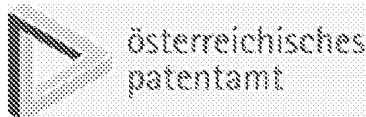


(19)



(10)

AT 516075 A1 2016-02-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50523/2014
 (22) Anmeldetag: 25.07.2014
 (43) Veröffentlicht am: 15.02.2016

(51) Int. Cl.: **B22D 11/124** (2006.01)
B22D 11/22 (2006.01)
B05B 1/08 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 EP 2527061 A1
 WO 2007121804 A1
 DE 19928936 A1

(71) Patentanmelder:
 Primetals Technologies Austria GmbH
 4031 Linz (AT)

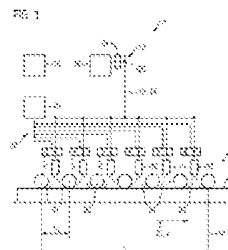
(72) Erfinder:
 Fuernhammer Thomas Dipl.Ing.
 4400 Steyr (AT)
 Ladner Peter Dipl.Ing.
 4202 Hellmonsödt (AT)
 Mairhofer Markus Dipl.Ing.
 4040 Linz (AT)
 Scheidl Rudolf
 3254 Bergland (AT)
 Stellnberger Rene Dipl.Ing.
 4273 Unterweißenbach (AT)
 Wahl Helmut Dipl.Ing.
 4222 Luftenberg (AT)
 Wieser Philipp Dipl.Ing.
 4521 Schiedlberg (AT)
 Woess Stefan Dipl.Ing.
 4170 Haslach an der Mühl (AT)

(74) Vertreter:
 Mikota Josef Dr.
 4031 Linz (AT)

(54) Kühlung eines metallischen Strangabschnitts

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) eines metallischen Strangs in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8) und Kühldüsen (10), bei dem der Strangabschnitt (4) zur Kühlung durch den Kühlbereich (6) gefördert wird und die Schaltventile (8) durch binäre pulsweitenmodulierte Steuersignale (38-46, 52) angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse (q) durch die Kühldüsen (10) abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel (12) zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt (4) in dem Kühlbereich (6) aufgebracht wird, sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung und eine Kühleinrichtung. Eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung kann erzielt werden, wenn die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale (38-46, 52) derart festgelegt werden,

dass der durch den Kühlbereich (6) geförderte Strangabschnitt (4) am Ende (36) des Kühlbereichs (6) mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt (4) gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) eines metallischen Strangs in einem
5 Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8) und Kühldüsen (10), bei dem der Strangabschnitt (4) zur Kühlung durch den Kühlbereich (6) gefördert wird und die Schaltventile (8) durch binäre pulswertenmodulierte Steuersignale (38-46, 52)
10 angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse (q) durch die Kühldüsen (10) abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel (12) zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt (4) in dem Kühlbereich (6) aufgebracht wird, sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung und eine Kühleinrichtung.
15

Eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung kann erzielt werden, wenn die binären pulswertenmodulierten Steuersignale (38-46, 52) derart festgelegt werden, dass der durch den
20 Kühlbereich (6) geförderte Strangabschnitt (4) am Ende (36) des Kühlbereichs (6) mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt (4) gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.

25 (FIG 1)

Kühlung eines metallischen Strangabschnitts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts eines metallischen Strangs gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, ein Verfahren zur Ermittlung eines Fehlerzustands einer Kühleinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10, sowie eine Kühleinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 14.

10 Beim Stranggießen von Metallen wird eine metallische Schmelze einer üblicherweise oszillierenden, wassergekühlten Kokille zugeführt, in dieser zumindest in der Randzone zur Erstarrung gebracht und üblicherweise kontinuierlich - bereits in Form eines Strangs - aus der Kokille einer der Kokille nachgelagerten Strangführungseinrichtung der Stranggießmaschine zugeführt und durch diese hindurchgefördert.

Hierbei ist es notwendig, den Strang in der Strangführungseinrichtung mit einer Kühleinrichtung, üblicherweise mittels
20 Aufbringen eines Kühlmittels auf den Strang, weiter abzukühlen.

Aus der WO 2012/163878 ist ein Verfahren zur Kühlung eines metallischen Strangs bekannt, bei dem ein Kühlmittel aus einer Vielzahl von längs einer Förderrichtung des Strang angeordneten Kühldüsen auf den Strang aufgebracht wird. Zur verfahrensgemäßen Kühlung des Strangs schlägt die WO 2012/163878 eine Kühlvorrichtung mit Schaltventilen und Kühldüsen vor.

30 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine zuverlässige und effiziente Kühlung eines Strangabschnitts eines metallischen Strangs zu erreichen.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10 und einer Kühleinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14.

Zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen und der Beschreibung und beziehen sich auf die Verfahren und die Kühleinrichtung.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts eines metallischen Strangs in einem Kühlbereich einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung, aufweisend Schaltventile und Kühldüsen, bei dem der Strangabschnitt zur Kühlung durch den Kühlbereich gefördert wird und die Schalt-
10 ventile durch binäre pulsweitenmodulierte Steuersignale angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse durch die Kühldüsen abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt in dem Kühlbereich aufgebracht wird sieht vor, dass
15 die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale derart festgelegt werden, dass der durch den Kühlbereich geförderte Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.

20

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass sich bei der Förderung des Strangs durch den Kühlbereich vorrangig längs des Strangs eine unterschiedlich starke Wiedererwärmung der Strangoberfläche - infolge einer Wärmeleitung aus dem Strang-
25 inneren - einstellt. Es ist deshalb wünschenswert, die Kühlleistung längs des Strangs bzw. der Kühleinrichtung verändern zu können. Ansonsten kann es zu einer mit metallurgischen Qualitätseinbußen einhergehenden Über- oder Unterkühlung des Strangs kommen. Hierfür ist es einerseits vorteilhaft, das
30 Kühlmittel intermittierend - also mit zeitlichen Unterbrechungen - auf den Strang aufzubringen. Auf diese Weise kann eine Kühlmittelmenge und damit die Kühlleistung auf einfache, robuste und energieeffiziente Weise über einen weiten Wertebereich eingestellt werden. Andererseits kann bei der intermittierenden Kühlmittelaufbringung - die an sich unstetig ist
35 - eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung nicht ohne Weiteres sichergestellt werden, da es zu einer ungewollten Wechselwirkung zwischen den zeitlichen Unterbrechungen der Kühl-

mittelaufbringung und weiteren Verfahrensgrößen des Stranggießprozesses kommen kann. Wird beispielsweise ein Strangabschnitt teilweise oder vollständig während einer zeitlichen Unterbrechung der Kühlmittelaufbringung - oder beispielsweise auch bei einem Defekt einer Kühldüse oder dergleichen - durch einen Kühlbereich gefördert, so erfährt der Strangabschnitt dabei eine ungewollte Verminderung der Kühlung bzw. gar keine Kühlung. Dies kann wiederum mit einer unerwünschten Verminderung der Strangqualität einhergehen. Eine derartige, ungewollte Verminderung der Kühlung bzw. eine Qualitätseinbuße kann vermieden werden, wenn eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte - im Sinne von Kühlmittelmenge pro Flächeneinheit - auf dem Strangabschnitt bewirkt wird. Wesentlich ist hierbei die Erkenntnis, dass die gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte spätestens bis zum Zeitpunkt der Förderung des Strangabschnitts durch den Kühlbereich - also am Ende des Kühlbereichs - bewirkbar ist. Durch die Erfindung werden die Steuersignale derart festgelegt - vereinfacht ausgedrückt, werden die zeitlichen Unterbrechungen der Kühlmittelaufbringung auf den Strang derart gezielt angepasst -, dass der genannte Nachteil der intermittierenden Kühlmittelaufbringung überwunden wird.

Ein Strangabschnitt kann ein Abschnitt des Strangs in einer Stranglängs- bzw. in einer Förderrichtung des Strangs durch den Kühlbereich sein. Insbesondere kann ein Strang in seiner Gesamtlänge zumindest überwiegend aus einer Mehrzahl von Strangabschnitten gebildet sein. Die Aufteilung des Strangs in eine Mehrzahl von Strangabschnitten kann eine lediglich gedachte Aufteilung eines quasikontinuierlichen - d.h. einstückig zusammenhängend durch zumindest die Hälfte der Länge der Strangführungseinrichtung verlaufenden - Strangs sein.

Der metallische Strang kann zumindest überwiegend Stahl beinhalten bzw. ein Stahlstrang sein.

Ein Kühlbereich im Sinne der vorliegenden Erfindung kann ein

Bereich sein, durch den der Strangabschnitt bzw. der Strang zur Aufbringung von Kühlmittel gefördert wird. Zweckmäßigerweise ist der Kühlbereich längs der Strangführungseinrichtung der Stranggießmaschine, bevorzugt innerhalb des Bereichs der Strangführungseinrichtung, angeordnet. Die Stranggießmaschine kann mehrere, insbesondere in der Förderrichtung des Strangs hintereinander angeordnete, Kühlbereiche umfassen. Beispielsweise kann der Kühlbereich ein Bereich sein, der durch aus der Kühldüse ausgebrachtes Kühlmittel benetzbar ist.

10

Die intermittierende Kühlmittelaufbringung kann durch ein wiederholtes Hin- und Herwechseln zwischen einem geöffneten und einem geschlossenen Zustand der Schaltventile erreicht werden. Zweckmäßigerweise sind die Schaltventile den Kühldüsen in Kühlmittelflussrichtung vorgeschaltet.

15

Zweckmäßigerweise werden die Schaltventile mit binären Steuersignalen angesteuert. Binär kann bedeuten, dass das Steuersignal zwei Zustände, insbesondere 0 oder 1 bzw. HI oder LOW, annehmen kann.

20

Vorteilhafterweise wird jeweils ein Schaltventil durch ein Steuersignal angesteuert. Es ist aber auch denkbar, dass eine Gruppe mehrerer Schaltventile durch ein und dasselbe Steuersignal, insbesondere simultan, angesteuert wird.

25

Ein Schaltventil kann wiederum einen Kühlmittelfluss durch eine einzige Kühldüse freigeben oder absperren. Denkbar ist aber auch, dass mehrere Kühlmittelflüsse durch eine Gruppe mehrerer Kühldüsen durch ein und dasselbe Schaltventil freigegeben oder abgesperrt werden.

30

Vorteilhafterweise ist das binäre Steuersignal ein pulsweitenmoduliertes Steuersignal, dessen signaltechnische Eigenschaften durch eine Trägerfrequenz, ein Pulsweitenverhältnis und eine Phasenverschiebung oder dergleichen festlegbar sind.

35

Festlegen im Sinne der vorliegenden Erfindung kann bedeuten, dass zumindest eine signaltechnische Eigenschaft eines Steuersignals, beispielsweise die Trägerfrequenz, moduliert bzw. angepasst bzw. verändert wird. Die Festlegung erfolgt vorteilhafterweise in Abhängigkeit zumindest einer Zustandsgröße, die eine Zustandsgröße des Stranggießprozesses, des Strangs, der Kühleinrichtung oder dergleichen sein kann.

Unter der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte im Sinne der vorliegenden Erfindung kann eine Mengeneinheit des Kühlmittels im Verhältnis zu einer Flächeneinheit des Strangabschnitts verstanden werden. Zweckmäßigerweise ist Kühlmittelbeaufschlagungsdichte eine Kühlmittelmenge pro Flächeneinheit, die beispielsweise mit der Maßeinheit l/m^2 angegeben werden kann.

Vereinfacht ausgedrückt sieht die Erfindung vor, dass die zeitlichen Unterbrechungen der intermittierenden Kühlmittelaufbringung auf den Strangabschnitt im Kühlbereich durch eine Modulation - d.h. eine Veränderung der Signaleigenschaften - der Steuersignale derart angepasst wird, dass eine zu kühlende Oberfläche des Strangabschnitts nach Durchlaufen des Kühlbereich an jeder Stelle die gleiche Kühlleistung durch Einwirkung des Kühlmittels erfahren hat.

Zur Festlegung der zeitlichen Unterbrechung ist es vorteilhaft, die Steuersignale - d.h. deren Eigenschaften - unter Verwendung einer Fördergeschwindigkeit des Strangs und/oder eines Fehlerzustand der Kühleinrichtung und/oder einer geometrischen Eigenschaft des Kühlbereichs und/oder eines Abstands zwischen zwei Kühldüsen oder zwei Kühldüsenreihen oder dergleichen festzulegen.

