



(11)

EP 4 497 519 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.01.2025 Patentblatt 2025/05

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B22D 46/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23187606.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B22D 46/00

(22) Anmeldetag: **25.07.2023**

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder: **REITERER, Florian**
4210 Gallneukirchen (AT)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- & Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft mbB
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(71) Anmelder: **Nemak, S.A.B. de C.V.**
66017 García, Nuevo León (MX)

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES GUSSVERFAHRENS, STEUERUNGSSYSTEM FÜR EIN GUSSVERFAHREN, VORRICHTUNG SOWIE COMPUTERPROGRAMM**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturregelung eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, umfassend: Bestimmen zumindest einer Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur einer Gussform, wobei die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform mittels zumindest einer Wärmebildkamera erfasst wird, Regelung zumindest einer Eingangsvariable indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens in Abhängigkeit der Ausgangsvariablen derart, dass eine Temperaturdiffe-

renz zumindest einer Temperatur der Gussform zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird, wobei die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels eines Zustandsschätzers basierend zumindest auf der während des offenen Zustands der Gussform erfassten Ausgangsvariable geschätzt wird. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, eine Vorrichtung und ein Computerprogramm.

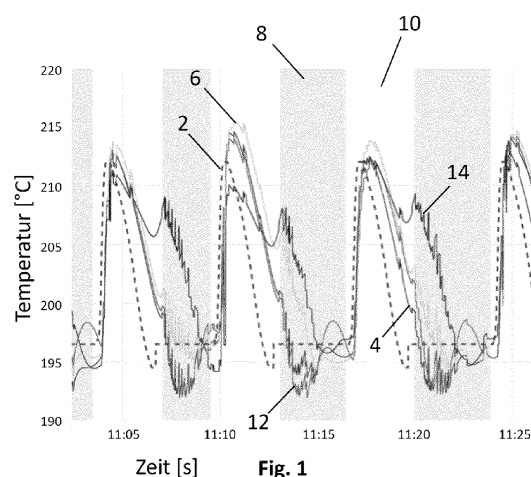


Fig. 1

EP 4 497 519 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung, insbesondere zur Temperaturregelung, eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens. Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls ein Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, umfassend zumindest ein Steuerungsmittel zur Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens insbesondere in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, weiter bevorzugt für eine Temperaturtrajektorie des Gussverfahrens oder der Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz, insbesondere eine prognostizierte Temperaturdifferenz, der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird. Weiter betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung sowie ein Computerprogramm.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind bereits Verfahren zur Temperatursteuerung von Gussverfahren bekannt. Im Wesentlichen wird hierbei zwischen zwei herkömmlichen Steuerungsmöglichkeiten differenziert, nämlich einer sogenannten vorwärts gerichteten Regelung (feedforward control) und einer simplen rückgekoppelten Regelung (feedback control).

[0003] Bei der vorwärts gerichteten Regelung wird zumindest eine Eingangsvariable, die indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens ist, vor den jeweiligen Gießzyklen von einem Prozessingenieur voreingestellt.

[0004] In Bezug auf die vorwärts gerichtete Regelung hat es sich in der Praxis allerdings gezeigt, dass diese Regelung zu erheblichen Temperaturschwankungen zwischen einzelnen Gusszyklen führen kann, wodurch insbesondere Defekte und/oder Gießfehler in der Produktion der einzelnen Gussteile auftreten können.

[0005] Bei der simplen rückgekoppelten Regelung wird beispielsweise die Fließrate eines Kühlmittels in Abhängigkeit von zumindest einem in der Gussform angeordneten Messmittel, insbesondere Thermoelement, geregelt. Falls beispielsweise die von dem zumindest einen Thermoelement gemessene Temperatur eine voreingestellte Temperaturgrenze übersteigt, wird ein Kühlmittelfluss aktiviert. Der Kühlmittelfluss wird so lange aktiviert, bis die von dem zumindest einen Thermoelement gemessene Temperatur eine weitere voreingestellte Temperaturgrenze unterschreitet. Eine derart beschriebene Regelstrategie kann auch als Bang-Bang-Regelung bezeichnet werden und ist in vielen kommerziellen Kokillengussanlagen möglich. Hierbei werden zwar Informationen des jeweiligen Gussverfahrens, insbesondere die von einem Thermoelement gemessene Temperatur, verwendet, allerdings ist die Reaktionszeit einer solchen Regelung langsam, da nur auf bereits stattgefundene Temperaturschwankungen reagiert werden kann. Es hat sich gezeigt, dass bei einer solchen Regelung signifikante Temperaturspitzen auftreten können, insbesondere kurz nachdem die Gussform mit der Gussformfüllung bzw. der Schmelze gefüllt wird.

[0006] Zudem hat sich die Verwendung von Thermoelementen innerhalb der Gussform hinsichtlich der Wartung der Thermoelemente als nachteilig erwiesen. Zusätzlich ist es sehr aufwändig, stetig zu überprüfen, ob die von den Thermoelementen ausgegebenen Messwerte in Ordnung sind, so dass hierdurch die Funktion der rückgekoppelten Regelung weiter eingeschränkt sein kann.

