erforderlich, die korrekte mathematisch-analytische Gleichung in der Steuereinrichtung zu hinterlegen. In der zweitgenannten Alternative muss zwar weiterhin noch eine Kennlinie ermittelt und in der Steuereinrichtung hinterlegt werden. Die Kennlinie ist aber im Gegensatz zu den Vorgehensweisen des Standes der Technik nicht zweidimensional, sondern nur eindimensional. Im Rahmen der Ermittlung der Kennlinie ist es daher - analog zu Ventilen - nur noch erforderlich, die nur noch eindimensionale Kennlinie zu ermitteln.

[0017] Vorzugsweise ermittelt die Steuereinrichtung im Falle der Ermittlung mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung die Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe anhand der Beziehung

$$n1 = nN1 \cdot \sqrt{\frac{\delta p1 + R1 \cdot W1^2}{\delta pN1}}$$

wobei n_1 die Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe ist, n_{N1} eine Nominaldrehzahl der jeweiligen Pumpe ist, δp_1 die von der jeweiligen Pumpe aufzubringende Druckdifferenz ist, R_1 ein interner Strömungswiderstand der jeweiligen Pumpe ist, W_1 der jeweilige Gruppenstrom ist und δp_{N1} eine Nominaldruckdifferenz ist, der von der jeweiligen Pumpe generiert wird, wenn sie mit der Nominaldrehzahl betrieben wird und der die jeweilige Pumpe durchströmende Gruppenstrom 0 ist.

[0018] Diese Vorgehensweise bedeutet im Regelfall, dass der interne Strömungswiderstand konstant ist. In Einzelfällen kann im Rahmen dieser Vorgehensweise der Strömungswiderstand aber auch als mathematisch-analytische Funktion der Solldrehzahl der Pumpe oder des die Pumpe durchströmenden Gruppenstroms gegeben sein.

[0019] Im Falle der Verwertung einer Kennlinie ist es möglich, dass die jeweilige Kennlinie als Eingangsgröße die Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe erhält und als Ausgangsgröße einen internen Strömungswiderstand der jeweiligen Pumpe liefert. In diesem Fall kann die Ermittlung auf die gleiche Art und Weise wie soeben erläutert erfolgen. Im Gegensatz zur Ermittlung ausschließlich mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung ist der interne Strömungswiderstand jedoch nunmehr als Kennlinie gegeben.

[0020] Im Falle der Verwertung einer Kennlinie ist es weiterhin möglich, dass die jeweilige Kennlinie als Ausgangsgröße eine weitere der charakteristischen Kenngrößen der jeweiligen Pumpe liefert und dass die jeweilige Kennlinie auf einen Referenzwert der dritten der charakteristischen Kenngrößen der jeweiligen Pumpe bezogen ist.

[0021] Diese Vorgehensweise beruht auf dem Grundprinzip, dass anhand eines gültigen Arbeitspunktes einer Pumpe - also einer bestimmten Druckdifferenz, einer bestimmten Drehzahl der Pumpe und dem zugehörigen Gruppenstrom - weitere gültige Arbeitspunkte der Pumpe ermittelt werden können, wenn sowohl die Drehzahl der Pumpe als auch der Gruppenstrom mit einem bestimmten Faktor skaliert werden und weiterhin die Druckdifferenz mit dem Quadrat dieses Faktors skaliert wird. Ausgehend von einem gültigen Arbeitspunkt der Pumpe kann somit beispielsweise durch Verdoppeln sowohl des Gruppenstroms als auch der Drehzahl bei gleichzeitiger Vervierfachung der Druckdifferenz ein weiterer gültiger Arbeitspunkt der Pumpe ermittelt werden. Diese Vorgehensweise ist zwar ähnlich zur Vorgehensweise bei Ventilen. Sie unterscheidet sich von der Vorgehensweise bei Ventilen jedoch dadurch, dass bei Ventilen für eine Verdopplung des das Ventil durchfließenden Stromes zwar eine Vervierfachung des Arbeitsdruckes erforderlich ist, die Öffnungsstellung des Ventils jedoch unverändert beibehalten wird. Bei einer Pumpe hingegen ergibt sich bei einer Verdopplung des Gruppenstroms und einer Vervierfachung des Arbeitsdruckes nur dann wieder ein korrekter Arbeitspunkt der Pumpe, wenn zusätzlich auch die Drehzahl mit verdoppelt wird.

[0022] Zur Implementierung dieser Vorgehensweise sind folgende Kombinationen möglich:

- Die Kennlinie erhält als Eingangsgröße den Gruppenstrom und liefert als Ausgangsgröße die sich ergebende Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem Saugdruck für einen Referenzwert der Solldrehzahl.
- Die Kennlinie erhält als Eingangsgröße die Solldrehzahl und liefert als Ausgangsgröße die sich ergebende Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem Saugdruck für einen Referenzwert des Gruppenstroms.
- Die Kennlinie erhält als Eingangsgröße die Solldrehzahl und liefert als Ausgangsgröße den Gruppenstrom für einen Referenzwert der Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem Saugdruck.
- Die Kennlinie erhält als Eingangsgröße die gewünschte Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem Saugdruck und liefert als Ausgangsgröße den Gruppenstrom für einen Referenzwert der Solldrehzahl.
- Die Kennlinie erhält als Eingangsgröße die gewünschte Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem Saugdruck und liefert als Ausgangsgröße die Solldrehzahl für einen Referenzwert des Gruppenstroms.
- Die Kennlinie erhält als Eingangsgröße den Gruppenstrom und liefert als Ausgangsgröße die Solldrehzahl für einen Referenzwert der Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem Saugdruck.

[0023] Die letztgenannte Vorgehensweise, also dass die jeweilige Kennlinie als Eingangsgröße den Gruppenstrom erhält und als Ausgangsgröße die Solldrehzahl liefert und dass der Referenzwert eine Referenzdruckdifferenz ist, ist eine bevorzugte Lösung.

[0024] Konkret kann in diesem Fall die Verwertung der jeweiligen Kennlinie dadurch erfolgen, dass die Steuereinrichtung den Gruppenstrom im Rahmen der Verwertung der jeweiligen Kennlinie mit einem jeweiligen Faktor skaliert, dass die Steuereinrichtung die anhand der jeweiligen Kennlinie ermittelte Solldrehzahl mit dem Kehrwert des jeweiligen Faktors skaliert und dass der Faktor sich durch die Wurzel des Quotienten der jeweiligen Referenzdruckdifferenz und der jeweiligen aufzubringenden Druckdifferenz ergibt.

[0025] Eine besonders bevorzugte Lösung besteht darin, dass die jeweilige Kennlinie als Eingangsgröße den Gruppenstrom erhält und als Ausgangsgröße die Druckdifferenz liefert und dass der Referenzwert eine Referenzdrehzahl ist. Diese Lösung weist insbesondere die Vorteile auf, dass die zugehörige Kennlinie leicht und einfach zu erfassen ist. Weiterhin ist eine genaue Ermittlung der erforderlichen Drehzahl der jeweiligen Pumpe auch für kleine Druckdifferenzen möglich. Es ist sogar - zumindest innerhalb gewisser Grenzen - möglich, die erforderliche Drehzahl der Pumpe für eine negative Druckdifferenz zu ermitteln.

[0026] Konkret kann in diesem Fall die Steuereinrichtung die Solldrehzahl durch Skalieren der Referenzdrehzahl mit dem Kehrwert eines jeweiligen Faktors ermitteln. Dem jeweiligen Faktor ermittelt die Steuereinrichtung in diesem Fall

durch Lösen der Gleichung

$$a1^2 \cdot \delta p1 - K1''(a1 \cdot W1) = 0$$

[0027] Hierbei ist $a1$ der Faktor. $\delta p1$ ist die gewünschte Druckdifferenz. $K1''$ ist die Kennlinie, und $W1$ ist der Gruppenstrom.

[0028] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms, dass die Steuereinrichtung die Kühleinrichtung gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0029] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung die Kühleinrichtung gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0030] Die Aufgabe wird durch eine Kühleinrichtung zum Kühlen von heißem Walzgut aus Metall mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Kühleinrichtung ist Gegenstand des abhängigen Anspruchs 12.