Auf diese Weise kann eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung des Strangs und damit eine gleichmäßige metallurgische Strangqualität, insbesondere unter Beibehaltung der bekannten Vorteile der intermittierenden Kühlmittelausbringung, erzielt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung eines Fehlerzustands einer Kühleinrichtung, aufweisend durch Steuersignale angesteuerte Schaltventile zum Freigeben und Unterbrechen von Kühlmittelflüssen und das Kühlmittel intermittierend ausbringende Kühldüsen, einer Stranggießmaschine, bei dem eine den physikalischen Zustand des Kühlmittels beschreibende Zustandsgröße ermittelt wird, sieht vor, dass die Zustandsgröße im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile und/oder mehreren der Kühldüsen gemeinsamen Kühlmittelzuleitung ermittelt wird, ein Verlauf der Zustandsgröße mit einem Referenzverlauf verglichen wird und in Abhängigkeit des Vergleichs ein Fehlerzustand zumindest eines der Schaltventile und/oder einer der Kühldüsen der Kühleinrichtung ermittelt wird.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass die Kühleinrichtung zur Aufbringung des Kühlmittels in ihrer Funktion zumindest teilweise fehlerbedingt beeinträchtigt sein kann. Um einer ungewollten Auswirkung eines solchen Fehlerzustands auf die gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung des Strangabschnitts entgegenwirken zu können, ist es wünschenswert, ein Verfahren anzugeben, mit dem ein Fehlerzustand der Kühleinrichtung zuverlässig erkannt werden kann. Ein Fehlerzustand der Kühleinrichtung kann auf einen Defekt eines oder mehrerer Schaltventile und/oder einer oder mehrerer der Kühldüsen zurückzuführen sein. Beispielsweise kann bzw. können ein Schaltventil und/oder mehrere Schaltventile infolge Blockierens nicht mehr von einem geöffneten in einem geschlossenen Zustand und/oder vice versa schaltbar - d.h. blockiert - sein. Ferner kann ein Schaltventil und/oder eine Kühldüse zumindest teilweise verstopft sein oder dergleichen. Außerdem können mehrere Schaltventile und/oder mehrere Kühldüsen jeweils zumindest teilweise verstopft sein oder dergleichen. Wesentlich ist dabei die Erkenntnis, dass ein defektes Schaltventil und/oder eine defekte Kühldüse eindeutig lokalisiert werden muss, um die Festlegung der Steuersignale verfahrensgemäß anzupassen, so dass auch bei Vorliegen eines

solchen Fehlerzustands eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht werden kann. Dabei kann die Ermittlung eines Fehlerzustands durch einen Sensor pro Schaltventil und/oder pro Kühldüse aufwändig und fehleranfällig sein, da eine Vielzahl von Sensoren benötigt wird. Die Erfindung ermöglicht es, den messtechnischen Aufwand zur Ermittlung eines Fehlerzustands zu verringern, indem eine den Zustand des Kühlmittels beschreibende Zustandsgröße im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile und/oder mehreren der Kühldüsen gemeinsamen Kühlmittelzuleitung ermittelt wird. D.h. vereinfacht ausgedrückt wird ein Sensor an der Kühleinrichtung platziert und ein Messwert ermittelt, anstatt mehrere Sensoren an mehreren Stellen der Kühleinrichtung zu platzieren, um mehrere Messwerte zu ermitteln.

Ferner erlaubt es das Verfahren, den Fehlerzustand durch entsprechende Festlegung der Steuersignale zumindest temporär zu kompensieren, ohne dass es zu einer ungewollten Auswirkung auf die Strangqualität kommt. Auf diese Weise kann ein Austausch eines defekten Schaltventils und/oder einer defekten Kühldüse zeitlich hinausgezögert und eine produktionsfreie Standzeit der Stranggießmaschine vermindert werden.

Die Zustandsgröße kann insbesondere eine Zustandsgröße des Kühlmittels, beispielsweise ein Druck, eine Beschleunigung, eine Schalldruck, ein Durchfluss oder dergleichen, sein.

Zweckmäßigerweise wird die Zustandsgröße an einer Kühlmittelzuleitung ermittelt, die mehrere Schaltventile und/oder Kühldüsen mit Kühlmittel speist.

Die Zustandsgröße kann in einem regulären Betrieb der Kühleinrichtung - d.h. während einer Strangproduktion - und/oder während eines Wartungsbetriebs der Kühleinrichtung ermittelt werden.

Der Referenzverlauf kann ein Verlauf der ermittelten Zustandsgröße über der Zeit, über einer Frequenz oder derglei-

chen sein, der bei einer fehlerfreien Funktion der Kühleinrichtung ermittelt wird bzw. wurde.

Der Vergleich kann durch eine mathematische Operation unter Berücksichtigung des Referenzverlaufs und des Verlaufs der Zustandsgröße erfolgen. Der Vergleich kann durch eine Differenzbildung zwischen dem Verlauf der Zustandsgröße und dem Referenzverlauf erfolgen.

10 Die erfindungsgemäße Kühleinrichtung, aufweisend Schaltventile, Kühldüsen und ein Kühlmittel, zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts in einem Kühlbereich einer Stranggießmaschine, sieht eine Messeinrichtung, eine Ermittlungseinrichtung und eine Steuereinrichtung vor.

15 Die Messeinrichtung weist einen Sensor auf, der zur Ermittlung einer den Zustand des Kühlmittels beschreibenden Zustandsgröße im Bereich einer zumindest mehreren Schaltventilen und/oder Kühldüsen gemeinsamen Kühlmittelzuleitung vorbereitet ist.

Die Ermittlungseinrichtung ist zum Vergleich eines Verlaufs der Zustandsgröße mit einem Referenzverlauf und zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung in Abhängigkeit des Vergleichs vorbereitet.

Die Steuereinrichtung ist zur Festlegung von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen und zur Ansteuerung der Schaltventile mit den Steuersignalen vorbereitet.

30 Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass zur zuverlässigen und effizienten Kühlung des Strangabschnitts mess- und steuerungstechnische Maßnahmen erforderlich sind. Die Erfindung ermöglicht die verfahrensgemäße Umsetzung dieser Maßnahmen indem die Kühleinrichtung die derart eingerichtete Messeinrichtung, die Ermittlungseinrichtung und die Steuereinrichtung aufweist.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen. Die Weiterbildungen beziehen sich sowohl auf die erfindungsgemäßen Verfahren wie auch auf die erfindungsgemäße Kühleinrichtung.

5

Die Erfindung und die beschriebenen Weiterbildungen können sowohl in Software als auch in Hardware, beispielsweise unter Verwendung einer speziellen elektrischen Schaltung, realisiert werden.

10

Ferner ist eine Realisierung der Erfindung oder einer beschriebenen Weiterbildung möglich durch ein computerlesbares Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung oder die Weiterbildung ausführt.

15

Auch können die Erfindung und/oder jede beschriebene Weiterbildung durch ein Computerprogrammerzeugnis realisiert sein, welches ein Speichermedium aufweist, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung und/oder die Weiterbildung ausführt.

20

Die Kühlmittelbeaufschlagungsdichte kann insbesondere durch unerwünschte Schwankungen einer Kühlmitteldurchflussmenge in Leitungen bzw. Zuleitungen der Kühleinrichtung ungewollt beeinflusst werden. Solche Schwankungen können durch Druckstöße im Kühlmittel verursacht werden, die wiederum durch die intermittierende Schaltung - d.h. das Öffnen und Schließen - der Schaltventile verursacht werden können. Die Höhe der Druckstöße und damit die Höhe der Schwankungen kann durch eine vorteilhafte Festlegung der Steuersignale vermindert werden.

25

30

Insbesondere deshalb ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung zumindest eines der Steuersignale mit einer Phasenverschiebung zu einem weiteren der Steuersignale festgelegt.

35

Durch die Phasenverschiebung kann ein zeitversetztes Schalten der durch die phasenverschobenen Steuersignale angesteuerten

Schaltventile bewirkt werden. Der Zeitversatz kann eine Verminderung der Druckstöße und folglich eine Vergleichmäßigung der Kühlmitteldurchflussmenge bewirken. Derart kann mit einfachen Mitteln einer ungewollten Beeinflussung der

5 Kühlmittelbeaufschlagungsdichte entgegengewirkt werden.

Ausgehend von einer Ansteuerung einer Anzahl von n Schaltventilen mit jeweils einem Steuersignal – mit jeweils gleichen Eigenschaften, wie einer Trägerfrequenz F und einem

10 Pulsweitenverhältnis κ – kann eine Phasenverschiebung ϕ über einen einfachen Berechnungsansatz, beispielsweise $\phi = t_p / n$ festgelegt werden, wobei t_p die Periodendauer des Steuersignals, also der Kehrwert der Trägerfrequenz F , ist.

15 Insbesondere, wenn die Steuersignale unterschiedliche Trägerfrequenzen und/oder Pulsweitenverhältnisse aufweisen kann es erforderlich sein, von einfachen arithmetischen Berechnungsansätzen zur Festlegung der Steuersignale abzuweichen.

20 In einer weiteren Ausgestaltung wird eine Phasenverschiebung eines der Steuersignale unter Verwendung eines numerischen Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels festgelegt.

25 Die Volumenstromschwankung kann eine Schwankung eines Kühlmitteldurchflusses durch eine Leitung bzw. Zuleitung der Kühleinrichtung beschreiben.

Für das Optimierungsverfahren kann ein Frequenzspektrum des

30 Volumenstroms ermittelt werden. Das Frequenzspektrum kann in einen konstanten und einen trigonometrischen Term aufgespalten werden. Der trigonometrische Term kann von den Pulsweitenverhältnissen und den Phasenverschiebungen der Schaltsignale abhängen. Bei gegebenen Pulsweitenverhältnissen

35 der Steuersignale kann die Optimierung die Anpassung der Phasenverschiebungen zum Gegenstand haben.

Das Optimierungsverfahren kann mit einem sogenannten genetischen Algorithmus, einem gradientenbasierten Verfahren oder dergleichen erfolgen.

- 5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung werden zumindest zwei der Steuersignale mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen festgelegt.

10 Eine Trägerfrequenz kann der Kehrwert einer Zeitdauer zwischen zwei Zustandswechseln eines Steuersignals jeweils von LOW nach HI und/oder jeweils von HI nach LOW sein. Eine vergleichsweise hohe Trägerfrequenz kann eine vergleichsweise schnell intermittierende Kühlmittelausbringung bewirken. In anderen Worten ausgedrückt, kann die Trägerfrequenz der Kehrwert einer Periodendauer eines Steuersignalzyklus sein.

Die zumindest zwei Steuersignale können jeweils ein Schaltventil ansteuern, das jeweilige Schaltventil jeweils einen Kühlmittelfluss durch eine Kühldüse freigeben und/oder unterbrechen. Derart können unterschiedliche Kühlmittelmengen durch die derart adressierten Kühldüsen auf den Strang aufgebracht werden. Das derartige Aufbringen unterschiedlicher Kühlmittelmengen - insbesondere in verschiedenen, bevorzugt in Förderrichtung des Strangs hintereinander liegenden, Bereichen der Kühleinrichtung - kann vorteilhaft für eine Erzielung einer gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte über den Strangabschnitt sein.

30 Sofern eine ungünstige Wechselwirkung zwischen der Trägerfrequenz - und damit zwischen der zeitlichen Unterbrechung der Kühlmittelaufbringung - und einer verfahrenstechnischen Größe des Stranggießprozesses und/oder einem Parameter der Stranggießmaschine vorliegt, kann es zu einer ungewollten Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte kommen.

35

Insbesondere deshalb wird in einer vorteilhaften Weiterbildung eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangabschnitts festgelegt.

Auf diese Weise kann auch bei einer Änderung der Strang- bzw. Gießgeschwindigkeit eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht werden.

5

Außerdem ist es vorteilhaft, wenn eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Länge des Kühlbereichs festgelegt wird.

10 Die Länge des Kühlbereichs kann eine Erstreckung des Kühlbereichs im Wesentlichen längs der Strangförderichtung sein. Die Länge des Kühlbereichs kann eine Länge eines durch eine Kühldüse mit Kühlmittel beaufschlagbaren Bereichs sein.

15 Da es möglich ist, dass die Kühleinrichtung Kühlbereiche mit unterschiedlichen Längen umfasst, kann auf diese Weise insbesondere unter solchen Umständen eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht werden.

20 Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Durchlaufzeit des Strangs durch einen durch eine Kühldüse mit Kühlmittel beaufschlagbaren Bereich, insbesondere einen Kühlbereich, festgelegt wird.

25

Die Durchlaufzeit kann der Quotient aus der Länge des Kühlbereichs und der Stranggeschwindigkeit sein.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit eines Sprühprofils der Kühldüsen festgelegt wird.

30

Das Sprühprofil kann ein Verlauf einer erzielbaren Kühlmittelbeaufschlagungsdichte längs einer mittels einer Kühldüse benetzten Fläche sein.

35

Denkbar ist ein rechteckförmiges Sprühprofil, bei dem ein jeder benetzte Punkt längs der Fläche mit der gleichen Kühlmittel-

telmenge beaufschlagt wird.

Insbesondere bei Vorliegen eines rechteckförmigen Sprühprofils ist es vorteilhaft, wenn der Kehrwert der Trägerfrequenz F , d.h. die Periodendauer t_p eines Steuersignals, gemäß der Gleichung $t_p = x_n / (k \cdot v)$ festgelegt wird, wobei x_n die Länge des Kühlbereichs, k ein positiver ganzzahliger Wert (1, 2, 3, ...) und v die Geschwindigkeit des Strangs ist.