[0007] Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Temperaturregelung eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, anzugeben, welches eine zuverlässige Temperaturregelung eines Gussverfahrens unter Vermeidung eines hohen Wartungsaufwands ermöglicht. Ebenfalls soll ein Steuerungssystem für ein Gussverfahren, eine Vorrichtung und ein Computerprogramm umfassend Programmieranweisungen angegeben werden, welche eine zuverlässige Temperaturregelung eines Gussverfahrens unter Vermeidung eines hohen Wartungsaufwands ermöglichen.

[0008] Die vorgenannte Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung bei einem vorgenannten Verfahren dadurch gelöst, dass das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Bestimmen zumindest einer Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur einer Gussform,
- wobei die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform mittels zumindest einer Wärmebildkamera erfasst wird,
- wobei die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels eines Zustandsschätzers basierend zumindest auf der während des offenen Zustands der Gussform erfassten Ausgangsvariable geschätzt wird, und
- Regelung zumindest einer Eingangsvariable indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens in Abhängigkeit der Ausgangsvariablen derart, dass eine Temperaturdifferenz zumindest einer Temperatur der Gussform zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird.

[0009] Insofern kann ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, welches in konstruktiv günstiger Weise eine Temperaturregelung eines Gussverfahrens ermöglicht. Indem zumindest eine Ausgangsvariable mittels zumindest einer Wärmebildkamera erfasst wird, ist keine aufwändige Installation von mehreren Thermoelementen innerhalb der Gussform mehr nötig.

[0010] Mittels zumindest einer Wärmebildkamera können in vorteilhafter Weise insbesondere Ausgangsvariablen indikativ für die Temperatur an mehreren Positionen der Gussform, insbesondere mehreren Positionen innerhalb der Gussform, zu demselben Zeitpunkt angegeben bzw. ermittelt werden. Hierdurch kann der Wartungsaufwand erheblich reduziert werden, da eine Wärmebildkamera eine Vielzahl an Thermoelementen ersetzen kann und deren Funktionsweise auch deutlich einfacher überprüft werden kann.

[0011] Zudem wurde vorliegend durch umfangreiche Versuche und Simulationen überraschenderweise festgestellt, dass die nicht kontinuierliche Messung der zumindest einen Ausgangsvariablen, nämlich nur im offenen Zustand der Gussform, zu einer ausreichenden Temperaturregelung des Gussverfahrens basierend auf dem voreingestellten Temperaturprofil führt. Insbesondere kann durch die Schätzung der zumindest einen Ausgangsvariablen während eines geschlossenen Zustands der Gussform, wobei in einem solchen Zustand insbesondere keine Informationen der zumindest einen Wärmebildkamera vorliegen, eine ausreichende Temperaturregelung im Hinblick auf das voreingestellte Temperaturprofil gewährleistet werden.

[0012] Bei der zumindest einen mittels der mindestens einen Wärmebildkamera erfassten Ausgangsvariablen handelt es sich insbesondere um zumindest einen Messwert der Wärmebildkamera. Hinsichtlich einer erhöhten Messgenauigkeit ist es bevorzugt, dass die mindestens eine Wärmebildkamera eine Mehrzahl an Ausgangsvariablen indikativ für die Temperatur an verschiedenen Stellen der Gussform ermittelt und die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder die Schätzung der zumindest einen Ausgangsvariablen im geschlossenen Zustand der Gussform basierend auf der Mehrzahl an Ausgangsvariablen durchgeführt wird.

[0013] Bei der zumindest einen in Rede stehenden Wärmebildkamera handelt es sich insbesondere um ein Erfassungsmittel, welches es ermöglicht über eine bestimmte Distanz die Temperatur von bestimmten Gegenständen bzw. Bereichen von bestimmten Gegenständen zu erfassen. Insbesondere ist die zumindest eine Wärmebildkamera dazu ausgebildet, Infrarotstrahlung zu empfangen. Beispielsweise kann die Wellenlänge der empfangenen Infrarotstrahlung in einem Wellenlängenbereich von ca. $3,5\ \mu\text{m}$ bis $15\ \mu\text{m}$ liegen.

[0014] Vorzugsweise wird zumindest eine Eingangsvariable indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens geregelt. Insbesondere ist die zumindest eine Eingangsvariable indikativ für eine Fließrate eines Kühlmittels, wobei das Kühlmittel beispielsweise durch in der Gussform angeordnete Kanäle fließt und hierdurch die Gussform kühlt. Dies ermöglicht eine zuverlässige Einstellung der Temperatur der Gussform. Beispielsweise kann die zumindest eine Eingangsvariable auch indikativ für zumindest eine Heizrate eines in der Gussform angeordneten Heizelements oder einer Heizquelle sein. Hierdurch kann eine schnelle Anpassung der Temperatur der Gussform an ein voreingestelltes Temperaturprofil ermöglicht werden.