[0031] Erfindungsgemäß weist eine Kühleinrichtung der eingangs genannten Art eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung auf, welche die Kühleinrichtung gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0032] Vorzugsweise ist mindestens eine der Aufbringeinrichtungen innerhalb einer Walzstraße angeordnet und/oder der Walzstraße vorgeordnet und/oder der Walzstraße nachgeordnet.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0033] 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 Kühleinrichtung zum Kühlen eines heißen Walzguts aus Metall,
- FIG 2 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 3 einen Schritt des Ablaufdiagramms von FIG 2,
- FIG 4 einen Schritt des Ablaufdiagramms von FIG 2,
- FIG 5 Pumpenkennlinien,
- FIG 6 einen Schritt des Ablaufdiagramms von FIG 2,
- FIG 7 Pumpenkennlinien,
- FIG 8 einen Schritt des Ablaufdiagramms von FIG 2,
- FIG 9 Ventilkennlinien,
- FIG 10 eine mögliche Anordnung der Kühleinrichtung,
- FIG 11 eine weitere mögliche Anordnung der Kühleinrichtung und
- FIG 12 eine weitere mögliche Anordnung der Kühleinrichtung.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0034] Gemäß FIG 1 weist eine Kühleinrichtung 1 zum Kühlen eines heißen Walzguts 2 aus Metall eine Anzahl von Kühlgruppen 3 auf. Die Kühlgruppen 3 weisen jeweils eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen 4 auf. Mittels der Aufbringeinrichtungen kann Wasser 5 auf das Walzgut 2 aufgebracht werden. Die Kühlgruppen 3 weisen weiterhin jeweils eine Pumpe 6 auf. Die jeweilige Pumpe 6 ist den Aufbringeinrichtungen 4 der jeweiligen Kühlgruppe 3 vorgeordnet. Mittels der jeweiligen Pumpe 6 wird das Wasser 5 zu den Aufbringeinrichtungen 4 der jeweiligen Kühlgruppe 3 gepumpt.

[0035] Das Walzgut 2 kann ein stabförmiges Walzgut oder ein Profil sein. Oftmals handelt es sich um ein flaches Walzgut, also ein Band oder ein Grobblech. Das Metall, aus dem das Walzgut 2 besteht, ist in vielen Fällen Stahl oder Aluminium. Das Walzgut 2 kann aber auch aus einem anderen Metall bestehen, beispielsweise aus Kupfer. Weiterhin durchläuft das Walzgut 2 in der Regel während des Aufbringens des Wassers 5 auf das Walzgut 2 die Kühleinrichtung 1 in einer Transportrichtung x mit einer Transportgeschwindigkeit v . Die Aufbringeinrichtungen 4 sind im Falle eines flachen Walzguts 2 oftmals als Spritzbalken ausgebildet. Die Aufbringeinrichtungen 4 sind in FIG 1 ausschließlich oberhalb des Walzguts 2 angeordnet. Dies ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung jedoch von untergeordneter Bedeutung. Die Aufbringeinrichtungen 4 könnten ebenso unterhalb des Walzguts 2 angeordnet sein oder sowohl oberhalb als auch unterhalb des Walzguts 2 angeordnet sein oder auch anders angeordnet sein.

[0036] Die Anzahl an Kühlgruppen 3 kann nach Bedarf bestimmt sein. Ebenso kann auch die Anzahl an Aufbringein-

richtungen 4 pro Kühlgruppe 3 nach Bedarf bestimmt sein. In einer theoretischen Minimalkonfiguration ist nur eine einzige Kühlgruppe 3 vorhanden, die auch nur eine einzige Aufbringeinrichtung 4 aufweist. In der Regel ist die Anzahl an Aufbringeinrichtungen 4 jedoch größer als 1. Auch in diesem Fall ist es möglich, dass nur eine einzige Pumpe 6 vorhanden ist, dass also alle Aufbringeinrichtungen 4 der Kühleinrichtung 1 über dieselbe Pumpe 6 mit Wasser 5 versorgt werden. In diesem Fall bilden die Aufbringeinrichtungen 4 der Kühleinrichtung 1 eine einzige Kühlgruppe 3. Alternativ ist es möglich, dass jeder einzelnen Aufbringeinrichtung 4 jeweils eine eigene Pumpe 6 zugeordnet ist, dass also jeder Aufbringeinrichtung 4 ihre eigene Pumpe 6 zugeordnet ist. In diesem Fall sind mehrere Kühlgruppen 3 vorhanden, die jeweils nur eine einzige Aufbringeinrichtung 4 und die zugehörige Pumpe 6 aufweisen. Auch Mischformen sind möglich, dass y Kühlgruppen 3 gebildet werden, wobei jede Kühlgruppe 3 z Aufbringeinrichtungen 4 aufweist. y kann beispielsweise einen Wert von 2, 4 oder 8 aufweisen. z kann beispielsweise einen Wert zwischen 2 und 10 aufweisen. Rein beispielhaft ist in FIG 1 eine Ausgestaltung dargestellt, bei der zwei Kühlgruppen 3 vorhanden sind, die jeweils zwei Aufbringeinrichtungen 4 aufweisen.

[0037] Weiterhin wird der Begriff "Pumpe" im Rahmen der vorliegenden Erfindung im generischen Sinne verwendet. Anstelle einer einzelnen Pumpe 6 können also jeweils auch mehrere Pumpen vorhanden sein, die in Serie hintereinander und oder parallel zueinander angeordnet sind. Die Pumpen 6 können insbesondere als Kreispumpen ausgebildet sein.

[0038] In vielen Fällen sind den Aufbringeinrichtungen 4 Ventile 7 vorgeordnet, so dass die Aufbringeinrichtungen 4 durchfließende Mengen an Wasser 5 auch dann einzeln einstellbar sind, wenn über ein und dieselbe Pumpe 6 mehrere Aufbringeinrichtungen 4 mit Wasser 5 versorgt werden. Insbesondere im Falle einer 1:1-Zuordnung der Pumpen 6 zu den Aufbringeinrichtungen 4, also in dem Fall, dass die Kühlgruppen 3 jeweils nur eine einzige Aufbringeinrichtung 4 aufweisen, können die Ventile 7 jedoch unter Umständen entfallen. Falls die Ventile 7 vorhanden sind, können sie insbesondere als Regelventile ausgebildet sein. Regelventile sind Ventile, die zusätzlich zu einer (maximal) geöffneten und einer geschlossenen Stellung beliebige oder nahezu beliebige Zwischenstellungen annehmen können. Dies steht im Gegensatz zu Schaltventilen, bei denen nur die (maximal) geöffnete und die geschlossene Stellung angenommen werden können.

[0039] Die Kühleinrichtung 1 weist eine Steuereinrichtung 8 auf. Die Steuereinrichtung 8 ist in der Regel als software-programmierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Dies ist in FIG 1 dadurch angedeutet, dass in die Steuereinrichtung 8 die Zeichen " μ P" für "Mikroprozessor" eingezeichnet sind. Die Steuereinrichtung 8 ist mit einem Computerprogramm 9 programmiert. Das Computerprogramm 9 umfasst Maschinencode 10, der von der Steuereinrichtung 8 abarbeitbar ist. Die Programmierung der Steuereinrichtung 8 mit dem Computerprogramm 9 (bzw., hiermit äquivalent, die Abarbeitung des Maschinencodes 10 durch die Steuereinrichtung 8) bewirkt, dass die Steuereinrichtung 8 die Kühleinrichtung 1 gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend in Verbindung mit FIG 2 näher erläutert wird.

[0040] Gemäß FIG 2 werden der Steuereinrichtung 8 in einem Schritt S1 Sollströme w_1 bis w_4 bekannt. Die Sollströme w_1 bis w_4 können der Steuereinrichtung 8 beispielsweise von einer Bedienerperson (nicht dargestellt) vorgegeben werden. Auch andere Arten der Vorgabe oder eine Bestimmung durch die Steuereinrichtung 8 selbst sind möglich. Jeder der Sollströme w_1 bis w_4 ist auf eine der Aufbringeinrichtungen 4 bezogen und gibt an, welche Menge an Wasser 5 der jeweiligen Aufbringeinrichtung 4 zugeführt werden soll.

[0041] In der Regel weisen die Aufbringeinrichtungen 4 keine Puffereinrichtungen zum Puffern von Wasser 5 auf. In diesem Fall korrespondieren die den Aufbringeinrichtungen 4 zugeführten Wassermengen 1:1 mit den von den Aufbringeinrichtungen 4 auf das Walzgut 2 aufgebrachten Wassermengen. Die Sollströme w_1 bis w_4 sind in diesem Fall somit zugleich auch identisch mit den Strömen an Wasser 5, die von den Aufbringeinrichtungen 4 auf das Walzgut 2 aufgebracht werden sollen. Falls die Aufbringeinrichtungen 4 Puffereinrichtungen aufweisen, sind die Sollströme w_1 bis w_4 in der Regel diejenigen Mengen an Wasser 5, die den Aufbringeinrichtungen 4 zugeführt werden sollen. In Ausnahmefällen kann es sich jedoch auch um die Mengen an Wasser 5 handeln, die von den Aufbringeinrichtungen 4 auf das Walzgut 2 aufgebracht werden sollen.

[0042] In einem Schritt S2 ermittelt die Steuereinrichtung 8 anhand der Sollströme w_1 bis w_4 Gruppenströme W_1 , W_2 . Insbesondere addiert die Steuereinrichtung 8 die Sollströme w_1 bis w_4 der jeweiligen Kühlgruppe 3 und ermittelt so den jeweiligen Gruppenstrom W_1 , W_2 .