10 Ferner denkbar ist ein dreieckförmiges Sprühprofil, bei dem die Kühlmittelbeaufschlagungsdichte längs der beaufschlagten Fläche von einem Minimum linear bis auf ein Maximum ansteigt und hiernach wiederum linear bis auf das Minimum abfällt.

15 Insbesondere bei Vorliegen eines dreieckförmigen Sprühprofils ist es vorteilhaft, wenn der Kehrwert der Trägerfrequenz F , d.h. die Periodendauer t_p eines Steuersignals, gemäß der Gleichung $t_p = x_n / (g \cdot v)$ festgelegt wird, wobei x_n die Länge des Kühlbereichs, g ein positiver gerader Zahlenwert (2, 4, 6, ...) und v die Geschwindigkeit des Strangs ist.

25 Es ist vorteilhaft, wenn die Phasenverschiebung eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangs und/oder einer Länge des Kühlbereichs und/oder eines Sprühprofils der Kühldüsen festgelegt wird.

Durch die Festlegung eines oder mehrerer der Steuersignale auf die vorgenannte Art und Weise kann erreicht werden, dass die Beaufschlagung eines Strangabschnitts mit Kühlmittel nach Durchlaufen eines Kühlbereichs im Wesentlichen mit der gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte über den Strangabschnitt erfolgt ist.

35 In einer vorteilhaften Ausführungsform werden zumindest zwei der Steuersignale mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen festgelegt.

Das Pulsweitenverhältnis kann den relativen Anteil eines Steuersignalpulses - d.h. eines binären HI-Zustands - an der Periodendauer des Steuersignalverlaufs beschreiben. Beispielsweise beschreibt ein Pulsweitenverhältnis von 100 % ein Steuersignal mit permanentem Zustand 1 bzw. HI. Beispielsweise beschreibt ein Pulsweitenverhältnis von 50 % ein Steuersignal mit einem Rechteckprofil, dessen Rechteckpulse jeweils die Hälfte einer Periodendauer andauern.

10 Zum Ausgleich einer fehlerbedingt nicht aufgebrachten Kühlmittelmenge - beispielsweise infolge einer defekten Kühldüse - ist es vorteilhaft, wenn durch eine weitere Kühldüse eine erhöhte Kühlmittelmenge auf den Strang aufgebracht wird.

15 Insbesondere deshalb ist vorteilhaft, wenn ein Pulsweitenverhältnis eines der Steuersignale in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung festgelegt wird.

Tritt beispielsweise ein Fehlerzustand in Form einer defekten Kühldüse auf, wird das Pulsweitenverhältnis eines Steuersignals zur Ansteuerung einer weiteren Kühldüse derart verändert, dass die fehlerbedingt nicht aufgebrachte Kühlmittelmenge mittels der weiteren Kühldüse zusätzlich auf den Strang aufgebracht wird. Auf diese Weise kann einer ungewollten, fehlerbedingt ungleichmäßigen Kühlmittelbeaufschlagung des Strangs entgegenwirkt werden.

Vorteilhafterweise wird der Fehlerzustand der Kühleinrichtung mit einem Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 11 bis 30 14 ermittelt.

Sofern das Kühlmittel innerhalb eines Kühlbereichs durch lediglich eine Kühldüse bzw. eine Kühldüsenreihe auf den Strang aufgebracht wird, kann insbesondere bei einer besonders hohen Gießgeschwindigkeit oder einer besonders geringen Länge eines Kühlbereichs, eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte nicht ohne Weiteres erreicht werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung wird das Verfahren eingesetzt zur Kühlung eines Strangabschnitts in einem Kühlbereich, in dem zumindest zwei der Kühldüsen in einer Förder-
5 richtung des Strangabschnitts hintereinander angeordnet sind. Auf diese Weise kann ein Kühlmittelmengenausgleich über mehr als eine Kühldüse(nreihe) mit einfachen Mitteln erfolgen.

10 Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird unter Verwendung eines Verlaufs der Zustandsgröße ein Frequenzspektrum der Zustandsgröße ermittelt und mit einem Referenzfrequenzspektrum verglichen.

15 Der Verlauf der Zustandgröße kann ein Zeitverlauf, insbesondere eine Verlauf eines Drucks über der Zeit sein. Die Ermittlung des Frequenzspektrums kann mit einem sogenannten Fast-Fourier-Transformations-Verfahren oder dergleichen erfolgen. Das Referenzfrequenzspektrum ist ein Frequenzspektrum, das bei einer fehlerfreien Funktion der Kühleinrichtung
20 ermittelt wird bzw. wurde.

Durch ein Ansteuern und Schalten eines Schaltventils zur intermittierenden Kühlmittelausbringung kann ein Zustandsgrößenstoß - also eine abrupte Änderung einer Zustandsgröße über
25 der Zeit - des Kühlmittels in der Kühlmittelzuleitung bewirkt werden. Ein solcher Stoß kann ein Frequenzspektrum mit einer Frequenzüberhöhung - d.h. einem Peak oder dergleichen - aufweisen. Dabei kann das Schalten mehrerer Schaltventile mehrere jeweils charakteristische Frequenzüberhöhungen innerhalb
30 des Frequenzspektrums bewirken, wobei einzelne Peaks einzelnen Schaltventilen und/oder Kühldüsen zugeordnet werden können. Mittels des Vergleichs mit dem Referenzspektrum kann ein defektes Schaltventil und/oder eine defekte Kühldüse derart auf einfache Weise ermittelt und lokalisiert werden.

35

Außerdem ist es vorteilhaft, wenn während der Ermittlung der Zustandsgröße zumindest eines der Schaltventile durch ein

Steuersignal mit einer temporär erhöhten Schalttestfrequenz angesteuert wird.

5 Zweckmäßigerweise wird ein Frequenzspektrum der Zustandsgröße ermittelt. Ist die Schalttestfrequenz nicht als charakteristische Frequenzüberhöhung im Frequenzspektrum enthalten, kann auf einen Fehlerzustand an dem mit der Schalttestfrequenz angesteuerten Schaltventil und/oder einer diesem Schaltventil nachgeschalteten Kühldüse geschlossen werden.

10

Zweckmäßigerweise werden mehrere Schaltventile, die aus einer gemeinsamen Kühlmittelzuleitung gespeist werden, nacheinander, bevorzugt für jeweils 2 s bis 4 s, mit der Schalttestfrequenz angesteuert. Es ist vorteilhaft, wenn die Schalttestfrequenz eine übliche Schaltfrequenz bzw. Trägerfrequenz der Schaltventile zumindest um einen Faktor zwei übersteigt. Auf diese Weise kann ein Fehlerzustand während eines regulären Betriebs der Kühleinrichtung unter Vermeidung einer Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte ermittelt werden.

20

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird die Zustandsgröße mit einem Drucksensor ermittelt. Drucksensoren sind vielfach erprobt und in einer Vielzahl von an die jeweilige Anwendung angepassten Ausführungsformen erhältlich. Auf diese Weise kann die Zustandsgröße zuverlässig und kostengünstig ermittelt werden.

25

Bei einer vorteilhaften Ausführungsvariante wird die Zustandsgröße mit einem Durchflusssensor ermittelt. Vielfach ist ein Durchflussmesser zur Ermittlung eines Kühlmittelverbrauchs ohnehin Bestandteil der Kühleinrichtung, so dass die Zustandsgröße besonders kostengünstig ermittelt werden kann.

30

35 Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante wird die Zustandsgröße mit einem Schallsensor ermittelt. Dabei kann der Schall beispielsweise unmittelbar an einer Kühlmittelzuleitung oder mittelbar an einer anderen Stelle der Kühlein-

richtung ermittelt und eine Einbringung einer Sensorik in den Kühlmittelfluss vermieden werden. Derart ist eine örtlich besonders flexible Ermittlung der Zustandsgröße erzielbar.

- 5 Vorteilhafterweise wird die Zustandsgröße mit einem Beschleunigungssensor ermittelt. Beschleunigungssensoren sind vielfach erprobt und in einer Vielzahl von an die jeweilige Anwendung angepassten Ausführungsformen erhältlich. Auf diese Weise kann die Zustandsgröße zuverlässig und kostengünstig
10 ermittelt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Ermittlungseinrichtung zu einer Ermittlung eines Frequenzspektrums der Zustandsgröße, bevorzugt unter Verwendung eines Zeitverlaufs
15 der Zustandsgröße, vorbereitet.

Außerdem ist es vorteilhaft, wenn die Ermittlungseinrichtung zum Vergleich des Frequenzspektrums der Zustandsgröße mit einem Referenzfrequenzspektrum vorbereitet ist.
20

Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn die Ermittlungseinrichtung zur Ermittlung defekter Schaltventile und/oder Kühldüsen unter Verwendung des Vergleichs vorbereitet ist.

- 25 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Steuereinrichtung zur Festlegung einer Phasenverschiebung eines der Steuersignale vorbereitet.

Zudem ist es vorteilhaft, wenn die Steuereinrichtung zur
30 Festlegung einer Trägerfrequenz eines der Steuersignale vorbereitet ist.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Steuereinrichtung zur Festlegung eines Pulsweitenverhältnissen eines der Steuersignale
35 vorbereitet ist.

Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unter-

ansprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammengefasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sowie der erfindungsgemäßen Anordnung gemäß den unabhängigen Ansprüchen kombinierbar.

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 im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebene Kombination von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und/oder mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden.

Es zeigen:

25

FIG 1 eine schematische Darstellung einer Kühleinrichtung, aufweisend Schaltventile und Kühldüsen, zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts,

30

FIG 2 eine schematische Darstellung von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen zur Ansteuerung der Schaltventile aus FIG 1,

35

FIG 3 ein Diagramm zur Verdeutlichung eines Zusammenhangs zwischen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte und Festlegung der Steuersignale aus FIG 2,

FIG 4 ein Diagramm in Analogie zu FIG 3 bei dreieckförmig-

gem Sprühprofil der Kühldüsen in Förderrichtung eines Strangsabschnitts,

5 FIG 5 ein Diagramm eines Frequenzspektrums des Kühlmittel-
teldrucks bei Schaltung eines Schaltventils der
Schaltventile aus FIG 1,

10 FIG 6 ein Diagramm eines Frequenzspektrums gemäß FIG 5
bei Schalten mehrerer Schaltventile,

FIG 7 ein Diagramm mit einem Vergleich zweier Frequenz-
verläufe bei Vorliegen eines Fehlerzustands an ei-
nem der Schaltventile und/oder Kühldüsen aus FIG 1,

15 FIG 8 ein Diagramm eines Druckverlauf über der Zeit bei
Ansteuerung der Schaltventile aus FIG 1 mit einem
Schalttestzyklus und

20 FIG 9 bis 11 schematische Darstellungen eines Optimierungs-
verfahrens zur Minimierung einer Volumenstrom-
schwankung des Kühlmittels in der Kühlmittel-
zuleitung von FIG 1.

25 FIG 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Kühleinrich-
tung 2 zur Kühlung eines metallischen Strangsabschnitts 4 in
einem Kühlbereich 6 einer Stranggießmaschine. Letztere ist
aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

30 Die Kühleinrichtung 2 weist Schaltventile 8, Kühldüsen 10,
eine ein Kühlmittel 12 führende Kühlmittelzuleitung 14, eine
Messeinrichtung 16, eine Ermittlungseinrichtung 18 und eine
Steuereinrichtung 20 auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel
ist jeweils eines der Schaltventile 8 einer der Kühldüsen 10
35 vorgeschaltet. Denkbar ist selbstverständlich auch, dass meh-
rere Kühldüsen, beispielsweise ein sogenannter Kühldüsenbal-
ken, durch ein einzelnes Schaltventil adressiert werden.

Der Kühlbereich 6 weist die Länge L auf und umfasst sechs hintereinander angeordnete Kühldüsen 10. Es ist aber auch möglich, dass ein Kühlbereich lediglich eine der Kühldüsen 10 umfasst und eine Länge L_1 aufweist.

5

Die Messeinrichtung 16 weist einen an der Kühlmittelzuleitung 14 bzw. einer Messstelle 22 angeordneten Sensor 24 auf, der zur Ermittlung eines Verlaufs einer den Zustand des Kühlmittels 12 beschreibenden Zustandsgröße vorbereitet ist. Im vor-
10 liegenden Ausführungsbeispiel ist diese Zustandsgröße der Druck 26 des Kühlmittels 12 an der Messstelle 22.

Die Ermittlungseinrichtung 18 ist zum Vergleich eines Verlaufs des Drucks 26 - eines Zeit und/oder eines Frequenzverlaufs oder dergleichen - mit einem Referenzverlauf und zur
15 Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung 2 in Abhängigkeit des Vergleichs vorbereitet.

Die Steuereinrichtung 20 ist zur Festlegung von binären
20 pulsweitenmodulierten Steuersignalen (siehe FIG 2: 38, 40, 42, 44) und zur Ansteuerung der Schaltventile 8 mit den Steuersignalen über Signalleitungen 28 vorbereitet.