[0015] Beispielsweise ist die zumindest eine Eingangsvariable dann indikativ für zumindest eine Eingangsgröße, wenn diese einen Rückschluss auf die Eingangsgröße zulässt. Insbesondere kann es sich bei der zumindest einen Eingangsvariablen um Messwerte und/oder Daten indikativ für die zumindest eine Eingangsgröße handeln. Beispielsweise kann es sich bei der Eingangsvariablen um die Eingangsgröße selbst oder um Messwerte und/oder Daten handeln, die die Eingangsgröße repräsentieren oder aus denen sich die Eingangsgröße ableiten lässt. Beispielsweise kann es sich bei der zumindest einen Eingangsgröße um eine Temperatur eines Kühlmittels in Kelvin handeln, wobei es sich in einem solchen Fall bei der zumindest einen Eingangsvariablen ebenfalls um die Temperatur des Kühlmittels in Kelvin oder um andere Messwerte und/oder Daten handeln kann, die die Temperatur des Kühlmittels repräsentieren oder aus denen sich die Temperatur des Kühlmittels ableiten lässt. Vorheriges gilt vorzugsweise ebenfalls hinsichtlich der zumindest einen Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur der Gussform. Insofern wird mit der zumindest einen Eingangsgröße insbesondere die physikalische Gegebenheit, also beispielsweise die Temperatur des Kühlmittels in Kelvin, bezeichnet, wohingegen mit der zumindest einen Eingangsvariablen bzw. der zumindest einen Ausgangsvariablen auch Messwerte und/oder Daten bezeichnet werden können, welche Rückschlüsse auf die zumindest eine Eingangsgröße bzw. auf die zumindest eine Temperatur der Gussform zulassen und/oder welche die zumindest eine Eingangsgröße bzw. die zumindest eine Temperatur der Gussform repräsentieren. Die üblicherweise eingestellten Eingangsvariablen sind beispielsweise indikativ für die Fließraten eines Kühlmittels und/oder die Kühlzeiten während eines Gusszyklus.

[0016] Des Weiteren hat es sich in der Praxis insbesondere als vorteilhaft erwiesen, wenn mittels der Regelung eine, insbesondere eine weitere, Eingangsvariable geregelt wird, wobei die weitere Eingangsvariable vorzugsweise indikativ für zumindest eine Heizrate eines in der Gussform angeordneten Heizelements oder einer Heizquelle ist. Hierdurch kann eine schnelle Anpassung der Temperatur der Gussform an ein voreingestelltes Temperaturprofil ermöglicht werden.

[0017] Mittels eines Zustandsschätzer kann die zumindest eine Ausgangsvariable dann geschätzt werden, wenn keine gemessene Ausgangsvariable von der mindestens einen Wärmebildkamera vorliegt, nämlich insbesondere dann, wenn die Gussform geschlossen ist.

[0018] Bei einem Zustandsschätzer handelt es sich um eine Komponente in Regelungssystemen, die den internen Zustand eines dynamischen Systems, also beispielsweise des Gussverfahrens, schätzen. Beispielsweise ermittelt der Zustandsschätzer die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform basierend auf der zumindest einen erfassten Ausgangsvariable während des offenen Zustands der Gussform aus der

Vergangenheit sowie basierend auf der zumindest einen geregelten Eingangsgröße. Dabei kann der Zustandsschätzer mathematische Modelle und Algorithmen nutzen, um aus den verfügbaren Daten für die Ausgangsvariablen aus der Vergangenheit sowie der Eingangsvariablen aus der Vergangenheit bzw. der Gegenwart eine bestmögliche Schätzung der zumindest einen Ausgangsvariablen während eines geschlossenen Zustands der Gussform zu berechnen.

[0019] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen auf einem modellbasiertem Regelalgorithmus basiert, und dass der modellbasierte Regelalgorithmus vorzugsweise als Zustandsregler und/oder als modellprädiktiver Regler ausgebildet ist.

[0020] Beispielsweise kann der modellbasierte Regelalgorithmus auf einem dynamischen Modell eines Temperaturhaushalts innerhalb der Gussform basieren, wobei das dynamische Modell insbesondere eine Schätzung und/oder einen Wert der zumindest einen Ausgangsvariablen zur Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen benötigt.

[0021] Bei einem Zustandsregler kann es sich beispielsweise um ein Regelungssystem handeln, welches verwendet wird, um den Zustand des Gussverfahrens mittels der zumindest einen Eingangsvariable zu steuern. Beispielsweise funktioniert der Zustandsregler, indem der aktuelle Zustand des Systems über die zumindest eine Ausgangsvariable geschätzt wird. Anschließend kann beispielsweise der geschätzte Zustand mit einem vorgegebenen Zustand verglichen werden und die zumindest eine Eingangsvariable derart eingestellt werden, dass der geschätzte Zustand in Richtung des vorgegebenen Zustands geändert wird.

[0022] Ein Zustandsregler verwendet in der Regel beispielsweise eine Rückkopplung, bei der der Fehler zwischen dem aktuellen Zustand und dem vorgegebenen Zielzustand multipliziert und mit einer Konstante als Steuersignal verwendet wird. Diese üblicherweise als Matrix, insbesondere als Rückführmatrix, ausgestaltete Konstante wird oft als Reglerverstärkung bezeichnet und bestimmt die Stärke der Regelung.