[0043] Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 8 in einem Schritt S3 für die Pumpen 6 eine jeweilige Druckdifferenz δp_1 , δp_2 . Die Druckdifferenz δp_1 , δp_2 ergibt sich durch die Differenz zwischen einem jeweiligen Arbeitsdruck p_{A1} , p_{A2} , der im Bereich der Aufbringeinrichtungen 4 der jeweiligen Kühlgruppe 3 herrschen muss, zu einem Basisdruck p_0 , der eingangsseitig der Pumpen 6 herrscht. Der Basisdruck p_0 , der dem Saugdruck der Pumpen 6 entspricht, kann beispielsweise durch ein Wasserreservoir 11 bestimmt sein, aus dem die Pumpen 6 das Wasser 5 beziehen. Soweit erforderlich, kann die Steuereinrichtung 8 im Rahmen des Schrittes S3 einen Leitungswiderstand eines Leitungssystems zwischen der jeweiligen Pumpe 6 und den Aufbringeinrichtungen 4 der jeweiligen Kühlgruppe 3 berücksichtigen. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuereinrichtung 8 im Rahmen des Schrittes S3 auch berücksichtigen, in welchem Umfang die Wassermenge, die sich zwischen der jeweiligen Pumpe 6 und den Aufbringeinrichtungen 4 der jeweiligen Kühlgruppe 3 befindet, beschleunigt werden muss. Entsprechende Vorgehensweisen sind in der bereits genannten WO 2019/115 145 A1 erläutert.

[0044] Soweit erforderlich ermittelt die Steuereinrichtung 8 im Schritt S3 auch Ansteuerwerte A1 bis A4 für die Ventile 7. Die Ermittlung der Ansteuerwerte A1 bis A4 und die Ermittlung der Druckdifferenzen δp_1 , δp_2 können miteinander gekoppelt sein. Die entsprechenden Ermittlungen sind Fachleuten allgemein bekannt und müssen daher nicht detailliert erläutert werden. Auch hier sind entsprechende Vorgehensweisen beispielsweise in der WO 2019/115 145 A1 erläutert.

[0045] Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 8 in einem Schritt S4 für die Pumpen 6 eine jeweilige Soll Drehzahl n_1 , n_2 . Die Ermittlung erfolgt anhand des jeweiligen Gruppenstroms W_1 , W_2 und der jeweiligen Druckdifferenz δp_1 , δp_2 . Der Schritt S4 wird später noch näher erläutert werden.

[0046] In einem Schritt S5 steuert die Steuereinrichtung 8 sodann die Pumpen 6 mit den Soll Drehzahlen n_1 , n_2 und gegebenenfalls auch die Ventile 7 mit den Ansteuerwerten A1 bis A4 an. Sie betreibt somit die Pumpen 6 entsprechend der ermittelten jeweiligen Soll Drehzahl n_1 , n_2 und gegebenenfalls die Ventile 7 entsprechend den ermittelten jeweiligen Ansteuerwerten A1 bis A4. Den Aufbringeinrichtungen 4 der jeweiligen Kühlgruppen 3 wird dadurch entsprechend den Sollströmen w_1 bis w_4 Wasser 5 zugeführt.

[0047] Nach der Ausführung des Schrittes S5 geht die Steuereinrichtung 8 wieder zum Schritt S1 über. Die Steuereinrichtung 8 führt die Abfolge der Schritte S1 bis S5 also immer wieder aus. Mit jeder Ausführung des Schrittes S1 können der Steuereinrichtung 8 neue Werte für die Sollströme w_1 bis w_4 bekannt werden. Die Sollströme w_1 bis w_4 können also Funktionen der Zeit sein. Demzufolge können auch die hierauf aufbauend ermittelten Gruppenströme W_1 , W_2 , aufzubringenden Druckdifferenzen δp_1 , δp_2 und Soll Drehzahlen n_1 , n_2 Funktionen der Zeit sein. Meist erfolgt die Ausführung der Schritte S1 bis S5 streng getaktet mit einer Taktzeit. Die Taktzeit liegt in der Regel zwischen 0,1 s und 1,0 s, beispielsweise zwischen 0,2 s und 0,5 s.

[0048] Der jeweilige Gruppenstrom W_1 , W_2 , die jeweils aufzubringende Druckdifferenz δp_1 , δp_2 und die jeweilige Soll Drehzahl n_1 , n_2 bildeten charakteristische Kenngrößen der jeweiligen Pumpe 6. Soweit nachstehend, bezogen auf eine jeweilige Pumpe 6, von deren charakteristischen Kenngrößen die Rede ist, sind stets diese Werte gemeint, also für die eine Pumpe 6 der Gruppenstrom W_1 , die Druckdifferenz δp_1 und die Soll Drehzahl n_1 und für die andere Pumpe 6 der Gruppenstrom W_2 , die Druckdifferenz δp_2 und die Soll Drehzahl n_2 . Weiterhin wird die vorliegende Erfindung nachfolgend ausschließlich für die Pumpe 6 mit den charakteristischen Kenngrößen W_1 , δp_1 und n_1 erläutert. Für die andere Pumpe 6 gelten jedoch stets analoge Ausführungen.

[0049] Im allereinfachsten Fall ist der Schritt S4 entsprechend der nachstehend in Verbindung mit FIG 3 erläuterten Vorgehensweise implementiert. In diesem Fall ermittelt die Steuereinrichtung 8 die Soll Drehzahl n_1 der Pumpe 6 mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung. In die mathematisch-analytische Gleichung gehen als Eingangsgrößen der Gruppenstrom W_1 und die Druckdifferenz δp_1 ein. Die Gleichung kann beispielsweise wie folgt lauten:

$$n_1 = n_{N1} \cdot \sqrt{\frac{\delta p_1 + R_1 \cdot W_1^2}{\delta p_{N1}}} \quad (1)$$

[0050] Die in dieser Gleichung verwendeten Größen haben, soweit sie nicht bereits definiert sind, folgende Bedeutung: n_{N1} ist eine Nominaldrehzahl der betrachteten Pumpe 6. Sie ist in der Regel gleich oder zumindest ungefähr gleich der maximal zulässigen Drehzahl der Pumpe 6 (oder des zugehörigen Antriebs). R_1 ist ein interner Strömungswiderstand der betrachteten Pumpe 6. δp_{N1} ist eine Nominaldruckdifferenz. Die Nominaldruckdifferenz δp_{N1} wird von der betrachteten Pumpe 6 generiert, wenn sie mit der Nominaldrehzahl n_{N1} betrieben wird und der die betrachtete Pumpe 6 durchströmende Gruppenstrom W_1 null ist, sie also ausgangsseitig abgesperrt ist.

[0051] Der spezielle Zustand, bei dem die betrachtete Pumpe 6 mit der Nominaldrehzahl n_{N1} betrieben wird und der die betrachtete Pumpe 6 durchströmende Gruppenstrom W_1 null ist, darf zwar nur kurze Zeit (wenige Sekunden) angenommen werden, da anderenfalls die betrachtete Pumpe 6 beschädigt würde. Die Ermittlung der Nominaldruckdifferenz δp_{N1} im Rahmen eines Testes kann jedoch sehr schnell erfolgen. Der spezielle Zustand muss daher nur sehr kurze Zeit (1 Sekunde oder weniger) angenommen werden.

[0052] Im Rahmen der Vorgehensweise gemäß FIG 3 muss die Steuereinrichtung 8 zur Ermittlung der Soll Drehzahl n_1 keine Kennlinie der Pumpe 6 verwerten. Vielmehr ist es ausreichend, wenn der Steuereinrichtung 8 nur eine jeweilige singuläre Kenngröße der Pumpe 6 bekannt ist, nämlich deren interner Strömungswiderstand R_1 .

[0053] Die Vorgehensweise gemäß FIG 3 ist möglich, aber mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet. Vorzuziehen sind daher Vorgehensweisen, bei denen die Steuereinrichtung 8 die Soll Drehzahl n_1 unter Verwertung einer Kennlinie K_1 , K_1' , K_1'' der Pumpe 6 ermittelt. Auch diese Vorgehensweise ist jedoch gegenüber den Vorgehensweisen des Standes der Technik von Vorteil, da auch in diesem Fall die Kennlinie K_1 , K_1' , K_1'' nur von einer der charakteristischen Kenngrößen W_1 , δp_1 , n_1 der Pumpe 6 abhängig ist und es ausreichend ist, wenn die Kennlinie K_1 , K_1' , K_1'' nur eine einzelne Ausgangsgröße liefert.