Während eines Stranggießprozesses wird der Strangabschnitt 4
25 zwischen Strangführungsrollen 30 geführt und zur Kühlung in einer Förderrichtung 32 - auch Gießrichtung - mit einer Geschwindigkeit v durch den sich in einer Länge L - denkbar ist auch die Länge L_1 - erstreckenden Kühlbereich 6 gefördert, d.h. an den Kühldüsen 10 vorbeibewegt.

30

Hierbei werden die Schaltventile 8 durch die Steuereinrichtung 20 jeweils mit einem binären pulsweitenmodulierten Steuersignal (siehe FIG 2) angesteuert, wodurch Kühlmittelflüsse durch die Kühldüsen 10 abwechselnd freigegeben oder unterbro-
35 chen werden, wodurch das Kühlmittel 12 zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt 4 in dem Kühlbereich 6 eingebracht wird. Die Kühldüsen 10 weisen jeweils ein in Förderrichtung 32 dreieckförmiges Sprühprofil 34 auf.

Die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale werden durch die Steuereinheit 20 derart festgelegt, dass der durch den Kühlbereich 6 geförderte Strangabschnitt 4 am Ende 36 des Kühlbereichs 6 mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt 4 gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.

Aus der Darstellung ist insbesondere auch ersichtlich, dass nach dem Stand der Technik eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung des Strangabschnitts 4 infolge der intermittierenden Kühlmittelaufbringung nicht ohne Weiteres möglich ist. Bei einer unvorteilhaften Festlegung der Steuersignale kann es vorkommen, dass - je nach Geschwindigkeit v , Länge L bzw. L_1 , einem Ausfall eines der Schaltventile 8 und/oder einer der Kühldüsen 10 oder dergleichen - Teile des Strangabschnitts 4 während einer zeitlichen Unterbrechung der Kühlmittelausbringung unter einer Kühldüse 10 hindurchgefördert werden, ohne dass sie mit Kühlmittel 12 beaufschlagt werden. Infolgedessen kann nach dem Stand der Technik eine ungewollte über den Strangabschnitt 4 ungleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte am Ende 36 des Kühlbereichs 6 verursacht werden.

Das Verfahren ist in seinem Einsatz nicht beschränkt auf die in diesem Ausführungsbeispiel gezeigte Kühlanordnung, die insbesondere zur Kühlung eines Strangabschnitts in Form eines Langprodukts insbesondere, in Form eines sogenannten Beam Blanks, Blooms, Billets, Rounds - auch: Träger, Vorblock bzw. Knüppel - oder dergleichen geeignet ist. Andere Kühlanordnungen, beispielsweise zum Kühlen von Slabs - auch: Brammen - können ebenso nach dem Kühlverfahren betrieben werden.

FIG 2 zeigt eine schematische Darstellung von exemplarischen Verläufen von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen 38, 40, 42 und 44 über der Zeit t zur Ansteuerung der Schaltventile 8 aus FIG 1. Die Darstellung illustriert die zur Festlegung der Steuersignale anpass- bzw. modulierbaren Ei-

genschaften, nämlich Periodendauer, Pulsweitenverhältnis und Zeitversatz.

5 Aus FIG 2 ist ersichtlich, dass die Steuersignale 38 bis 44 in ihrem auf der Ordinate aufgetragenen Signalzustand u über der Zeit t jeweils zwischen 1 bzw. HI und einem 0 bzw. LOW wechseln, also im signaltechnischen Sinn binär sind.

10 Das Steuersignal 38 ist mit einer Periodendauer t_p und einem Pulsweitenverhältnis $\kappa = t_1/t_p$ festgelegt, wobei t_1 eine Pulsdauer ist. Der Kehrwert der Periodendauer $1/t_p$ ist die Trägerfrequenz F des Steuersignals 38.

15 Dabei gilt, je höher die Trägerfrequenz F , desto kürzer ist ein Schaltzyklus zwischen einem geöffneten und einem geschlossenen Zustand eines der derart angesteuerten Schaltventile 8 und desto kürzer sind die zeitlichen Unterbrechungen der Kühlmittelausbringung auf den Strangabschnitt 4 durch die diesem Schaltventil nachgeschaltete der Kühldüsen 10 und/oder
20 nachgeschalteten Kühldüsen 10.

Das Steuersignal 40 ist im Vergleich zum Steuersignal 38 mit einer verdoppelten Periodendauer $2 \cdot t_p$ festgelegt, weist also eine Trägerfrequenz $F/2$ auf. Dabei ist die absolute Pulsweite
25 der Steuersignale 38 und 40 zwar gleich, das Pulsweitenverhältnis des Steuersignals 40 beträgt allerdings $\kappa/2$. Infolgedessen wird bei einer Ansteuerung eines Schaltventils mit dem Steuersignal 40 im Vergleich zur Ansteuerung mit dem Steuersignal 38 innerhalb eines Schaltzyklus ledig-
30 lich die Hälfte einer Kühlmittelmenge aufgebracht.

Das Steuersignal 42 weist im Vergleich zum Steuersignal 40 die gleiche Periodendauer $2 \cdot t_p$ auf. Dabei ist die absolute Pulsweite $t_1/2$, so dass das Pulsweitenverhältnis von Steuer-
35 signal 42 $\kappa/4 = (t_1/2)/(2 \cdot t_p)$ beträgt.

Das Steuersignal 44 ist im Vergleich zu den Steuersignalen 38, 40 und 42 mit einer Zeitverzögerung t_z festgelegt und weist damit eine Phasenverschiebung ϕ auf.

- 5 FIG 3 zeigt ein Diagramm zur Verdeutlichung eines Zusammenhanges zwischen der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte und der Festlegung der Steuersignale anhand der mittels FIG 2 illustrierten Signaleigenschaften. Insbesondere zeigt FIG 3 einen Zustand (Ordinate, u) eines Steuersignals 46 über der Zeit
 10 (Abszisse, t). Das Steuersignal 46 ist mit einer Pulsdauer t_1 und einer Periodendauer $t_p = 2 \cdot t_1$ festgelegt, weist also ein Pulsweitenverhältnis von $\kappa = 50\%$ auf.

- Der Kurvenlauf des Steuersignals 46 korrespondiert dabei mit
 15 einem mittleren Kühlmittelfluss q - d.h. einer mittleren Kühlmittelmenge pro Zeiteinheit - der durch eine mittelbar mit dem Steuersignal 46 betätigte Kühldüse in einen Kühlbereich ausgebracht wird. Ferner entspricht die bis zu einer Zeit t durch den Kurvenverlauf 46 eingeschlossene Fläche einer
 20 ner bis zu dieser Zeit ausgegebenen Kühlmittelmenge.

- Ein Teilabschnitt eines Strangabschnitts tritt zum Zeitpunkt t_{10} in den Kühlbereich ein und zum Zeitpunkt t_{20} aus diesem aus und wird zwischenzeitlich mit einer Kühlmittelmenge Q beaufschlagt. Dabei entspricht die auf den Teilabschnitt aufgebraachte Kühlmittelmenge Q der durch einen strichliert dargestellten Bereich 48 eingeschlossenen schraffierten Fläche unter dem Kurvenverlauf 46.

- 30 Tritt ein weiterer Teilabschnitt des Strangabschnitts - verdeutlicht durch einen Bereich 50 - zum Zeitpunkt t_{30} in den Kühlbereich ein und zum Zeitpunkt t_{40} aus diesem aus, wird er mit der gleichen Kühlmittelmenge Q beaufschlagt.

- 35 Beide Teilabschnitt des Strangabschnitts durchlaufen den Kühlbereich in einer gleichen Durchlaufzeit t_n - besitzen also bei anzunehmender gleicher Geschwindigkeit v die gleiche Länge bzw. Fläche - und werden mit derselben Kühlmittelmenge

Q beaufschlagt. Demnach weist der durch den Kühlbereich geförderte, durch die beiden Bereiche 48 und 50 gebildete Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte auf.

5

Die jeweilige Durchlaufzeit t_n der Bereiche 48 und 50 durch den mit dem mittleren Kühlmittelfluss q beaufschlagten Kühlbereich beträgt die zweifache Periodendauer t_p .

10 Dabei wird die Durchlaufzeit t_n durch die Länge des Kühlbereichs L_1 und die Stranggeschwindigkeit v bestimmt.

Verschiebt man gedanklich einen der strichliert eingezeichneten Bereiche 48, 50 längs der Zeitachse t , was einer Förderung des Strangabschnitts durch den Kühlbereich gleichkommt,
15 wird stets die gleiche schraffierte Fläche eingeschlossen und folglich eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht.

20 Dies wird erreicht, da die Periodendauer t_p des Steuersignals 46 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v des Strangabschnitts 4 und/oder der Länge des Kühlbereichs L_1 und/oder des Sprühprofils 34 der Kühldüsen 10 festgelegt wird.

25

FIG 4 zeigt in Analogie zu FIG 3 die Zusammenhänge bei einem dreieckförmigen Sprühprofil der Kühldüsen in Förderrichtung eines Strangabschnitts. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Unterschiede zum Ausführungsbeispiel in der FIG 3, auf das bezüglich gleich bleibender Merkmale und Funktionen verwiesen wird. Im Wesentlichen gleich bleibende Bauteile sind grundsätzlich mit den gleichen Bezugszeichen beziffert und nicht erwähnte Merkmale sind in den folgenden Ausführungsbeispielen übernommen, ohne
30 dass sie erneut beschrieben sind.

35

Insbesondere zeigt FIG 4 einen Steuersignalverlauf 52 und zwei Bereiche 54 und 56 eines Strangabschnitts. Die Bereiche

54, 56 des Strangabschnitts treten zu den Zeitpunkten t_{50} bzw. t_{60} in den Kühlbereich ein und zu den Zeitpunkten t_{70} bzw. t_{80} aus dem Kühlbereich aus und werden mit derselben Kühlmittelmenge Q beaufschlagt. Demnach weist der durch den Kühlbereich geförderte, durch die beiden Bereiche 54, 56 gebildete Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte auf. Maßgeblich hierfür ist, dass die Periodendauer t_p ein geradzahliges Vielfaches der Durchlaufzeit t_n beträgt.

10

FIG 5 zeigt ein Diagramm eines Frequenzspektrums des Drucks (Ordinate: p (bar), Abszisse: f (Hz)) des Kühlmittels 12 in der Zuleitung 14 der Kühleinrichtung 2 aus FIG 1 bei Betätigung eines der Schaltventile 10. Der Druck p (bzw. 26, vgl. FIG 1) kann mit dem Sensor 24 der Messeinrichtung 16 ermittelt werden. Das Frequenzspektrum wird durch die Ermittlungseinrichtung 18 (siehe FIG 1) aus einem Zeitverlauf des Drucks ermittelt, hier mittels einer sogenannten FFT-Analyse (Fast-Fourier-Transformation). Es ist auch möglich eine sogenannte Teil-FFT-Analyse durchzuführen, d.h. eine Fast-Fourier-Transformation für einen bestimmten Frequenzbereich.

15

20

25

Das Frequenzspektrum weist eine Resonanzüberhöhung 58 bei einer Frequenz f von etwa 75 Hz auf. Die Resonanzüberhöhung 58 kommt durch einen Druckstoß in der Kühlmittelzuleitung 14 zustande, der durch das Schalten eines der Schaltventile 10 verursacht wird.

30

FIG 6 zeigt ein Diagramm eines Frequenzspektrums des Kühlmitteldruckes (Ordinate: p (bar), linke Abszisse: f (Hz)) bei Betätigung mehrerer der Schaltventile 10 (rechte Abszisse: Ventilnummer n (-)). Der Kühlmitteldruck p wird wiederum an der Messstelle 22 ermittelt.

35

Das Frequenzspektrum weist eine Resonanzüberhöhung 60 bei einer Frequenz f von etwa 75 Hz auf. Dabei steigt die Amplitude der Resonanzüberhöhung 60 über der Ventilnummer n an.

Dieser Anstieg kann durch einen im vorliegenden Ausführungs-
beispiel vorhandenen größeren Abstand mit aufsteigender Ven-
tilnummer n zur Messstelle erklärt werden, wodurch eine hyd-
raulische Induktivität steigt und höhere Druckspitzen im
5 Kühlmittel 12 induziert werden.

Zur Ermittlung eines Fehlerzustands an der Kühleinrichtung 2,
insbesondere an den Schaltventilen 8 und/oder den Kühldüsen
10, wird das Frequenzspektrum – insbesondere der Verlauf der
10 Resonanzüberhöhung 60 – durch die Ermittlungseinrichtung 18
mit einem Referenzverlauf verglichen.

Aus der mittels des Vergleichs festgestellten Abweichung zw-
ischen dem Referenzverlauf und dem Verlauf der Resonanzüberhö-
15 hung kann beispielsweise auf einen Verstopfungsgrad einer der
oder mehrerer der Schaltventile 8 und/oder Kühldüsen 10 ge-
schlossen werden.

Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der kontinuierlichen und
20 damit online – also während eines regulären Stranggießprozes-
ses – möglichen Fehlerdetektion.