[0023] Ein modellprädiktiver Regler basiert insbesondere auf einem sogenannten MPC-Modell. Bei der modellprädiktiven Regelung wird vorliegend insbesondere ein voreingestelltes Temperaturprofil angestrebt, bei welchem es sich um ein Zieltemperaturprofil handelt. Bei dem voreingestellten Temperaturprofil kann es sich beispielsweise auch nur um eine angestrebte konstante Temperatur handeln. Ziel der Regelung ist es, die gemessene und/oder prognostizierte Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere die Temperatur der Gussform, während oder zwischen Gusszyklen möglichst nah an das angestrebte Temperaturprofil zu führen. Hierzu kann, beispielsweise in diskreten Zeitintervallen, nicht nur der aktuelle Zustand des Verfahrens, beispielsweise durch Erfassen und/oder Schätzen der zumindest einen Ausgangsvariablen, überwacht, sondern ebenfalls der Zustand des Verfahrens für ein bestimmtes zukünftiges Zeitintervall geschätzt und/oder geregelt werden. Der modellprädiktiven Regelung liegt demnach ein Optimierungsproblem zugrunde, nämlich durch Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen die Ausgangsvariable hinsichtlich des voreingestellten Temperaturprofils zu optimieren.

[0024] Beispielsweise kann das Optimierungsproblem eine Kostenfunktion beinhalten, wobei die Kostenfunktion minimiert werden soll. Dabei kann die Gussformfüllung als gemessene Störgröße und die zumindest eine Eingangsvariable berücksichtigt werden. Bevorzugt werden zumindest zwei Eingangsvariablen berücksichtigt, welche vorzugsweise indikativ für die Flussrate eines Kühlmittels und die Heizrate einer Heizquelle sind.

[0025] Eine exemplarische Kostenfunktion, die mittels der modellprädiktiven Regelung optimiert werden kann, kann beispielsweise auf folgender Formel basieren:

$$V_K \triangleq \sum_{i=1}^{n_{PH}} \left\| \hat{y}_{k+i|k} - r_{k+i} \right\|_{Q_i}^2 + \sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \Delta \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{R_i}^2 + \sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{S_i}^2.$$

[0026] Dabei bestraft der erste Summenterm

$$\sum_{i=1}^{n_{PH}} \left\| \hat{y}_{k+i|k} - r_{k+i} \right\|_{Q_i}^2$$

beispielsweise die Temperaturdifferenz zwischen der Ausgangsvariablen indikativ für eine prognostizierte Temperatur bzw. indikativ für eine prognostizierte Temperaturtrajektorie und einem voreingestellten Temperaturprofil. $|\hat{y}_{k+i|k}|$ kann hierbei beispielsweise der prognostizierten Temperatur bzw. der prognostizierten Temperaturtrajektorie entsprechen. Beispielsweise wird $|\hat{y}_{k+i|k}|$ mittels der nachfolgend beschriebenen Transferfunktion $G(s)$ sowie den Eingangsvariablen $\hat{u}_{k+i|k}$ berechnet. Des Weiteren ist es bevorzugt, dass der Term r_{k+i} zu dem voreingestellten Temperaturprofil korrespondiert.

[0027] Der zweite Summenterm

$$\sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \Delta \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{R_i}^2$$

bestraft beispielsweise Änderungen der Eingangsvariablen. Dies kann insbesondere Änderungen in der Flussrate eines Kühlmittels oder der Heizrate einer Heizquelle betreffen. $\Delta \hat{u}_{k+i|k}$ kann hierbei beispielsweise die Änderung zumindest einer Eingangsvariable zwischen dem Zeitpunkt $k+1$ und dem vorherigen Zeitpunkt angeben.

[0028] Der dritte Summenterm

$$\sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{S_i}^2$$

bestraft beispielsweise die Eingangsvariablen direkt. Dieser sorgt demnach insbesondere dafür, dass die absolute Menge an Kühlmittelfluss oder die absolute Heizrate einer Heizquelle minimiert wird.

[0029] Die Freiheitsgrade der modellprädiktiven Steuerung bzw. des Optimierungsproblems werden dabei durch die Variablen n_{PH} , neu sowie die Gewichtungsmatrizen Q, R und S bestimmt.

[0030] Beispielsweise gibt die Variable n_{PH} an, für wie viele Zeitintervalle in der Zukunft die Berechnung durchgeführt werden soll. Ein Zeitintervall kann beispielsweise in einem Bereich zwischen 0,5 s und 10 s liegen.

[0031] Die Variable n_{CH} gibt beispielsweise an, für wie viele Zeitintervalle in der Zukunft die zumindest eine Eingangsvariable geändert werden kann.

[0032] Vorzugweise können die Variablen n_{PH} und n_{CH} hinsichtlich des zugrunde liegenden Optimierungsproblems angepasst werden. Beispielsweise ist es bevorzugt, dass die Variable n_{PH} zumindest die Dauer eines Gusszyklus angibt, welcher beispielsweise zwischen 1 min und 10 min dauern kann.

[0033] Die Gewichtungsmatrizen Q, R und S geben insbesondere an, wie stark die einzelnen Summenterme in der Gesamtbewertung gewichtet werden. Beispielsweise können die Gewichtungsmatrizen Q, R und S Einheitsmatrizen mit den Konstanten q, r, und s auf der Diagonalen sein. Eine derartige Ausbildung hat sich bei der Verwendung der modellprädiktiven Regelung zur Reduktion der Komplexität unter Erzielung zufriedenstellender Ergebnisse als vorteilhaft erwiesen.