[0054] Beispielsweise ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 8 die Soll Drehzahl n_1 der Pumpe 6 zwar mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung ermittelt, in die mathematisch-analytische Gleichung aber eine Kennlinie K_1 ein-

geht. Beispielsweise ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 8 die Solldrehzahl $n1$ der Pumpe 6 entsprechend der Darstellung in FIG 4 gemäß der Gleichung

$$n1 : \delta p1 = \left(\frac{n1}{nN1} \right)^2 \cdot \delta pN1 - R1(n1) \cdot W1^2 \quad (2)$$

ermittelt. Gleichung 2 ist im Kern durch Umformen von Gleichung 1 entstanden. Der Unterschied zu Gleichung 1 besteht darin, dass der interne Strömungswiderstand $R1$ der Pumpe 6 nunmehr keine Konstante ist, sondern als Funktion der Drehzahl $n1$ definiert ist. In diesem Fall erhält die Kennlinie $K1$ somit als Eingangsgröße die Solldrehzahl $n1$ der Pumpe 6 und liefert als Ausgangsgröße den internen Strömungswiderstand $R1$ der Pumpe 6.

[0055] Unter Umständen kann es auch möglich sein, den internen Strömungswiderstand $R1$ der Pumpe 6 als mathematisch-analytische Funktion des Gruppenstroms $W1$ oder der Solldrehzahl $n1$ zu beschreiben. In diesem Fall ist die Kennlinie $K1$ nicht erforderlich, sondern nur eine Parametrierung der Funktion zur Ermittlung des internen Strömungswiderstands $R1$ der Pumpe 6.

[0056] Alternativ ist es möglich, dass die Kennlinie $K1'$, $K1''$ als Eingangsgröße - wie zuvor - eine der charakteristischen Kenngrößen $W1$, $\delta p1$, $n1$ der Pumpe 6 erhält, als Ausgangsgröße aber eine weitere der charakteristischen Kenngrößen $W1$, $\delta p1$, $n1$ der Pumpe 6 liefert. In diesem Fall ist die Kennlinie $K1'$, $K1''$ auf einen Referenzwert der dritten der charakteristischen Kenngrößen $W1$, $\delta p1$, $n1$ der Pumpe 6 bezogen.

[0057] Beispielsweise kann die Kennlinie $K1'$ entsprechend der Darstellung in FIG 5 als Eingangsgröße den Gruppenstrom $W1$ erhalten und als Ausgangsgröße die Solldrehzahl $n1$ liefern und demzufolge der Referenzwert eine Referenzdruckdifferenz $\delta pR1$ sein.

[0058] Es ist möglich, dass die Referenzdruckdifferenz $\delta pR1$ gleich oder in etwa gleich der Nominaldruckdifferenz $\delta pN1$ ist. Alternativ kann es sich aber auch um einen anderen Wert handeln. In diesem Fall ist die Referenzdruckdifferenz $\delta pR1$ in der Regel niedriger als die Nominaldruckdifferenz $\delta pN1$.

[0059] In FIG 5 sind zusätzlich zu der Kennlinie $K1'$ zwei weitere Kennlinien eingezeichnet. Diese weiteren Kennlinien sind gleichartig zur Kennlinie $K1'$, aber für andere Druckdifferenzen gültig. Sie sind in FIG 5 zwar eingezeichnet, werden nachstehend aber nur im Rahmen der Erläuterung der vorliegenden Erfindung benötigt, nicht aber im Rahmen von deren Implementierung. Benötigt wird für die Implementierung der vorliegenden Erfindung nur die Kennlinie $K1'$, die für die Referenzdruckdifferenz $\delta pR1$ gültig ist.

[0060] Konkret ermittelt die Steuereinrichtung 8 in diesem Fall entsprechend der Darstellung in FIG 6 zunächst einen Faktor $a1$. Der Faktor $a1$ ergibt sich durch die Wurzel des Quotienten der Referenzdruckdifferenz $\delta pR1$ und der aufzubringenden Druckdifferenz $\delta p1$:

$$a1 = \sqrt{\delta pR1 / \delta p1} \quad (3)$$

[0061] Sodann skaliert die Steuereinrichtung 8 zur Ermittlung der Solldrehzahl $n1$ zunächst den Gruppenstrom $W1$ mit dem Faktor $a1$. Für den nunmehr ermittelten Wert - also den mit dem Faktor $a1$ skalierten Gruppenstrom $W1$ - ermittelt die Steuereinrichtung 8 unter Verwertung der Kennlinie $K1'$ einen Wert für die Solldrehzahl $n1$. Der so ermittelte Wert ist aber nur vorläufig. Die Steuereinrichtung 8 skaliert diesen Wert - also die anhand der Kennlinie $K1'$ ermittelte Solldrehzahl - noch mit dem Kehrwert des Faktors $a1$. Erst dadurch ergibt sich dann die endgültige Solldrehzahl $n1$. Die Ermittlung der Solldrehzahl $n1$ erfolgt also gemäß der Beziehung

$$n1 = \frac{1}{a1} \cdot K1'(a1 \cdot W1) \quad (4)$$

[0062] FIG 5 zeigt dies anschaulich. Denn in FIG 5 ist durch Pfeile dargestellt, auf welche Art und Weise ausgehend von der Kennlinie $K1'$ für die Referenzdruckdifferenz $\delta pR1$ eine Umrechnung auf andere Druckdifferenzen $\delta p1$ erfolgen kann. Konkret ist ersichtlich, dass sich bei einer Änderung der Druckdifferenz $\delta p1$ nicht nur der Gruppenstrom $W1$ ändert, sondern auch die Solldrehzahl $n1$. Anders ausgedrückt: Die Verbindungslinien der Arbeitspunkte der jeweiligen Pumpe 6, die durch die Umrechnung ermittelt werden, verlaufen in FIG 5 weder horizontal noch vertikal, sondern schräg.

[0063] Alternativ kann die Kennlinie $K1''$ entsprechend der Darstellung in FIG 7 als Eingangsgröße den Gruppenstrom $W1$ erhalten und als Ausgangsgröße die Druckdifferenz $\delta p1$ liefern und demzufolge der Referenzwert eine Referenzdrehzahl $nR1$ sein.

[0064] Es ist möglich, dass die Referenzdrehzahl $nR1$ gleich oder in etwa gleich der Nominaldrehzahl $nN1$ ist. Alternativ

kann es sich aber auch um einen anderen Wert handeln. In diesem Fall ist die Referenzdrehzahl n_{R1} in der Regel niedriger als die Nominaldrehzahl n_{N1} .

[0065] Konkret ermittelt die Steuereinrichtung 8 in diesem Fall entsprechend der Darstellung in FIG 8 zunächst einen Faktor a_1 . Der Faktor a_1 wird von der Steuereinrichtung 8 - bei gegebener gewünschter Druckdifferenz δp_1 und gegebenem Gruppenstrom W_1 - durch Lösen der Gleichung

$$a_1^2 \cdot \delta p_1 - K_1''(a_1 \cdot W_1) = 0 \quad (5)$$

ermittelt. Die Steuereinrichtung 8 ermittelt also durch Variieren des Faktors a_1 den Schnittpunkt einer Parabel (= Funktion 2. Ordnung), deren Scheitelpunkt im Ursprung des Koordinatensystems liegt und die den Punkt $(W_1, \delta p_1)$ enthält, mit der Kennlinie K_1'' . FIG 7 zeigt dies anschaulich. Der durch die gewünschte Druckdifferenz δp_1 und den gegebene Gruppenstrom W_1 gegebene Punkt $(W_1, \delta p_1)$ ist in FIG 7 durch ein kleines Kreuz markiert, der Schnittpunkt der Parabel mit der Kennlinie K_1'' durch einen kleinen Kreis.

[0066] Für den Wert $a_1 = 1$ ist der sich ergebende Punkt der Parabel der vorgegebene Punkt $(W_1, \delta p_1)$. Die anderen Punkte der Parabel ergeben sich zu $(a_1 W_1, a_1^2 \delta p_1)$. Der Wert des Faktors a_1 für den Schnittpunkt mit der Kennlinie K_1'' ist der "richtige" Wert. Mit dem Kehrwert dieses Wertes skaliert die Steuereinrichtung 8 die Referenzdrehzahl n_{R1} . Das Ergebnis dieser Skalierung ergibt die erforderliche Drehzahl n_1 der Pumpe 6. Auch im Rahmen der Vorgehensweise von FIG 8 verlaufen die Verbindungslinien der Arbeitspunkte der jeweiligen Pumpe 6, die durch die Umrechnung ermittelt werden, in FIG 7 ersichtlich weder horizontal noch vertikal, sondern schräg.

[0067] Für Ventile 7 hingegen ist entsprechend der Darstellung in FIG 9 zwar ebenfalls bereits eine Umrechnung von einem Referenzdruck auf einen anderen Arbeitsdruck bekannt. Bei dieser Umrechnung ändert sich bei einer Änderung des Arbeitsdruckes p_{A1} , p_{A2} aber nur der Volumenstrom w_1 bis w_4 , hingegen nicht der Ansteuerwert A_1 bis A_4 des jeweiligen Ventils 7. Anders ausgedrückt: Die Verbindungslinien der Arbeitspunkte, die durch die Umrechnung ermittelt werden, verlaufen entsprechend der Darstellung in FIG 9 bei einem Ventil 7 horizontal, nicht aber schräg.