FIG 7 zeigt ein Diagramm mit einem Vergleich zweier Frequenz-
verläufe 62 und 64 des Kühlmitteldrucks p (Ordinate: p (bar),
25 Abszisse: f (Hz)) bei Vorliegen eines Fehlerzustands an einem
der Schaltventile 8 und/oder Kühldüsen 10 aus FIG 1. Dabei
beziehen sich die Verläufe 62 und 64 auf die Ansteuerung ei-
nes einzelnen der Schaltventile 10.

30 Der Frequenzverlauf 62 gibt einen fehlerfreien Zustand wie-
der, stellt also einen Referenzfrequenzverlauf dar. Der Fre-
quenzverlauf 64 stellt sich beispielsweise bei einem ver-
stopften, nicht schaltbaren oder auf sonstige Weise nicht
schaltbaren Schaltventil und/oder einer beeinträchtigten
35 Kühldüse ein. Durch den Vergleich zwischen den beiden Fre-
quenzverläufen 62 und 64 kann eindeutig ein Fehlerzustand er-
mittelt werden.

FIG 8 zeigt ein Diagramm mit einem Druckverlauf 66 über der Zeit (Abszisse: t (s)) bei Ansteuerung der Schaltventile 8 aus FIG 1 mit einem Schalttestzyklus 68, der durch den zeitlichen Verlauf der Steuersignale festgelegt ist. Die Ermittlung eines Fehlerzustands kann dabei wiederum durch einen Vergleich mit einem Referenzverlauf oder alternativ durch einen Abgleich der Druckspitzen 70 untereinander erfolgen.

Es ist möglich, den Druckverlauf 66, bzw. ein den Druckverlauf 66 beschreibendes Signal, mit einem geeigneten Faltungssignal zu falten. Das Faltungssignal kann dabei so gewählt werden, dass eine Verstärkung und/oder eine Rauschunterdrückung möglichst vorteilhaft sind. Beispielsweise kann eine Funktion $\sin^2(t)$ als Faltungssignal bzw. -funktion gewählt werden. Ferner ist es möglich, das Schaltventilverhalten und die daraus resultierenden zeitlichen Ableitungen zu betrachten.

Es ist vorteilhaft, wenn der Schalttestzyklus mit über der Schalttestzyklusdauer gleichmäßig verteilten Schaltungen festgelegt wird.

Die FIGen 9 bis 11 zeigen eine schematische Darstellung eines Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels 12 in der Kühlmittelzuleitung 14 von FIG 1. Durch die Minimierung der Volumenstromschwankung kann einer ungewollte Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte entgegenwirkt werden.

Werden die Steuersignale zur Ansteuerung der Schaltventile mit gleichen Pulsweitenverhältnissen festgelegt, so kann ein einfacher Ansatz verwendet werden:

Beispielsweise kann durch eine variable Verzögerungszeiten t_z (siehe FIG 2) zwischen den Pulsfolgen der Steuersignale, die Rückwirkungen auf das übergeordnete Versorgungssystem - also die Volumenstromschwankung - minimiert werden: Für diesen einfachen Ansatz zur Festlegung der Steuersignale wird bei-

spielhaft eine Gruppe von 6 Schaltventilen (vgl. FIG 1, 8) mit 6 nachgeschalteten Kühldüsen 10 betrachtet, welche mit einer Trägerfrequenz F von 1 Hz und gleichem Pulsweitenverhältnis von κ 50 % angesteuert werden. Bei
5 gleichzeitigem Schalten der Schaltventile werden unerwünscht starke Druckstöße in der gemeinsamen Kühlmittelzuleitung 14 induziert, die zu Volumenstromschwankungen und damit zu einer ungewollten Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte führen können.

10

Werden die Schaltventile zeitversetzt angesteuert, mit z.B. jeweils 0,1 s Verzögerung, so lässt sich die unerwünschte Systemrückwirkung reduzieren.

15

Werden die Steuersignale zur Ansteuerung der Schaltventile allerdings mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen κ festgelegt, so kann dieser einfache Ansatz nicht mehr verwendet werden und es ist vorteilhaft, das in den FIGen 9 bis 11 illustrierte Optimierungsverfahren zur Festlegung der Steuer-
20 signale zu verwenden.

Dazu wird ein Frequenzspektrum des Durchflusses bzw. des Volumenstroms des Kühlmittels 12 durch die Kühlmittelzuleitung 14 ermittelt. Die Ermittlung dieses Frequenzspektrums kann
25 beispielsweise aus dem mit dem Sensor 24 der Messeinrichtung 16 ermittelten Druck p - zur mittelbaren Ermittlung des Volumenstroms - des Kühlmittels 12 oder durch eine unmittelbare Ermittlung des Volumenstroms und einer darauffolgenden FFT mittels der Ermittlungseinrichtung 18 erfolgen.

30

Es ist möglich, dass Frequenzspektrum mittels einer Simulationsmethode, beispielsweise im Rahmen einer sogenannten Vorabsimulation, zu ermitteln. Es vorteilhaft, hierfür gängige Simulationswerkzeuge zu nutzen.

35

Das Frequenzspektrum des Durchflusses A wird in einen konstanten und einen trigonometrischen Term aufgespalten, wobei

der trigonometrische Term sowohl vom Pulsweitenverhältnis k als auch den Schaltverzögerungszeiten t_z abhängig ist.

FIG 9 zeigt das Ergebnis dieser Zerlegung bei einer Schaltung von zwei Schaltventilen in Zeigerschreibweise in der komplexen Zahlenebene 72 (Abszisse: Realteil Re , Ordinate: Imaginärteil, Im). Dabei hängen die Beträge der Durchflüsse A_1 und A_2 vom jeweiligen Pulsweitenverhältnis k des das jeweilige Schaltventil ansteuernden Steuersignals ab. Die Phasenverschiebungen ϕ_1 bzw. ϕ_2 sind von der jeweiligen Verzögerungszeit t_z abhängig.

Der resultierende Zeiger 74 mit dem betragsmäßigen Gesamtdurchfluss A_v muss hierbei minimiert werden.

FIG 10 zeigt das Ergebnis der Optimierung für den exemplarischen Fall, dass zehn Schaltventile durch zehn Steuersignale mit gleichen Pulsweitenverhältnissen k angesteuert werden. Als Ergebnis liefert die Optimierung zehn in der komplexen Zahlenebene um die gleiche optimierte Phasenverschiebung 76 ($\Delta\phi$) gedrehte Durchflüsse A_1 bis A_{10} . Die Optimierung kann mit einem genetischen Algorithmus, einem gradientenbasierten Optimierungsverfahren oder dergleichen erfolgen. Optimiert wird eine Kostenfunktion, die durch die Summe der Betragsquadrate der komplexen Zeiger A_v , aufsummiert über alle betrachteten Fourierterme, beschrieben werden kann.

FIG 11 zeigt eine alternative grafische Darstellung des Optimierungsergebnisses.

Bezugszeichenliste

	2	Kühleinrichtung
	4	Strangabschnitt
5	6	Kühlbereich
	8	Schaltventile
	10	Kühldüsen
	12	Kühlmittel
	14	Kühlmittelzuleitung
10	16	Messeinrichtung
	18	Ermittlungseinrichtung
	20	Steuereinrichtung
	22	Messstelle
	24	Sensor
15	26	Druck
	28	Signalleitungen
	30	Strangführungsrollen
	32	Förderrichtung
	34	Sprühprofil
20	36	Ende Kühlbereich
	38, 40, 42, 44	Steuersignal
	46	Steuersignal
	48, 50	Bereich
	52	Steuersignal
25	54, 56	Bereich
	58, 60	Resonanzüberhöhung
	62	Referenzfrequenzverlauf
	64	Frequenzverlauf
	66	Druckzeitverlauf
30	68	Schalttestzyklus
	70	Druckspitzen
	72	komplexe Zahlenebene
	74	resultierender Zeiger
	76	optimierte Phasenverschiebung

	t	Zeit
	$t_{10}, t_{20}, t_{30}, t_{40}$	Zeitpunkt
	$t_{50}, t_{60}, t_{70}, t_{80}$	Zeitpunkt
5	t_n	Durchlaufzeit
	t_p	Periodendauer
	t_1	Pulsdauer
	t_z	Zeitverzögerung
	u	Signalzustand
10	κ	Pulsweitenverhältnis
	ϕ, ϕ_1, ϕ_2	Phasenverschiebung
	$\Delta\phi$	optimierte Phasenverschiebung
	A_1 bis A_{10}	Kühlmitteldurchfluss
	A_v	resultierender Kühlmitteldurchfluss
15	F	Trägerfrequenz
	L, L_1	Länge Kühlbereich
	T	Trägerfrequenz
	q	Kühlmittelfluss
	Q	Kühlmittelmenge
20		

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) eines metallischen Strangs in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8) und Kühldüsen (10), bei dem

- der Strangabschnitt (4) zur Kühlung durch den Kühlbereich (6) gefördert wird und
- die Schaltventile (8) durch binäre pulsweitenmodulierte Steuersignale (38-46, 52) angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse (q) durch die Kühldüsen (10) abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel (12) zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt (4) in dem Kühlbereich (6) aufgebracht wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale (38-46, 52) derart festgelegt werden, dass der durch den Kühlbereich (6) geförderte Strangabschnitt (4) am Ende (36) des Kühlbereichs (6) mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt (4) gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eines der Steuersignale (38-46, 52) mit einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) zu einem weiteren der Steuersignale (38-46, 52) festgelegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass eine Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) unter Verwendung eines numerischen Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels (12) festgelegt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei der Steuersignale (38-46, 52) mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen (T) fest-

gelegt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Trägerfrequenz (T) eines der Steuersignale (38-46, 52) in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangabschnitts (v) und/oder einer Länge des Kühlbereichs (L, L₁) und/oder eines Sprühprofils (34) der Kühldüsen (10) festgelegt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei der Steuersignale (38-46, 52) mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen (κ) festgelegt werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Pulsweitenverhältnis (κ) eines der Steuersignale (38-46, 52) in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2) festgelegt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Fehlerzustand der Kühleinrichtung (2) mit einem Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 10 bis 13 ermittelt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eingesetzt zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) in einem Kühlbereich (6), in dem zumindest zwei der Kühldüsen (10) in einer Förderrichtung (32) des Strangabschnitts (4) hintereinander angeordnet sind.
10. Verfahren zur Ermittlung eines Fehlerzustands einer Kühleinrichtung (2), aufweisend durch Steuersignale (38-46, 52) angesteuerte Schaltventile (8) zum Freigeben und Unterbrechen von Kühlmittelflüssen (q) und das Kühlmittel (12) intermitierend ausbringende Kühldüsen (10), einer Stranggießmaschine, bei dem
- eine den physikalischen Zustand des Kühlmittels (12) beschreibende Zustandsgröße (p, 26) ermittelt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Zustandsgröße (p, 26) im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile (8) und/oder mehreren der Kühldüsen (10) gemeinsamen Kühlmittelzuleitung (14) ermittelt wird,
- ein Verlauf (58, 60, 64, 66) der Zustandsgröße mit einem Referenzverlauf (62) verglichen wird und
- in Abhängigkeit des Vergleichs ein Fehlerzustand zumindest eines der Schaltventile (8) und/oder einer der Kühldüsen (10) der Kühleinrichtung (2) ermittelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10,

- dadurch gekennzeichnet, dass unter Verwendung eines Verlaufs der Zustandsgröße (p, 26) ein Frequenzspektrum (58, 60, 64) der Zustandsgröße ermittelt und mit einem Referenzfrequenzspektrum (62) verglichen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11,

- dadurch gekennzeichnet, dass während der Ermittlung der Zustandsgröße (p, 26) zumindest eines der Schaltventile (8) durch ein Steuersignal (38-46, 52) mit einer temporär erhöhten Schalttestfrequenz angesteuert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 10 bis 12,

- dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsgröße mit einem Drucksensor (24) und/oder einem Durchflusssensor und/oder einem Schallsensor und/oder einem Beschleunigungssensor ermittelt wird.

14. Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8), Kühldüsen (10) und ein Kühlmittel (12), zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts (4) in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine, gekennzeichnet durch

- eine Messeinrichtung (16), aufweisend einen Sensor (24), der zur Ermittlung einer den Zustand des Kühlmittels (12) beschreibenden Zustandsgröße (p, 26) im Bereich einer zumindest mehreren Schaltventilen (8) und/oder Kühl-

düsen (10) gemeinsamen Kühlmittelzuleitung (14) vorbereitet ist,

- eine Ermittlungseinrichtung (18), vorbereitet zum Vergleich eines Verlaufs (58, 60, 64, 66) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzverlauf (62) und zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2) in Abhängigkeit des Vergleichs und
- eine Steuereinrichtung (20), vorbereitet zur Festlegung von binären pulswertenmodulierten Steuersignalen (38-46, 52) und zur Ansteuerung der Schaltventile (8) mit den Steuersignalen (38-46, 52).