[0034] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsschätzer ferner die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform in Abhängigkeit der zumindest einen Eingangsvariablen schätzt. Hierdurch wird eine Schätzung der zumindest einen Ausgangsvariablen während des geschlossenen Zustands ermöglicht, da weitere bekannte und/oder gemessene Größen, die das Gussverfahren beeinflussen, insbesondere die Temperatur der Gussform in einem offenen Zustand der Gussform und die zumindest eine Eingangsvariable beeinflussen, der Zustandsschätzung zugrunde gelegt werden.

[0035] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsschätzer einen Kalman-Filter umfasst und/oder insbesondere als Kalman Filter ausgebildet ist, und dass der Zustand der zumindest einen Ausgangsvariablen während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels des Kalman-Filters, insbesondere in definierten Zeitintervallen, berechnet bzw. geschätzt wird. Hierdurch kann der Zustand des Gussverfahrens zuverlässig berechnet bzw. geschätzt werden. Insbesondere wird der Zustand des Gussverfahrens basierend auf einer Erfassung der zumindest einen Eingangsvariablen in der Vergangenheit und/oder Gegenwart und der zumindest einen Ausgangsvariablen in einem offenen Zustand der Gussform in der Vergangenheit berechnet. Mittels des aktuellen Zustands des Gussverfahrens können im Rahmen der modellprädiktiven Regelung die verschiedenen zukünftigen Temperaturtrajektorien berechnet werden, auf deren Basis die zumindest eine Eingangsvariable geregelt werden kann.

[0036] Beispielsweise können auch andere Zustandsschätzer verwendet werden, die bekannte stochastische Verfahren zur Zustandsschätzung verwenden. Insbesondere kann der Zustandsschätzer als SMC-Filter, insbesondere als Partikel-Filter, ausgebildet sein. Einem SMC-Filter liegt die Idee zugrunde, eine aktuelle, aber unbekannte Wahrscheinlichkeitsdichte auf einem Zustandsraum zu schätzen und hierüber Aussagen über den wahrscheinlichsten Zustand abzuleiten. Auch mittels eines vorgenannten Zustandsschätzers kann eine ausreichende Zustandsschätzung für den Zustand der zumindest einen Ausgangsvariablen in einem geschlossenen Zustand der Gussform ermöglicht werden.

[0037] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass der modellbasierte Regelalgorithmus auf einem Datensatz, wobei der Datensatz insbesondere Messwerte der zumindest einen Wärmebildkamera für die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform umfasst, basiert, und dass mittels des Regelalgorithmus eine basierend auf dem Datensatz bestimmte Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen zur Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen verwendet wird, und dass mittels des Regelalgorithmus eine basierend auf dem Datensatz bestimmte Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen zur Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen verwendet wird. Vorzugweise umfasst der Datensatz mehrere Eingangsvariablen, insbesondere

zumindest zwei unterschiedliche Eingangsvariablen. Alternativ und/oder zusätzlich kann der Regelalgorithmus auch auf einem heuristischen Modell basieren. Optional können mittels des modellbasierten Regelalgorithmus auch Korrelationen und/oder Wechselwirkungen der Eingangsvariablen untereinander bestimmt werden. Durch eine Berechnung der Korrelation und/oder der Wechselwirkungen der Eingangsvariablen und/oder der Korrelation zu der Ausgangsvariablen, kann in zuverlässiger Weise eine Auswirkung einer Änderung einer der Variablen auf eine andere der Variablen berechnet werden.

[0038] Beispielsweise kann vorgenannter Regelalgorithmus ein Grey-Box-Modell umfassen. Alternativ kann der Regelalgorithmus auch rein datenbasiert sein oder auf aus dem Stand der Technik bekannten Prinzipien beruhen, die anschließend durch Daten parametrisiert werden.

[0039] Ein Grey-Box-Modell kann beispielsweise durch folgende Formel dargestellt werden:

$$Y_{out}(s) = \sum_{k=1}^n G_i(s) U_{in,i}(s).$$

[0040] Bei Y_{out} handelt es sich vorzugsweise um die Ausgangsvariable, die indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens ist. Als $D_{in,i}$ werden vorzugsweise die verschiedenen Eingangsvariablen bezeichnet, wobei insgesamt n verschiedene Eingangsvariablen vorliegen können. Beispielsweise können die verschiedenen Eingangsvariablen im Laplacebereich vorliegen. Bei der Funktion $G_i(s)$ handelt es sich vorzugsweise um eine Übertragungsfunktion, welche sich insbesondere durch folgende Formel für die einzelnen Eingangsvariablen darstellen lässt:

$$G_i(s) = \frac{K_i}{(1+T_i s)^2}.$$

[0041] Als K_i wird vorzugsweise ein Verstärkungsfaktor der jeweiligen Eingangsvariablen angegeben, wobei es sich bei T_i insbesondere um eine Zeitkonstante handeln kann.

[0042] Es hat sich gezeigt, dass durch das illustrierte Grey-Box-Modell ein vorteilhaftes Modell zur Berechnung der Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen angegeben werden kann.