[0068] Für die Ermittlung der Solldrehzahl n_2 für die andere Pumpe 6 - und gegebenenfalls auch weitere Pumpen 6 - gelten, wie bereits erwähnt, für alle Ausgestaltungen völlig analoge Ausführungen.

[0069] Die erfindungsgemäße Kühleinrichtung 1 kann nach Bedarf vor, in oder hinter einem Walzwerk angeordnet sein. Beispielsweise ist es möglich, dass mindestens eine der Aufbringeinrichtungen 4 innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist. Gegebenenfalls können auch mehrere Aufbringeinrichtungen 4 oder sogar alle Aufbringeinrichtungen 4 innerhalb der Walzstraße angeordnet sein. In diesem Fall können die entsprechenden Aufbringeinrichtungen 4 entsprechend der Darstellung in FIG 10 beispielsweise als Zwischengerüstkühlungen zwischen den Walzgerüsten 12 einer Fertigstraße ausgebildet sein. Alternativ ist es möglich, dass mindestens eine der Aufbringeinrichtungen 4 der Walzstraße vorgeordnet ist. Beispielsweise kann entsprechend der Darstellung in FIG 11 mindestens eine der Aufbringeinrichtungen 4 zwischen einem Vorgerüst 13 und den Walzgerüsten 12 der Fertigstraße angeordnet sein. In diesem Fall ist die entsprechende Aufbringeinrichtung 4 der Fertigstraße vorgeordnet. Auch eine Anordnung vor dem Vorgerüst 13 ist möglich. In beiden Fällen kann die entsprechende Aufbringeinrichtung 4 zum Kühlen verwendet werden oder beispielsweise Bestandteil einer Entzunderungseinrichtung sein. Ebenso ist es möglich, dass mindestens eine der Aufbringeinrichtungen 4 der Walzstraße nachgeordnet ist. Insbesondere können die Aufbringeinrichtungen 4 entsprechend der Darstellung in FIG 12 Bestandteil einer Kühlstrecke sein, die der Fertigstraße nachgeordnet ist. Auch andere Ausgestaltungen und Mischformen sind möglich.

[0070] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Zunächst vereinfacht sich die Ermittlung der Solldrehzahlen n_1 , n_2 . Hiermit einhergehend kann die Ermittlung der Solldrehzahlen n_1 , n_2 auch schneller erfolgen. Dies ist insbesondere deshalb von Vorteil, weil zumindest die Sollströme w_1 bis w_4 , wie bereits erwähnt, in der Regel Funktionen der Zeit sind und in der Folge auch die Gruppenströme W_1 , W_2 und hierauf aufbauend die Druckdifferenzen δp_1 , δp_2 und die Solldrehzahlen n_1 , n_2 zeitlich variieren. Als weiterer Vorteil ergibt sich, dass auf Seiten der Steuereinrichtung 8 ein geringerer Speicherumfang erforderlich ist. Weiterhin vereinfacht sich eine etwaige Adaption der Kennlinie K_1 , K_1' , K_1'' , da im Vergleich zu einem zweidimensionalen Kennlinienfeld erheblich weniger Parameter adaptiert werden müssen. Vor allem aber verringert sich der zeitliche Aufwand zum Erfassen der charakteristischen Kenngrößen W_i , δp_i , n_i (mit $i = 1, 2$, usw.) der Pumpen 6. Denn es muss für die Pumpen 6 jeweils nur noch eine einzelne Kenngröße R_i (mit $i = 1, 2$, usw.) oder nur noch eine einzelne eindimensionale Kennlinie K_i , K_i' , K_i'' (mit $i = 1, 2$, usw.) erfasst werden, aber nicht mehr ein zweidimensionales Kennlinienfeld. Dies ist insbesondere deshalb von Vorteil, weil die Erfassung der charakteristischen Kenngrößen W_i , δp_i , n_i der Pumpen 6 nur erfolgen kann, während die Kühleinrichtung 1 sich nicht im aktiven Betrieb befindet, mittels der Kühleinrichtung 1 also kein Walzgut 2 gekühlt wird.

[0071] 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

[0072]

5	1	Kühleinrichtung
	2	Walzgut
	3	Kühlgruppen
	4	Aufbringeinrichtungen
	5	Wasser
10	6	Pumpen
	7	Ventile
	8	Steuereinrichtung
	9	Computerprogramm
	10	Maschinencode
15	11	Wasserreservoir
	12	Walzgerüste
	13	Vorgerüst
	a1, a2	Faktoren
20	A1 bis A4	Ansteuerwerte
	K1, K1', K1"	Kennlinien
	n1, n2	Solldrehzahlen
	nN1	Nominaldrehzahl
	nR1	Referenzdrehzahl
25	p0	Basisdruck
	pA1, pA2	Arbeitsdrücke
	R1	interner Strömungswiderstand
	S1 bis S5	Schritte
	v	Transportgeschwindigkeit
30	w1 bis w4	Sollströme
	W1, W2	Gruppenströme
	x	Transportrichtung
	$\delta p1, \delta p2$	Druckdifferenzen
35	$\delta pN1$	Nominaldruckdifferenz
	$\delta pR1$	Referenzdruckdifferenz

Patentansprüche

- 40
1. Betriebsverfahren für eine Kühleinrichtung (1) zum Kühlen eines heißen Walzguts (2) aus Metall,
- 45
- wobei die Kühleinrichtung (1) eine Anzahl von Kühlgruppen (3) aufweist,
 - wobei die Kühlgruppen (3) jeweils eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen (4) aufweisen, mittels derer Wasser
 - 50 (5) auf das Walzgut (2) aufgebracht wird,
 - wobei die Kühlgruppen (3) jeweils eine den Aufbringeinrichtungen (4) der jeweiligen Kühlgruppe (3) vorgeordnete Pumpe (6) aufweisen, mittels derer das Wasser (5) zu den Aufbringeinrichtungen (4) der jeweiligen Kühlgruppe (3) gepumpt wird,
 - wobei eine Steuereinrichtung (8) für die Kühleinrichtung (1) anhand von jeweiligen Sollströmen (w1 bis w4),
 - 55 die den Aufbringeinrichtungen (4) der jeweiligen Kühlgruppe (3) zugeführt werden sollen, einen von der jeweiligen Pumpe (6) zu fördernden jeweiligen Gruppenstrom (W1, W2) ermittelt,
 - wobei die Steuereinrichtung (8) anhand des jeweiligen Gruppenstroms (W1, W2) und einer von der jeweiligen Pumpe (6) aufzubringenden jeweiligen Druckdifferenz ($\delta p1, \delta p2$) eine Solldrehzahl (n1, n2) der jeweiligen Pumpe (6) ermittelt und die jeweilige Pumpe (6) entsprechend der ermittelten Solldrehzahl (n1, n2) betreibt, so dass
 - den Aufbringeinrichtungen (4) der jeweiligen Kühlgruppe (3) entsprechend den Sollströmen (w1 bis w4) Wasser (5) zugeführt wird,
 - wobei der jeweilige Gruppenstrom (W1, W2), die jeweilige aufzubringende Druckdifferenz ($\delta p1, \delta p2$) und die jeweilige Solldrehzahl (n1, n2) charakteristische Kenngrößen der jeweiligen Pumpe (6) bilden,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (8) die jeweilige Solldrehzahl (n_1 , n_2) der jeweiligen Pumpe (6) entweder mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung ermittelt, in die als Eingangsgrößen der jeweilige Gruppenstrom (W_1 , W_2) und die jeweilige aufzubringende Druckdifferenz (δp_1 , δp_2) eingehen, oder unter Verwertung einer Kennlinie (K_1 , K_1' , K_1'') der jeweiligen Pumpe (6) ermittelt, die nur von einer der charakteristischen Kenngrößen (W_1 , δp_1 , n_1) der jeweiligen Pumpe (6) abhängig ist und eine einzelne Ausgangsgröße liefert.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (8) im Falle der Ermittlung mittels einer mathematisch-analytischen Gleichung die Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe (6) anhand der Beziehung

$$n_1 = n_{N1} \cdot \sqrt{\frac{\delta p_1 + R_1 \cdot W_1^2}{\delta p_{N1}}}$$

wobei n_1 die Solldrehzahl der jeweiligen Pumpe (6) ist, n_{N1} eine Nominaldrehzahl der jeweiligen Pumpe (6) ist, δp_1 die von der jeweiligen Pumpe (6) aufzubringende Druckdifferenz ist, R_1 ein interner Strömungswiderstand der jeweiligen Pumpe (6) ist, W_1 der jeweilige Gruppenstrom ist und δp_{N1} eine Nominaldruckdifferenz ist, der von der jeweiligen Pumpe (6) generiert wird, wenn sie mit der Nominaldrehzahl (n_{R1}) betrieben wird und der die jeweilige Pumpe (6) durchströmende Gruppenstrom (W_1) 0 ist.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die jeweilige Kennlinie (K_1) im Falle der Verwertung der Kennlinie (K_1 , K_1' , K_1'') als Eingangsgröße die Solldrehzahl (n_1) der jeweiligen Pumpe (6) erhält und als Ausgangsgröße einen internen Strömungswiderstand (R_1) der jeweiligen Pumpe (6) liefert.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die jeweilige Kennlinie (K_1' , K_1'') im Falle der Verwertung der Kennlinie (K_1 , K_1' , K_1'') als Ausgangsgröße eine weitere der charakteristischen Kenngrößen (W_1 , δp_1 , n_1) der jeweiligen Pumpe (6) liefert und dass die jeweilige Kennlinie (K_1' , K_1'') auf einen Referenzwert (δp_{R1}) der dritten der charakteristischen Kenngrößen (W_1 , δp_1 , n_1) der jeweiligen Pumpe (6) bezogen ist.

5. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

dass die jeweilige Kennlinie (K_1') als Eingangsgröße den Gruppenstrom (W_1) erhält und als Ausgangsgröße die Solldrehzahl (n_1) liefert und dass der Referenzwert eine Referenzdruckdifferenz (δp_{R1}) ist.

6. Betriebsverfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (8) den Gruppenstrom (W_1) im Rahmen der Verwertung der jeweiligen Kennlinie (K_1') mit einem jeweiligen Faktor (a_1) skaliert, dass die Steuereinrichtung (8) die anhand der jeweiligen Kennlinie (K_1') ermittelte Solldrehzahl (n_1) mit dem Kehrwert des jeweiligen Faktors (a_1) skaliert und dass der jeweilige Faktor (a_1) sich durch die Wurzel des Quotienten der jeweiligen Referenzdruckdifferenz (δp_{R1}) und der jeweiligen aufzubringenden Druckdifferenz (δp_1) ergibt.

7. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

dass die jeweilige Kennlinie (K_1'') als Eingangsgröße den Gruppenstrom (W_1) erhält und als Ausgangsgröße die Druckdifferenz (δp_1) liefert und dass der Referenzwert eine Referenzdrehzahl (n_{R1}) ist.

8. Betriebsverfahren nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (8) die Solldrehzahl (n_1) durch Skalieren der Referenzdrehzahl (n_{R1}) mit dem Kehrwert eines jeweiligen Faktors (a_1) ermittelt und dass die Steuereinrichtung (8) den jeweiligen Faktor (a_1) durch Lösen

der Gleichung

$$a1^2 \cdot \delta p1 - K1''(a1 \cdot W1) = 0$$

ermittelt, wobei $a1$ der Faktor ist, $\delta p1$ die gewünschte Druckdifferenz ist, $K1''$ die Kennlinie ist und $W1$ der Gruppenstrom ist.

9. Computerprogramm, das Maschinencode (10) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (8) für eine Kühleinrichtung (1) zum Kühlen eines heißen Walzguts (2) aus Metall abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (10) durch die Steuereinrichtung (8) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (8) die Kühleinrichtung (1) gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.
10. Steuereinrichtung für eine Kühleinrichtung (1) zum Kühlen eines heißen Walzguts (2) aus Metall, wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (9) nach Anspruch 9 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Kühleinrichtung (1) gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.
11. Kühleinrichtung zum Kühlen eines heißen Walzguts (2) aus Metall,
 - wobei die Kühleinrichtung (1) eine Anzahl von Kühlgruppen (3) aufweist,
 - wobei die Kühlgruppen (3) jeweils eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen (4) aufweisen, mittels derer Wasser (5) auf das Walzgut (2) aufgebracht wird,
 - wobei die Kühlgruppen (3) jeweils eine den Aufbringeinrichtungen (4) der jeweiligen Kühlgruppe (3) vorgeordnete Pumpe (6) aufweisen, mittels derer das Wasser (5) zu den Aufbringeinrichtungen (4) der jeweiligen Kühlgruppe (3) gepumpt wird,
 - wobei die Kühleinrichtung eine Steuereinrichtung (8) nach Anspruch 10 aufweist, welche die Kühleinrichtung gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.
12. Kühleinrichtung nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass mindestens eine der Aufbringeinrichtungen (4) innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist und/oder der Walzstraße vorgeordnet ist und/oder der Walzstraße nachgeordnet ist.