15. Kühleinrichtung (2) nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass

- die Ermittlungseinrichtung (18) zu einer Ermittlung eines Frequenzspektrums (58, 60, 64) der Zustandsgröße (p, 26), zum Vergleich des Frequenzspektrums (58, 60, 64) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzfrequenzspektrum (62) und zur Ermittlung defekter Schaltventile (8) und/oder Kühldüsen (10) unter Verwendung des Vergleichs vorbereitet ist,
- die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) und/oder einer Trägerfrequenz (F) und/oder eines Pulsweitenverhältnissen (κ) eines der Steuersignale (38-46, 52) vorbereitet ist.

FIG 1

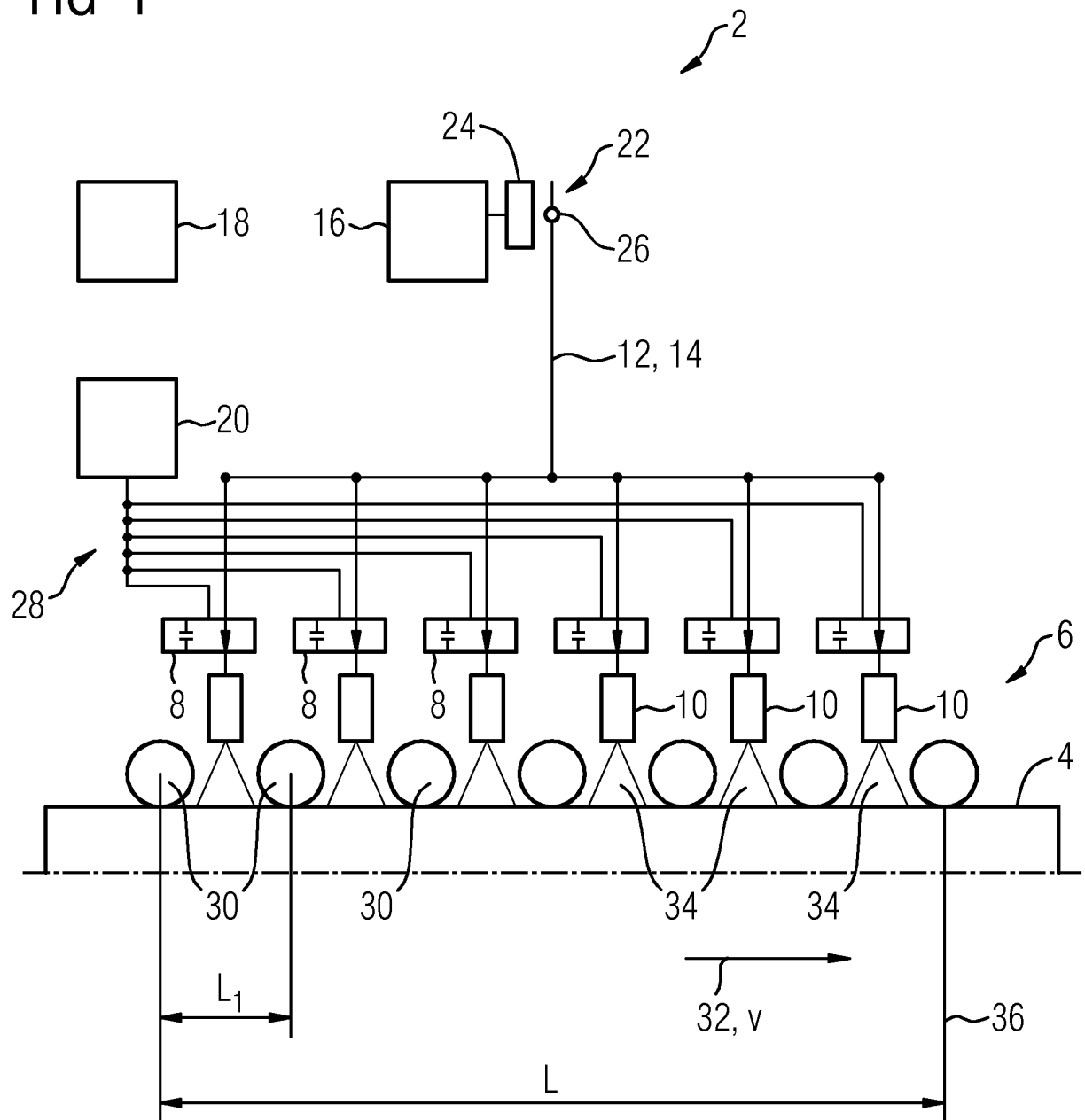


FIG 2

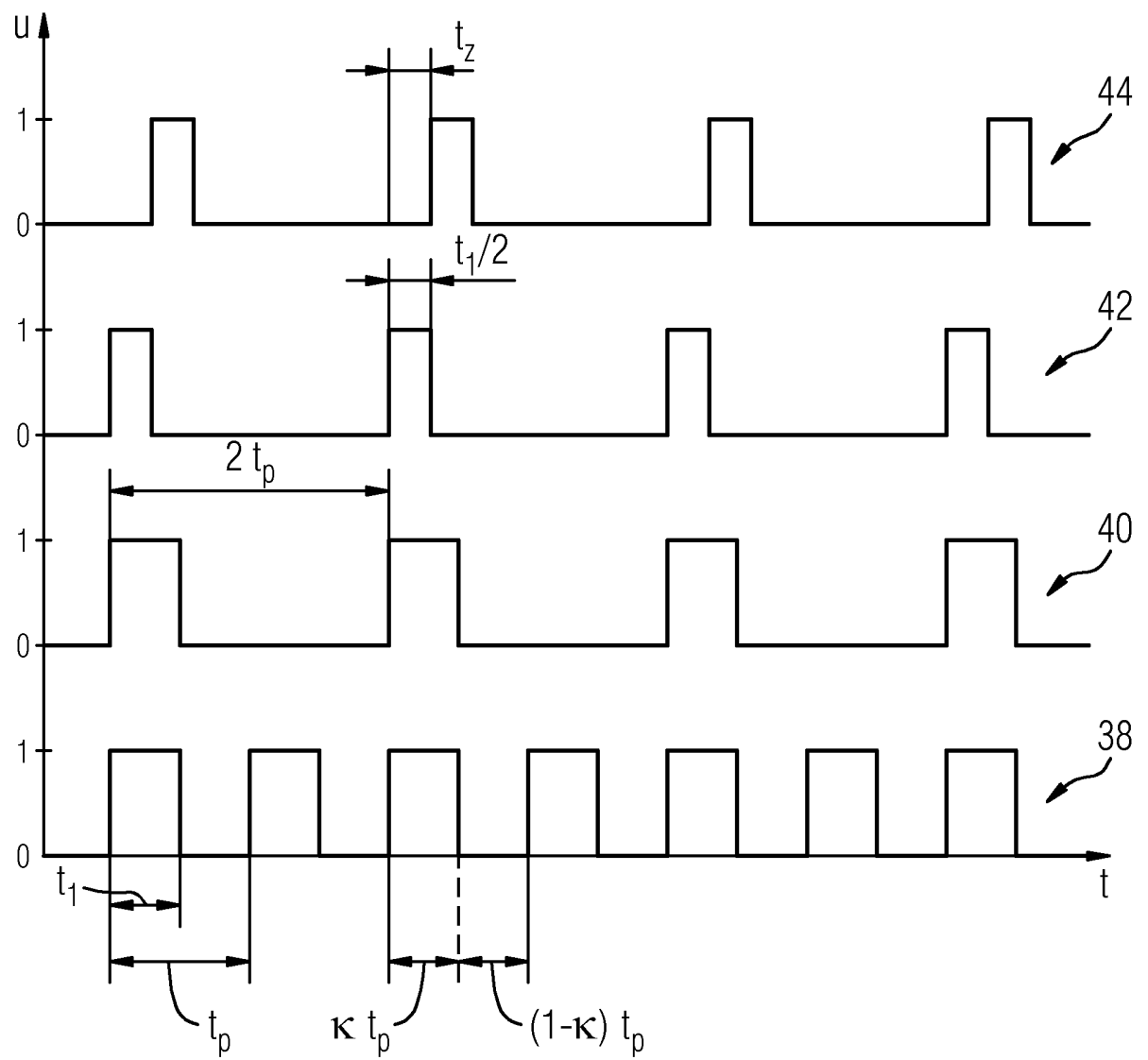


FIG 3

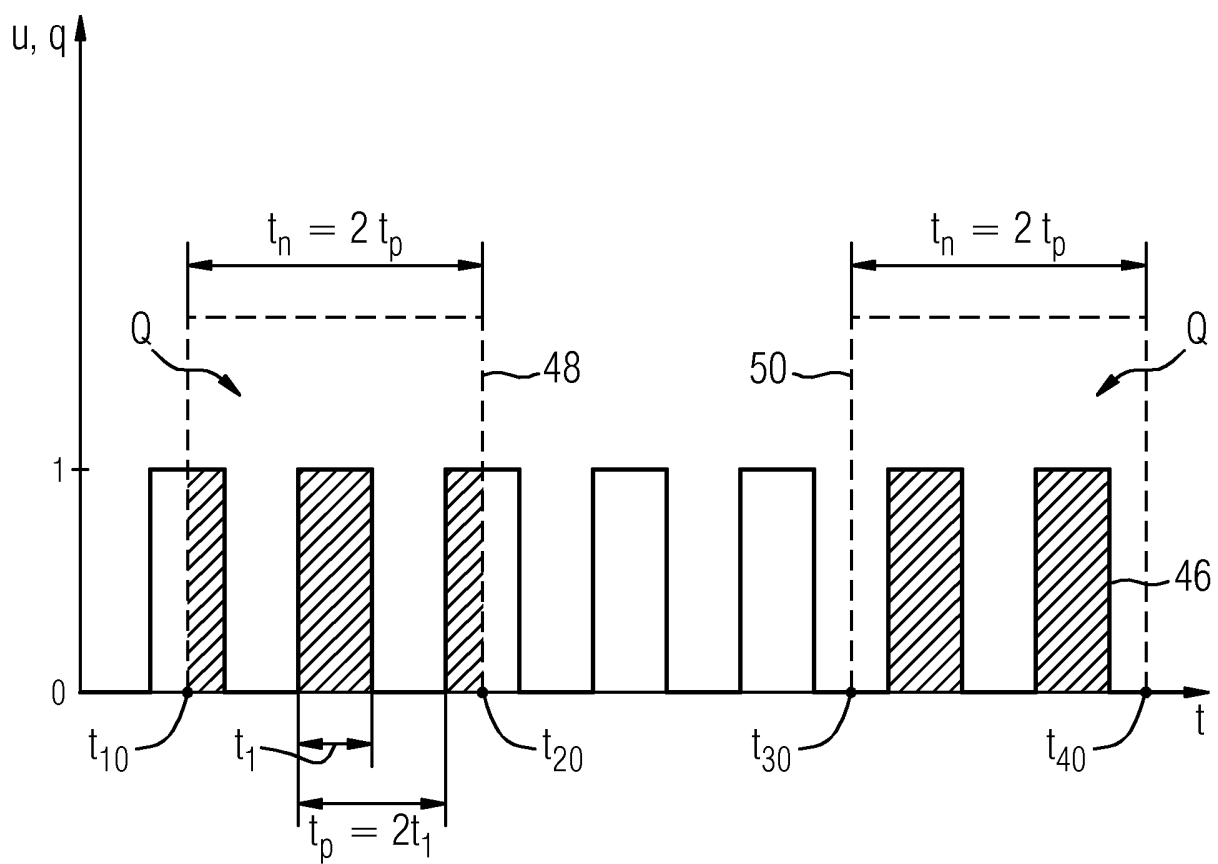


FIG 4

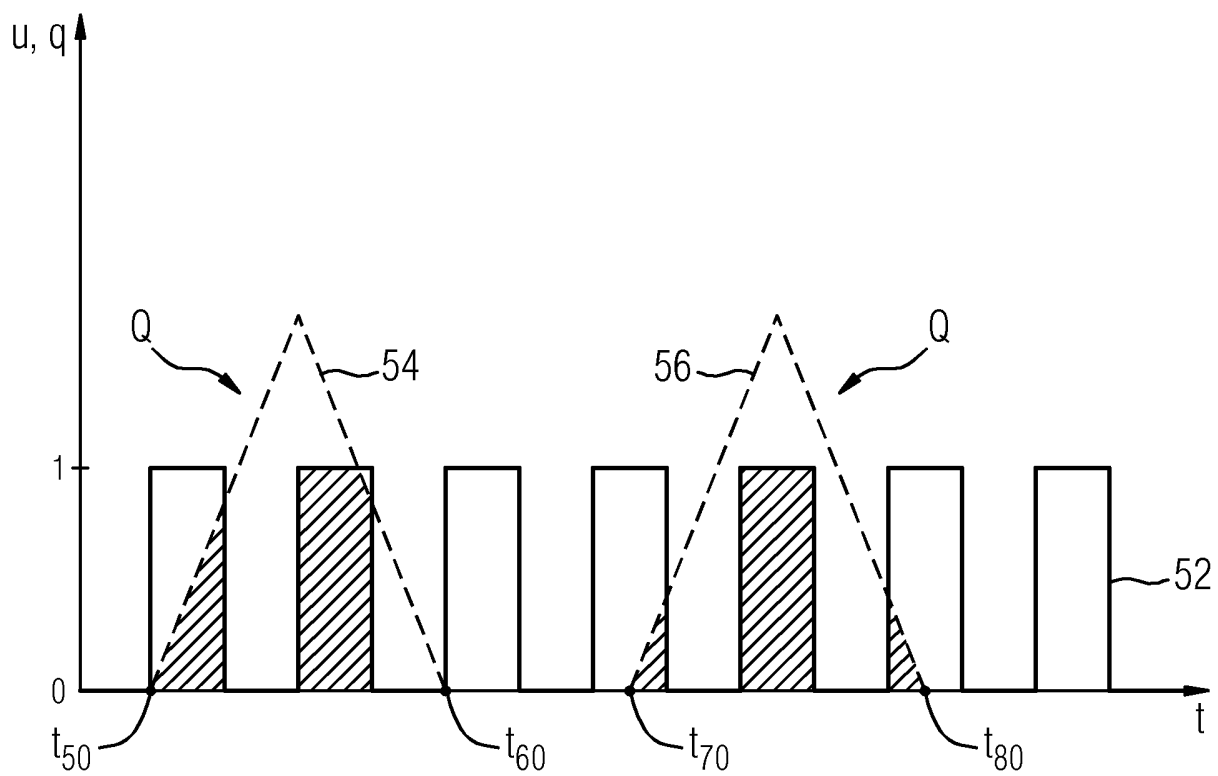


FIG 5

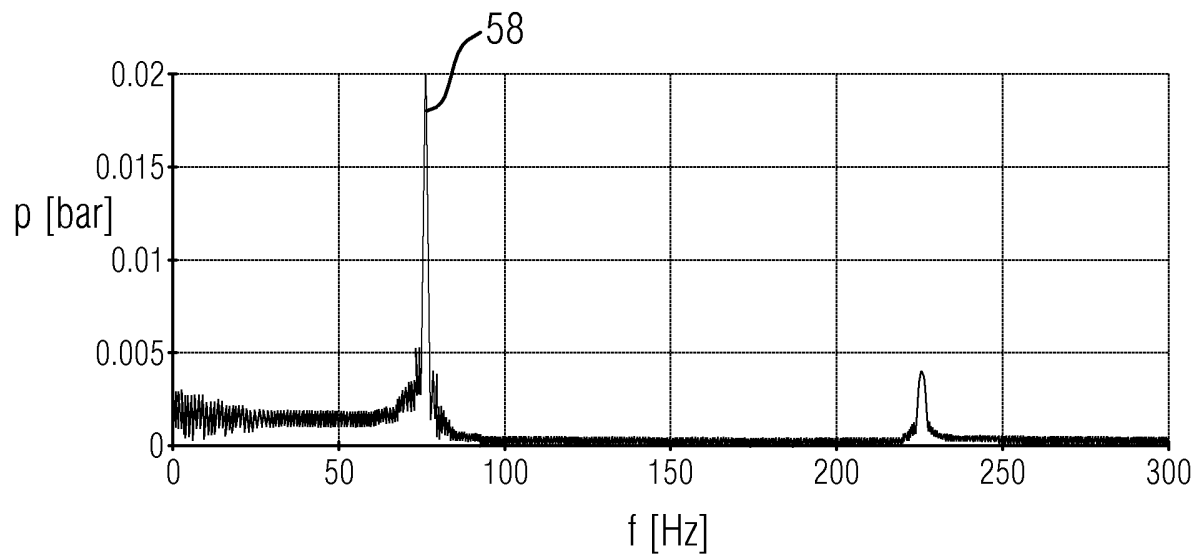


FIG 6

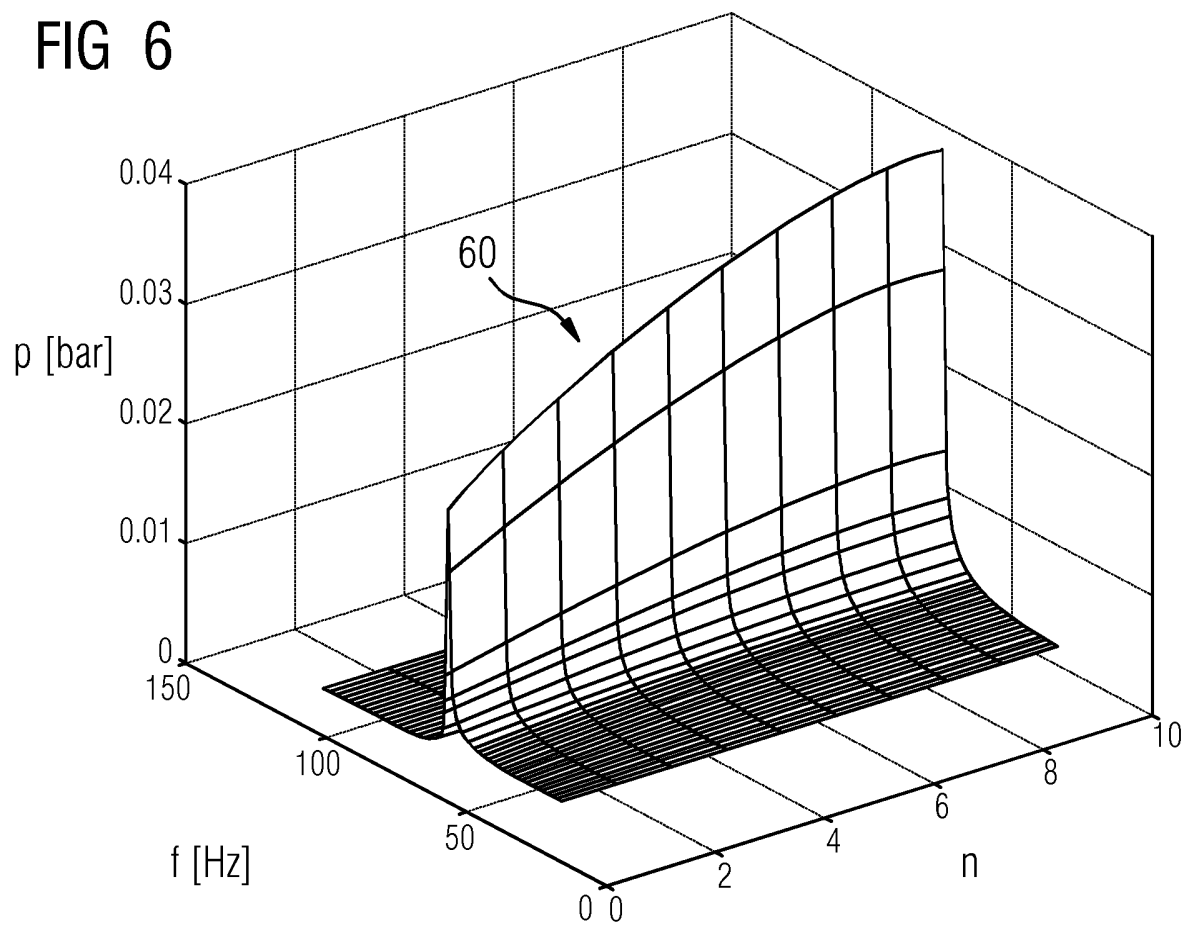


FIG 7

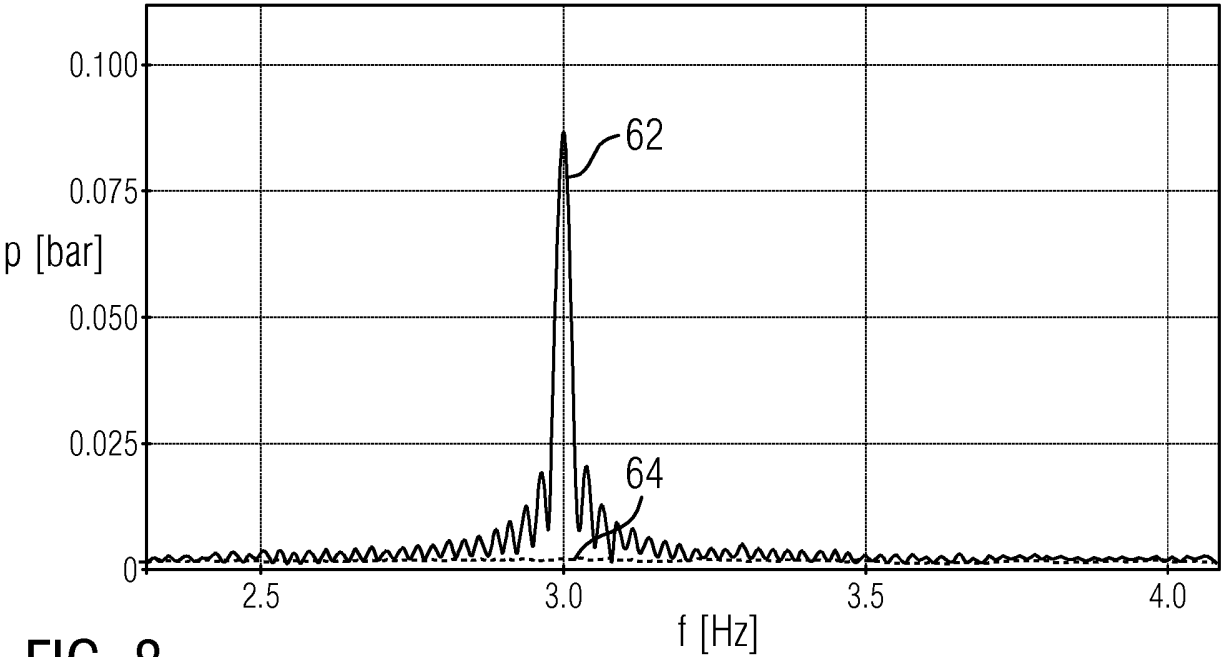


FIG 8

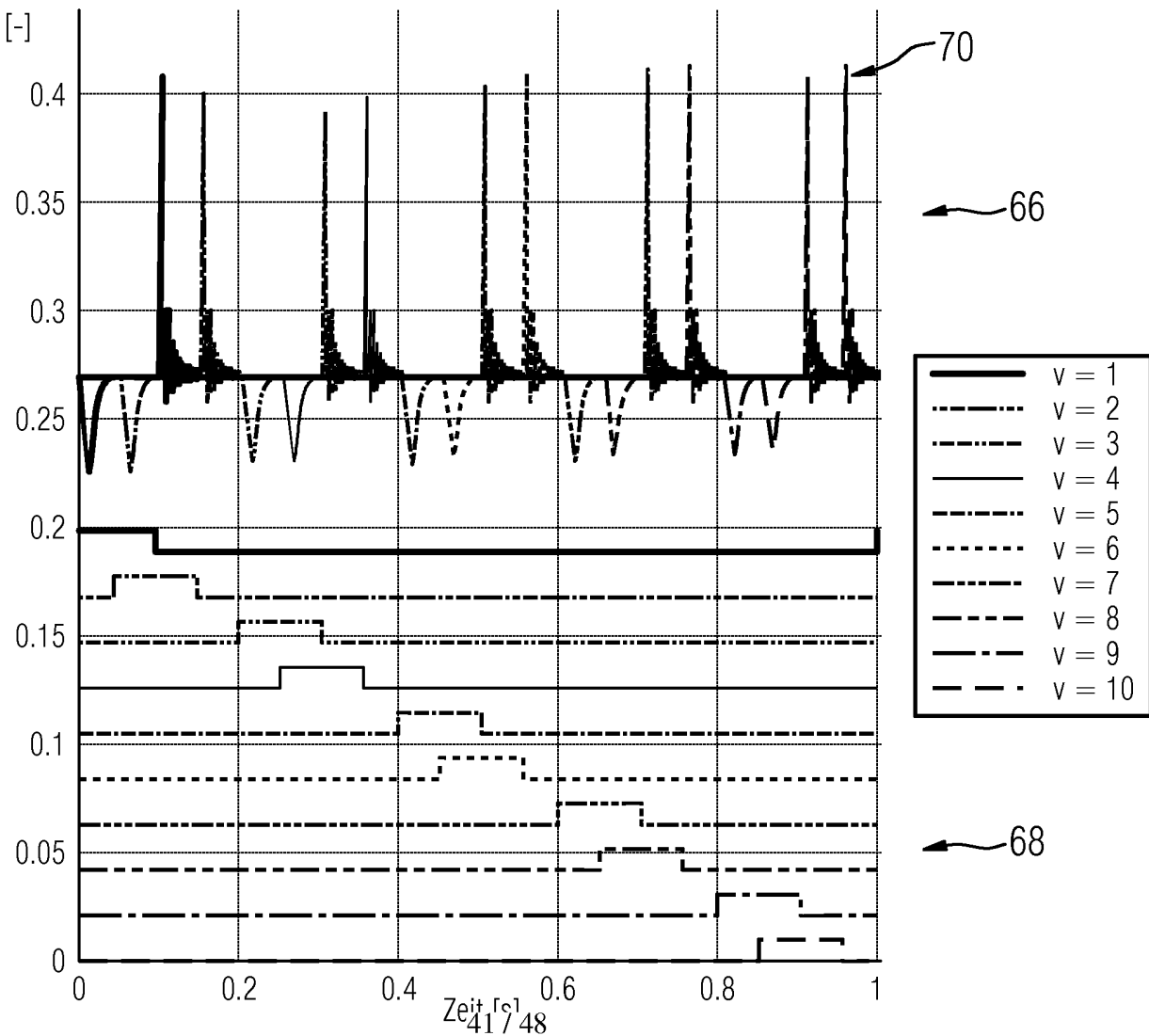


FIG 9

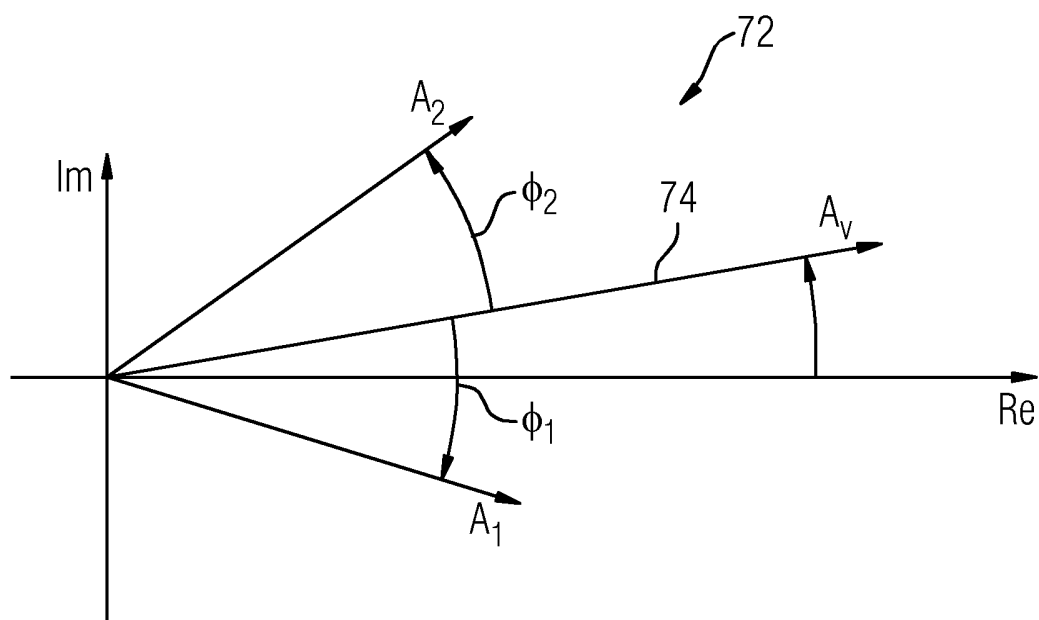


FIG 10

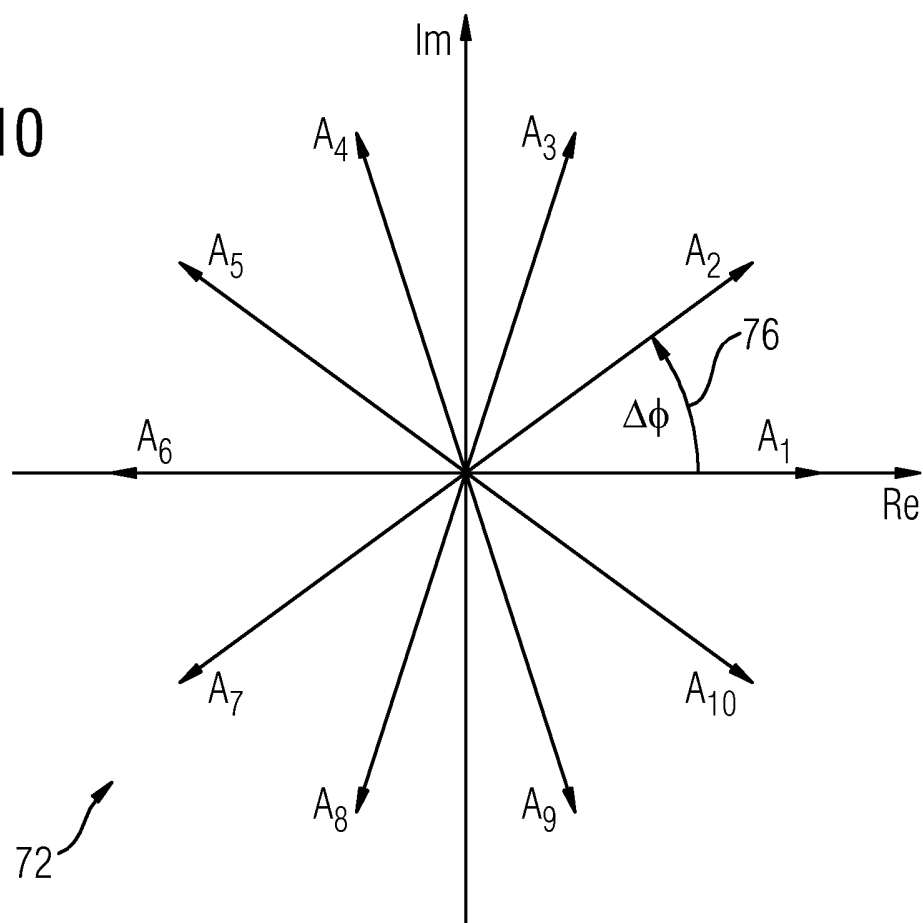
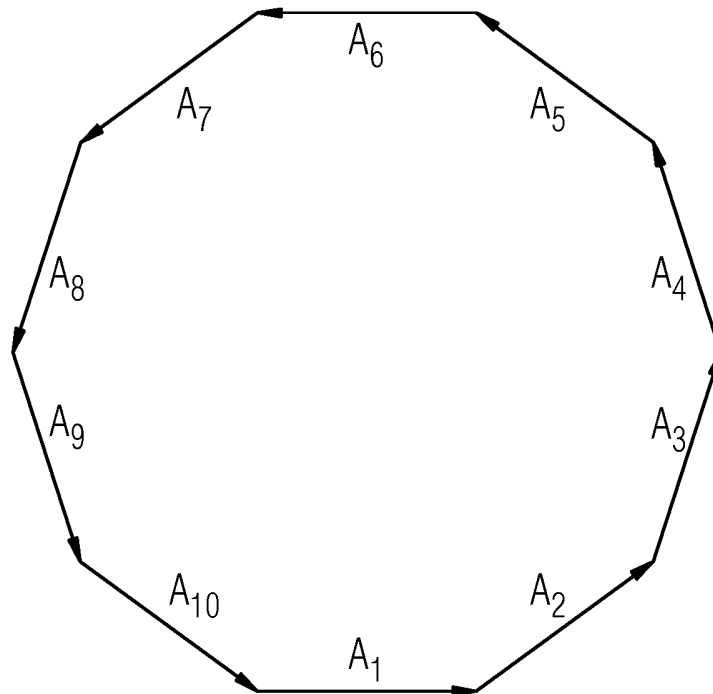


FIG 11



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
B22D 11/124 (2006.01); **B22D 11/22** (2006.01); **B05B 1/08** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
B22D 11/124 (2013.01); **B22D 11/1246** (2013.01); **B22D 11/225** (2013.01); **B05B 1/08** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

B22D, B05B

Konsultierte Online-Datenbank:

TXTN

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am eingereichten Ansprüchen **1-9** erstellt. Diese Patentanmeldung enthält mehrere (Gruppen von) Erfindungen, nämlich 1. Gruppe: Ansprüche 1-9; 2. Gruppe: Ansprüche 10-13 und 3. Gruppe: Ansprüche 14, 15

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	EP 2527061 A1 (SIEMENS VAI METALS TECH GMBH) 28. November 2012 (28.11.2012) & WO2012163878A1 Ansprüche 1-7 ; Absätze [0009, 0010 ,0016-0025]; Figuren 1 und 2	1, 5, 6, 9
A	WO 2007121804 A1 (SIEMENS VAI METALS TECH GMBH) 01. November 2007 (01.11.2007) Seite 5, Zeilen 21-23; Seite 6, letzter Absatz - Seite 7, erster Absatz; Anspruch 14; Figuren 1 und 7; Anspruch 3	1, 9
A	DE 19928936 A1 (VOEST ALPINE IND ANLAGEN) 10. Februar 2000 (10.02.2000) Zusammenfassung; Figuren 1, 7b	1

Datum der Beendigung der Recherche:
02.06.2015

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

RIEDER Wolfgang

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) eines metallischen Strangs in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8) und Kühldüsen (10), bei dem