[0043] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Datensatz historische Daten, insbesondere Daten von bereits durchgeführten Gießversuchen und/oder Daten aus einer Serienproduktion, umfasst, wobei der Datensatz vorzugsweise um während der Durchführung des Gussverfahrens erfasste Daten, insbesondere um Messwerte der zumindest einen Wärmebildkamera für die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform, erweitert wird, und/oder dass der Regelalgorithmus mittels Schätzwerten parametrisiert wird, wobei der Regelalgorithmus vorzugsweise während der Durchführung des Gussverfahrens durch erfasste Daten, insbesondere durch Messwerte der zumindest einen Wärmebildkamera für die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform, validiert und/oder erweitert wird. Dies ermöglicht die Zugrundelegung eines Datensatzes, welcher es erlaubt, die Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen, der zumindest einen Ausgangsvariablen und beispielsweise auch Störgrößen zu berücksichtigen.

[0044] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Regelalgorithmus die zumindest eine Eingangsvariable und die eine Ausgangsvariable sowie deren Korrelation zueinander berücksichtigt. Hierdurch können durch den Regelalgorithmus in zuverlässiger Weise verschiedene mögliche Temperaturtrajektorien berechnet werden und die zumindest eine Eingangsvariable derart geregelt werden, dass eine, insbesondere prognostizierte, Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird. Des Weiteren ist es bevorzugt, dass bei mehreren Eingangsvariablen die modellprädikative Regelung auch die Korrelation der mehreren Eingangsvariablen untereinander berücksichtigt.

[0045] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Regelalgorithmus und/oder der Zustandsschätzer einen Öffnungszustand der Gussform, eine Füllung der Gussform und/oder eine Messungenauigkeit der zumindest einen Wärmebildkamera als weiteren Input und/oder Störgröße einbezieht, und dass der Regelalgorithmus und/oder der Zustandsschätzer die Korrelation des weiteren Inputs und/oder der Störgröße zu der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen berücksichtigt. Dies ermöglicht eine zuverlässige Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Eingangsgröße, da auch der Öffnungszustand der Gussform, das Verhalten der Gussformfüllung bzw. Abweichungen der Gussformfüllung als gemessene Störgröße und/oder eine Messungenauigkeit der zumindest einen Wärmebildkamera in die Regelung mit einbezogen werden können. Bei der Gussformfüllung als Störgröße kann es sich insbesondere um den Zeitpunkt der Gussformfüllung, die Zusammensetzung der Gussformfüllung, die Menge der Gussformfüllung und/oder die Temperatur der Gussformfüllung handeln.

[0046] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer

Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle ist. Hierdurch kann eine Eingangsvariable indikativ für eine der vorgenannten Eingangsgrößen derart geregelt werden, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird. Es ist bevorzugt, dass eine Eingangsvariable jeweils indikativ für eine Eingangsgröße ist. Vorzugsweise können auch mehrere der vorgenannten Eingangsgrößen mehrfach auftreten, beispielsweise falls mehrere Kühlkreisläufe für Kühlmittel während des Gussverfahrens vorhanden sind.

[0047] Besonders bevorzugt ist die zumindest eine Eingangsvariable indikativ für die Flussrate eines Kühlmittels. Hierdurch kann die Flussrate eines Kühlmittels basierend auf der modellprädiktiven Regelung derart geregelt werden, dass die vorgenannte Temperaturdifferenz minimiert wird.

[0048] Vorzugsweise werden zumindest zwei Eingangsvariablen indikativ für zwei Eingangsgrößen des Gussverfahrens geregelt. In der Praxis hat es sich hinsichtlich einer Genauigkeit der Regelung als bevorzugt erwiesen, falls zwei Eingangsvariablen verwendet werden, wobei eine Eingangsvariable vorzugsweise indikativ für die Flussrate des Kühlmittels und eine Eingangsvariable vorzugsweise indikativ für die Heizrate einer Heizquelle ist. Dies ermöglicht sowohl eine Anpassung sowohl der Flussrate des Kühlmittels als auch der Heizrate der Heizquelle basierend auf der modellprädiktiven Regelung.

[0049] Eine weitere mögliche Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine weitere Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine weitere Temperatur des Gussverfahrens mittels eines Thermoelements, insbesondere mittels eines zumindest teilweise innerhalb der Gussform angeordneten Thermoelements, erfasst wird, und dass die zumindest eine Eingangsvariable in Abhängigkeit der zumindest einen Ausgangsvariablen und der zumindest einen weiteren Ausgangsvariablen geregelt wird. Hierdurch kann zur Regelung, insbesondere zur Regelung während eines geschlossenen Zustands der Gussform, auf die zumindest eine weitere Ausgangsvariable zurückgegriffen werden, wodurch die Genauigkeit der Regelung weiter verbessert werden kann.

[0050] Des Weiteren ist es möglich, dass der Zustandsschätzer die zumindest eine Ausgangsvariable, insbesondere während eines geschlossenen Zustands der Gussform, in Abhängigkeit der zumindest einen weiteren Ausgangsvariablen schätzt. Hierdurch kann die Genauigkeit des Zustandsschätzers weiter verbessert werden.

[0051] Ferner kann der Zustandsschätzer auch die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform in Abhängigkeit der zumindest einen weiteren Ausgangsvariable schätzen. Denn durch die parallele Verwendung von zumindest einer Wärmebildkamera und zumindest einem Thermoelement, können die Vorteile beider Messmittel kombiniert werden. Beispielsweise kann die Verwendung einer Wärmebildkamera im Vergleich üblicherweise eine genauere Temperaturangabe liefern, wohingegen ein Thermoelement üblicherweise robuster und zuverlässiger ist. Zudem ist es eventuell nicht möglich, die Temperatur an der gewünschten Stelle zu erfassen. Durch eine Kombination der beiden Messmittel kann daher das Ergebnis des Zustandsschätzers weiter verbessert werden.