FIG 1

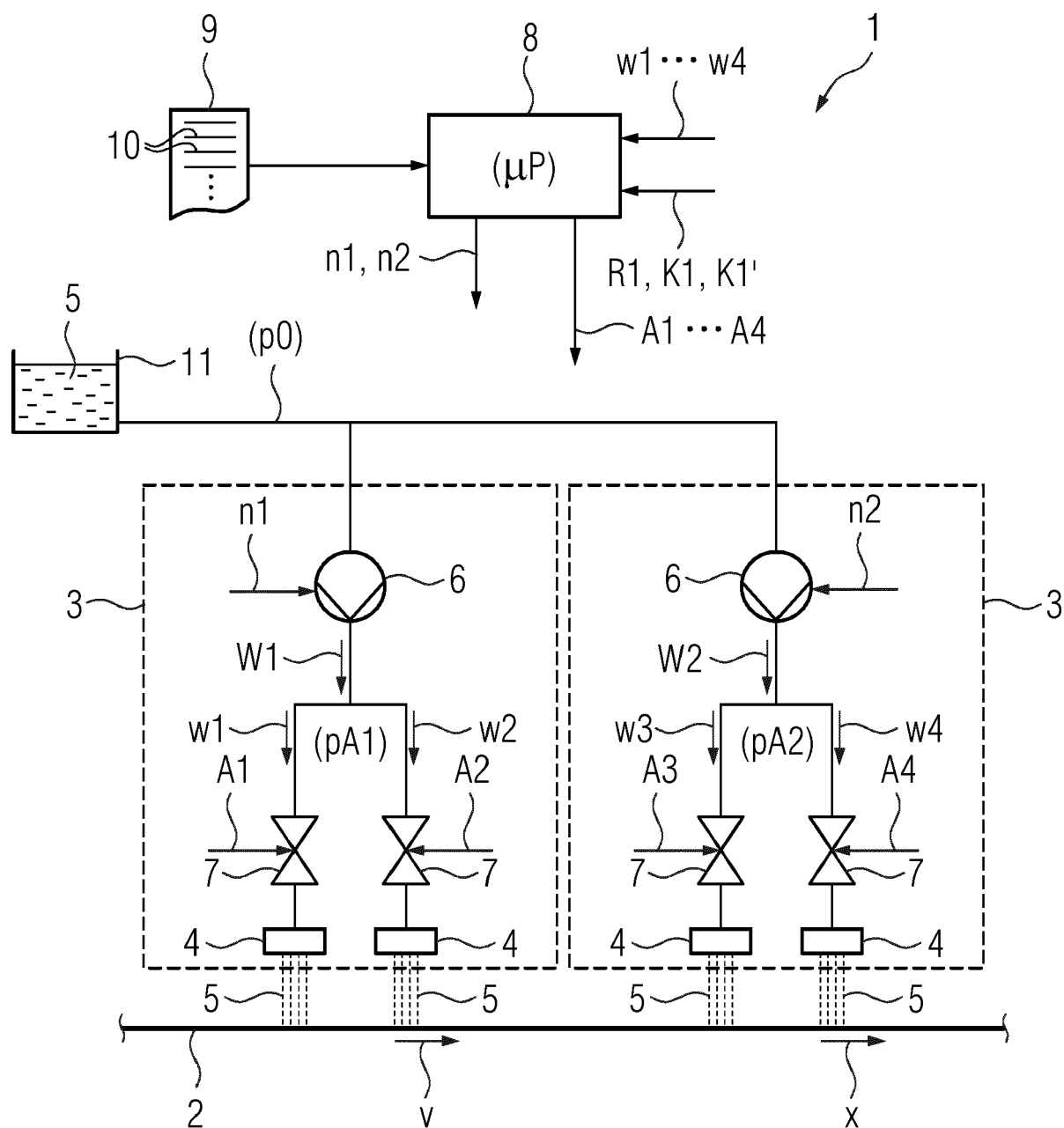


FIG 2

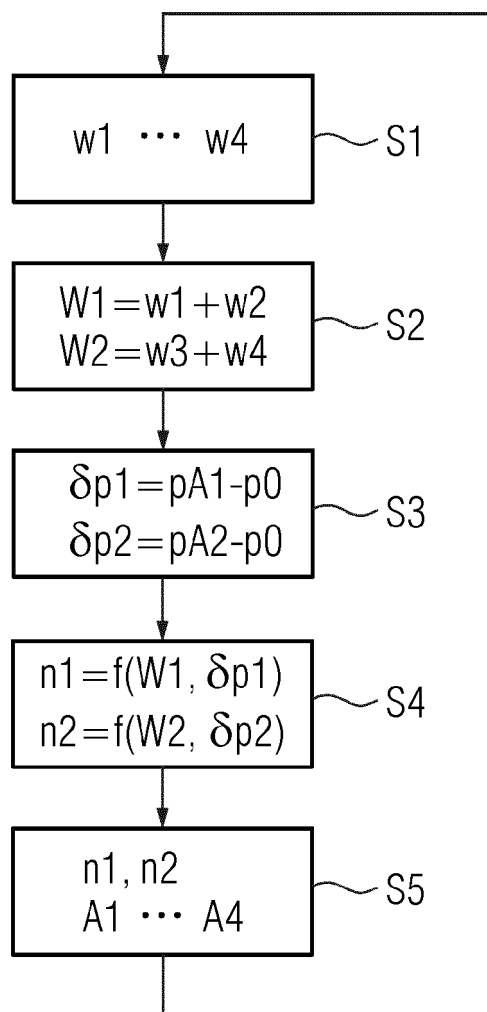


FIG 3

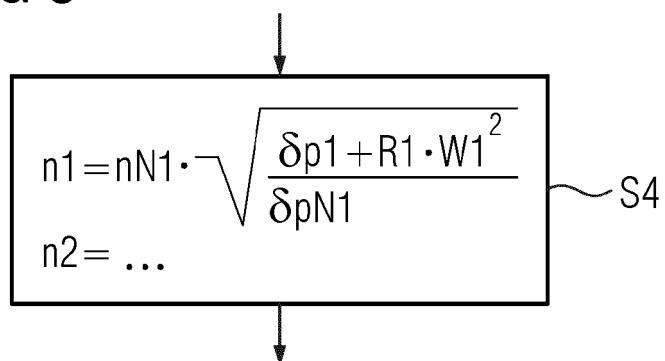
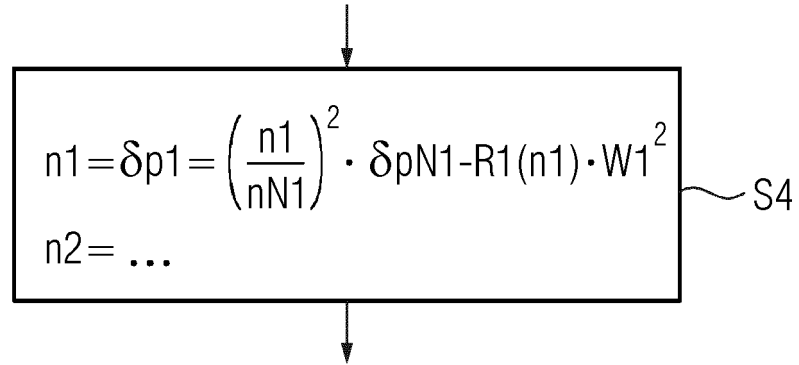


FIG 4



$$n1 = \delta p1 = \left(\frac{n1}{nN1} \right)^2 \cdot \delta p_{N1-R1}(n1) \cdot W1^2$$