- der Strangabschnitt (4) zur Kühlung durch den Kühlbereich (6) gefördert wird,
- die Schaltventile (8) durch binäre pulsweitenmodulierte Steuersignale (38-46, 52) angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse (q) durch die Kühldüsen (10) abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel (12) zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt (4) in dem Kühlbereich (6) aufgebracht wird, und
- die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale (38-46, 52) derart festgelegt werden, dass der durch den Kühlbereich (6) geförderte Strangabschnitt (4) am Ende (36) des Kühlbereichs (6) mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt (4) gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist,

dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eines der Steuersignale (38-46, 52) mit einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) zu einem weiteren der Steuersignale (38-46, 52) festgelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) unter Verwendung eines numerischen Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels (12) festgelegt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei der Steuersignale (38-46, 52) mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen (T) festgelegt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass eine Trägerfrequenz (T) eines der Steuersignale (38-46, 52) in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangabschnitts (v) und/oder einer Länge des Kühlbereichs (L, L₁) und/oder eines Sprühprofils (34) der Kühldüsen (10) festgelegt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei der Steuersignale (38-46, 52) mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen (κ) festgelegt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Pulsweitenverhältnis (κ) eines der Steuersignale (38-46, 52) in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2) festgelegt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eingesetzt zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) in einem Kühlbereich (6), in dem zumindest zwei der Kühldüsen (10) in einer Förderrichtung (32) des Strangabschnitts (4) hintereinander angeordnet sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2)

- eine den physikalischen Zustand des Kühlmittels (12) beschreibende Zustandsgröße (p, 26) im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile (8) und/oder mehreren der Kühldüsen (10) gemeinsamen Kühlmittelzuleitung (14) ermittelt wird,
- ein Verlauf (58, 60, 64, 66) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzverlauf (62) verglichen wird und