[0052] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die vorgenannte Aufgabe bei einem Steuerungssystem für ein Gussverfahren dadurch gelöst, dass das Steuerungssystem ferner zumindest eine Wärmebildkamera zur Erfassung der zumindest einen Ausgangsvariablen während eines offenen Zustands der Gussform aufweist, und dass das mindestens eine Steuerungsmittel die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels mindestens eines Zustandsschätzers basierend zumindest auf der während des offenen Zustands der Gussform erfassten Ausgangsvariable schätzt.

[0053] Ein Steuerungssystem kann beispielsweise eine Vorrichtung zum Auswerten von Daten, Steuern von weiteren Vorrichtungen und/oder Ausgeben von Signalen sein. Das Steuerungssystem kann beispielsweise Bestandteil einer Gussvorrichtung, einer Gießvorrichtung und/oder eine Gießanlage sein.

[0054] Das Steuerungssystem kann Hardware- und/oder Software-Komponenten umfassen. Das Steuerungssystem kann beispielsweise mindestens einen Speicher mit Programmanweisungen eines Computerprogramms und mindestens einen Prozessor ausgebildet zum Ausführen von Programmanweisungen aus dem mindestens einen Speicher umfassen. Dementsprechend sollen insbesondere auch Steuereinrichtungen als offenbart verstanden werden, die zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher mit Programmanweisungen umfassen, wobei der zumindest eine Speicher und die Programmanweisungen eingerichtet sind, gemeinsam mit dem zumindest einen Prozessor die mindestens eine Eingangsvariable zu steuern. Das Steuern der mindestens einen Eingangsvariablen erfolgt zum Beispiel über eine Steuerverbindung.

[0055] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung regelt das Steuerungssystem als zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle. Das Steuerungssystem kann ebenfalls zumindest zwei oder mehrere der vorgenannten Eingangsgrößen regeln.

[0056] Vorzugsweise ist das Steuerungssystem zur Durchführung eines zuvor beschriebenen Verfahrens ausgestaltet.

[0057] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die vorgenannte Aufgabe durch eine Vorrichtung umfassend zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher, der Programmcode beinhaltet, dadurch gelöst,

dass der Speicher und der Programmcode eingerichtet sind, mit dem zumindest einen Prozessor eine Vorrichtung dazu zu veranlassen, zumindest das vorgenannte Verfahren auszuführen und/oder zu steuern. Dabei können entweder alle Schritte des Verfahrens gesteuert werden, oder alle Schritte des Verfahrens ausgeführt werden, oder ein oder mehrere Schritte gesteuert und ein oder mehrere Schritte ausgeführt werden.

[0058] In einer beispielhaften Ausgestaltung umfasst die Vorrichtung gemäß dem dritten beispielhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung zumindest ein Steuerungssystem gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung sowie eine Gießanlage geeignet zur Durchführung eines Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0059] Die vorgenannte Aufgabe wird ebenfalls gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung durch ein Computerprogramm dadurch gelöst, dass das Computerprogramm Programmanweisungen umfasst, die einen Prozessor zur Ausführung und/oder Steuerung des vorgenannten Verfahrens veranlassen, wenn das Computerprogramm auf dem Prozessor läuft. Unter einem Prozessor sollen in dieser Spezifikation unter anderem Kontrolleinheiten, Mikroprozessoren, Mikrokontrolleinheiten wie Mikrocontroller, digitale Signalprozessoren (DSP), Anwendungsspezifische Integrierte Schaltungen (ASICs) oder Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) verstanden werden. Dabei können entweder alle Schritte des Verfahrens gesteuert werden, oder alle Schritte des Verfahrens ausgeführt werden, oder ein oder mehrere Schritte gesteuert und ein oder mehrere Schritte ausgeführt werden. Das Computerprogramm kann beispielsweise über ein Netzwerk wie das Internet, ein Telefon- oder Mobilfunknetz und/oder ein lokales Netzwerk verteilbar sein. Das Computerprogramm kann zumindest teilweise Software und/oder Firmware eines Prozessors sein. Es kann gleichermaßen zumindest teilweise als Hardware implementiert sein. Das Computerprogramm kann beispielsweise auf einem computerlesbaren Speichermedium gespeichert sein, z.B. einem magnetischen, elektrischen, elektromagnetischen, optischen und/oder andersartigen Speichermedium. Das Speichermedium kann beispielsweise Teil des Prozessors sein, beispielsweise ein (nicht-flüchtiger oder flüchtiger) Programmspeicher des Prozessors oder ein Teil davon. Das Speichermedium ist beispielsweise gegenständlich, also greifbar, und/oder nicht-transitorisch.

[0060] Die oben beschriebenen, zunächst grundsätzlich für sich alleine stehenden Ausführungsformen und beispielhaften Ausgestaltungen aller Aspekte der vorliegenden Erfindung sollen auch in allen Kombinationen miteinander offenbart verstanden werden.