$$n2 = \dots$$

S4

FIG 5

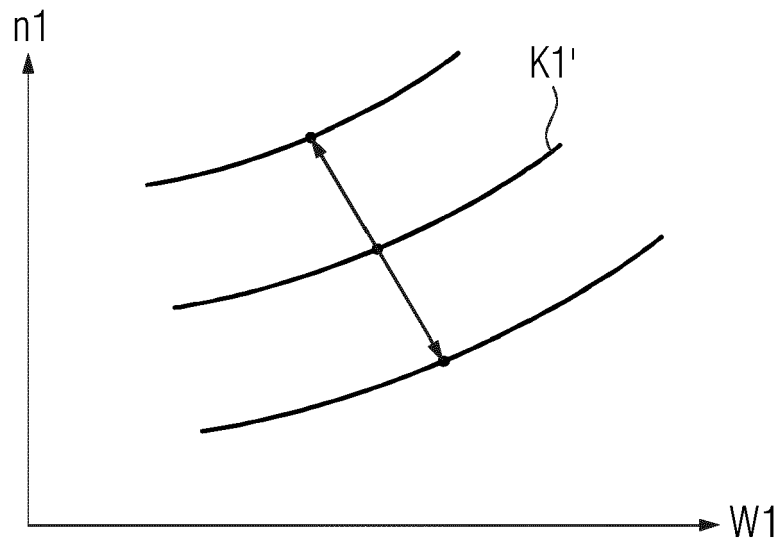


FIG 6

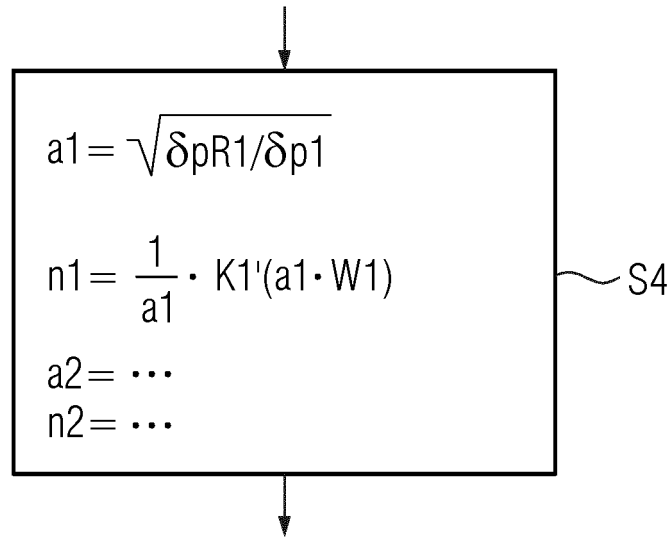


FIG 7

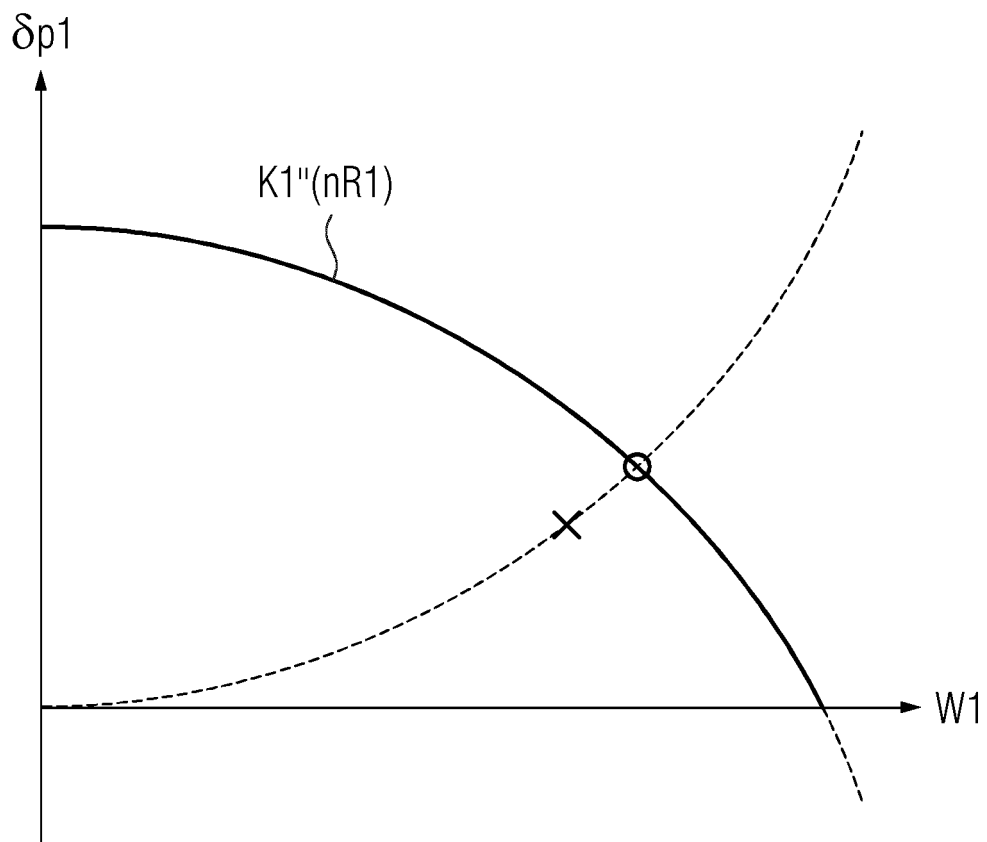


FIG 8

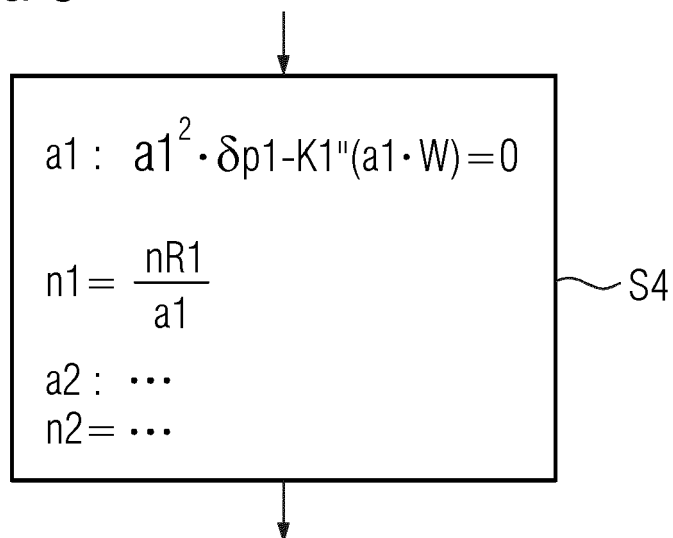


FIG 9

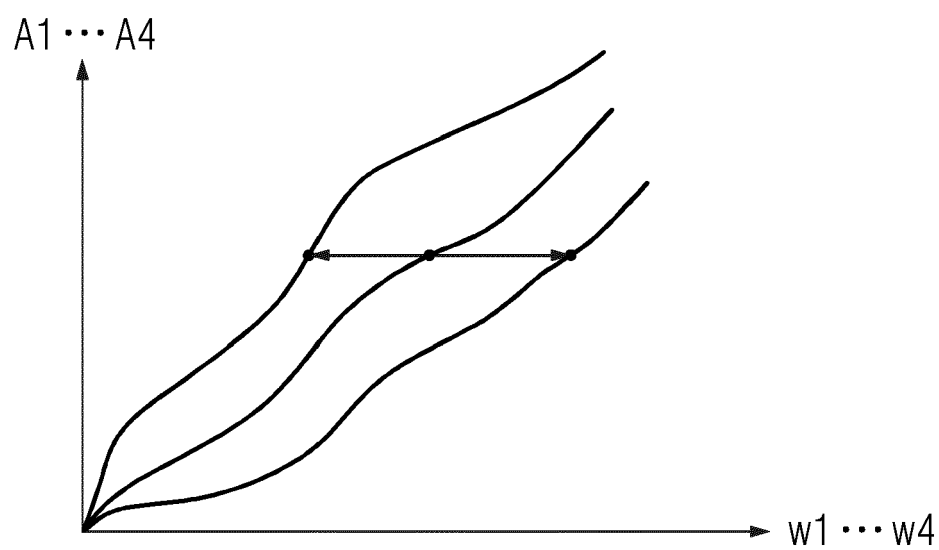


FIG 10

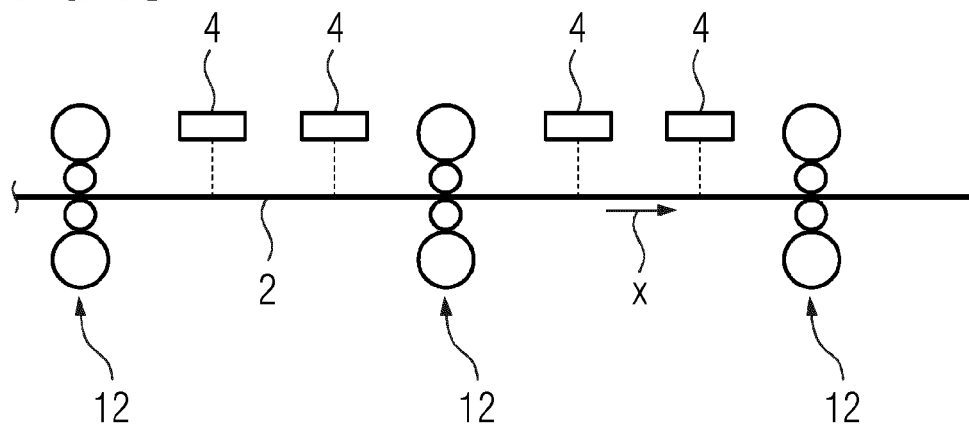


FIG 11

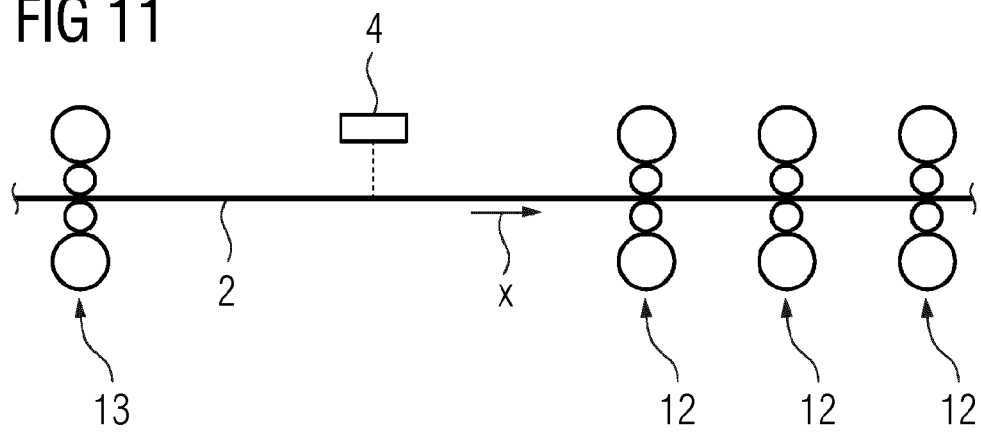
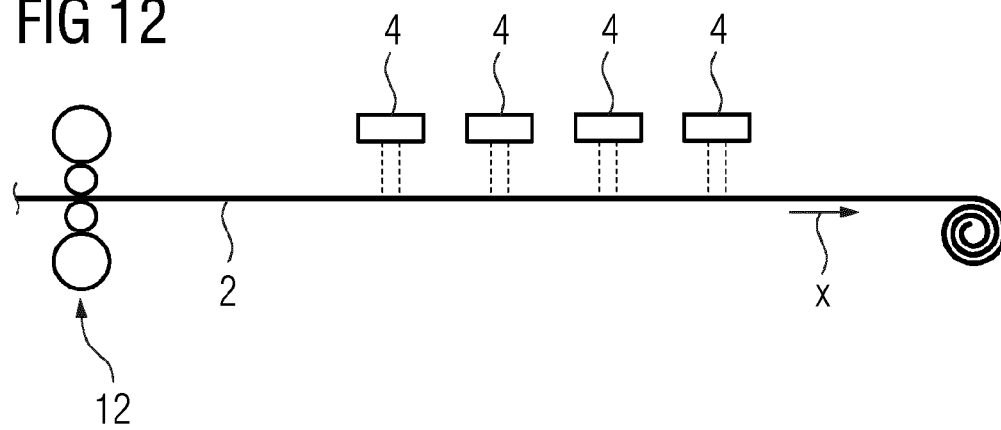


FIG 12





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 16 9308

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)
Y	WO 2013/143925 A1 (SIEMENS AG [DE]) 3. Oktober 2013 (2013-10-03) * Seite 23, Zeilen 1-25; Abbildungen 1,4 * -----	1-12	INV. F04D15/00 B21B37/76
Y	SU 1 225 923 A1 (UK OTDEL V G P IZYSKATEL [SU]) 23. April 1986 (1986-04-23) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * * Spalte 1, Zeilen 25-45 * -----	1,2	
Y	SIMON MUSHI ET AL: "Identification of Fluidic Element Models to Simulate the Short-Term Baroreflex", DECISION AND CONTROL, 2006 45TH IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PI, 1. Dezember 2006 (2006-12-01), Seiten 6738-6743, XP031082460, ISBN: 978-1-4244-0171-0 * Seite 6739, Spalte 2, Zeilen 35-50 * * Seite 6740, Spalte 2 - Seite 6741, Spalte 1 * * Seite 6742, Spalte 2, Zeilen 1-11 * -----	3	
Y	DE 10 2014 006828 A1 (WILO SE [DE]) 19. November 2015 (2015-11-19) * Absätze [0034], [0038], [0039]; Ansprüche 5,6 * -----	4-12	
A		2	
A	US 2019/187640 A1 (FOWLER EDWARD A [US]) 20. Juni 2019 (2019-06-20) * Absatz [0033] * -----	8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 18. September 2020	Prüfer Brouillet, Bernard
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 16 9308

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.

18-09-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2013143925 A1	03-10-2013	CN 104334754 A	04-02-2015
		EP 2644719 A1	02-10-2013
		EP 2817425 A1	31-12-2014
		WO 2013143925 A1	03-10-2013

SU 1225923 A1	23-04-1986	KEINE	

DE 102014006828 A1	19-11-2015	DE 102014006828 A1	19-11-2015
		DK 2944821 T3	07-09-2020
		EP 2944821 A1	18-11-2015

US 2019187640 A1	20-06-2019	CA 3086171 A1	27-06-2019
		EP 3710708 A1	23-09-2020
		US 2019187640 A1	20-06-2019
		WO 2019125746 A1	27-06-2019

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 2014124867 A1 [0005] [0011]
- WO 2013143925 A1 [0005] [0008] [0009]
- WO 2019115145 A1 [0005] [0011] [0043] [0044]
- EP 3599037 A1 [0006]