- in Abhängigkeit des Vergleichs ein Fehlerzustand zumindest eines der Schaltventile (8) und/oder einer der Kühldüsen (10) der Kühleinrichtung (2) ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass unter Verwendung eines Verlaufs

der Zustandsgröße (p, 26) ein Frequenzspektrum (58, 60, 64) der Zustandsgröße ermittelt und mit einem Referenzfrequenzspektrum (62) verglichen wird.

- 5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass während der Ermittlung der Zustandsgröße (p, 26) zumindest eines der Schaltventile (8) durch ein Steuersignal (38-46, 52) mit einer temporär erhöhten Schalttestfrequenz angesteuert wird.

10

11. Verfahren nach Anspruch 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsgröße mit einem Drucksensor (24) und/oder einem Durchflusssensor und/oder einem Schallsensor und/oder einem Beschleunigungssensor ermittelt wird.

15

12. Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8), Kühleisen (10), ein Kühlmittel (12) und eine Steuereinrichtung (20), die zur Festlegung von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen (38-46, 52) und zur Ansteuerung der Schaltventile (8) mit den Steuersignalen (38-46, 52) vorbereitet ist, zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts (4) in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine, gekennzeichnet durch

20

- 25 - eine Messeinrichtung (16), aufweisend einen Sensor (24), der zur Ermittlung einer den Zustand des Kühlmittels (12) beschreibenden Zustandsgröße (p, 26) im Bereich einer zumindest mehreren Schaltventilen (8) und/oder Kühleisen (10) gemeinsamen Kühlmittelzuleitung (14) vorbereitet ist, und
- 30 - eine Ermittlungseinrichtung (18), vorbereitet zum Vergleich eines Verlaufs (58, 60, 64, 66) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzverlauf (62) und zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2) in Abhängigkeit des Vergleichs,
- 35 - wobei die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) vorbereitet ist.

13. Kühleinrichtung (2) nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 - die Ermittlungseinrichtung (18) zu einer Ermittlung eines Frequenzspektrums (58, 60, 64) der Zustandsgröße (p, 26), zum Vergleich des Frequenzspektrums (58, 60, 64) der Zustandsgröße (6, 26) mit einem Referenzfrequenzspektrum (62) und zur Ermittlung defekter Schaltventile (8) und/oder Kühldüsen (10) unter Verwendung des Ver-
10 gleichs vorbereitet ist,
- die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Trägerfrequenz (F) und/oder eines Pulsweitenverhältnissen (κ) eines der Steuersignale (38-46, 52) vorbereitet ist.