[0061] Weitere vorteilhafte beispielhafte Ausführungsformen der Aspekte der Erfindung sind der folgenden detaillierten Beschreibung einiger beispielhafter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, insbesondere in Verbindung mit der Figur zu entnehmen. Die der Anmeldung beiliegende Figur soll jedoch nur dem Zwecke der Verdeutlichung, nicht aber zur Bestimmung des Schutzbereiches der Erfindung dienen. Die beiliegende Zeichnung spiegelt lediglich das allgemeine Konzept der vorliegenden Erfindung beispielhaft wider. Insbesondere sollen Merkmale, die in der Figur enthalten sind, keineswegs als notwendiger Bestandteil der vorliegenden Erfindung verstanden werden.

[0062] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnung erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 exemplarische Temperaturverläufe basierend auf unterschiedlichen Regelungen zur Temperatursteuerung und unterschiedlichen Erfassungen der zumindest einen Ausgangsvariablen.

[0063] Fig. 1 zeigt unterschiedliche Temperaturverläufe basierend auf unterschiedlichen Regelungen zur Temperatursteuerung und unterschiedlichen Erfassungen der zumindest einen Ausgangsvariablen sowie ein voreingestelltes Temperaturprofil 2.

[0064] Neben dem voreingestellten Temperaturprofil 2 sind zwei Temperaturverläufe 4 und 6 angegeben, die auf einem modellprädiktiven Regler basieren, wobei dem Temperaturverlauf 4 zur Messung der Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur der Gussform eine kontinuierliche Messung zumindest eines in der Gussform angeordneten Thermoelements zugrunde liegt und wobei dem Temperaturverlauf 6 zur Messung der Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur der Gussform eine diskontinuierliche Messung in einem offenen Zustand der Gussform mittels einer Wärmebildkamera zugrunde liegt. Hinsichtlich des Temperaturverlaufs 6 wird die zumindest eine Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur der Gussform in einem geschlossenen Zustand der Gussform mittels eines Zustandsschätzers geschätzt, da in einem solchen Fall keine Informationen der zumindest einen Wärmebildkamera indikativ für zumindest eine Temperatur der Gussform vorliegen.

[0065] Die grau hinterlegten Bereiche 8 des Graphs entsprechen insbesondere den Zeiträumen, in welchen sich die Gussform in einem offenen Zustand befindet und demnach also eine Ausgangsvariable indikativ für eine Temperatur der Gussform mittels der zumindest einen Wärmebildkamera erfasst werden kann.

[0066] Im Unterscheid dazu sind die weiß hinterlegten Bereiche 10 diejenigen Bereiche, in welchen die Gussform geschlossen ist und demnach keine Ausgangsvariablen indikativ für eine Temperatur der Gussform von der zumindest einen Wärmebildkamera zur Verfügung gestellt wird und die zumindest eine Ausgangsvariable daher in diesem Zeitraum von einem Zustandsschätzer berechnet wird.

[0067] Zudem sind zwei auf einer simplen PI-Regelung basierende weitere Temperaturverläufe 12 und 14 dargestellt, wobei dem Temperaturverlauf 12 zur Messung der Ausgangsvariable eine kontinuierliche Messung zumindest eines in

der Gussform angeordneten Thermoelements zugrunde liegt und wobei dem Temperaturverlauf 14 eine diskontinuierliche Messung zumindest einer Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur der Gussform in einem offenen Zustand der Gussform mittels zumindest einer Wärmebildkamera zugrunde liegt. Der PI-Regler ist bei dem Temperaturverlauf 14 nur bei einem offenen Zustand der Gussform aktiv, während bei geschlossener Gussform ein voreingestelltes Durchflussprofil verwendet wird.

[0068] Die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers - bei welcher es sich um eine üblicherweise verwendete Kenngröße zur Bewertung der jeweiligen Regelung handelt

- zu dem voreingestellten Temperaturprofil 2 beträgt in dem dargestellten Zeitraum bei dem Temperaturverlauf 4 12,3°C, bei dem Temperaturverlauf 6 14,3°C, bei dem Temperaturverlauf 12 14,7°C und bei dem Temperaturverlauf 14 18,9°C.

[0069] Zwar ist erkennbar, dass der Rückgriff auf die Informationen der zumindest einen Wärmebildkamera zu einer gewissen Verschlechterung der Kontrollleistung führt, allerdings ist die Regelungsleistung auch bei der Verwendung von zumindest einer Wärmebildkamera noch zufriedenstellend und insofern zu bevorzugen, da durch die Verwendung der zumindest einen Wärmekamera eine aufwändige Installation und Wartung mehrerer Thermoelemente vermieden werden kann.

[0070] Zudem ist erkennbar, dass der modellprädiktive Regler zu einer deutlich genaueren Regelung als eine simple PI-Regelung führt, da der modellprädiktive Regler auch bei geschlossener Gussform mittels eines Zustandsschätzer zumindest eine Ausgangsvariable indikativ für die Temperatur der Gussform abschätzen kann, wobei die entsprechend geschätzte Ausgangsvariable wiederum zur Regelung der zumindest einen Eingangsgröße und damit der Temperatur der Gussform genutzt werden kann. Ein simpler PI-Regler kann in einem solchen Fall bloß auf eine reine vorwärts gerichtete Regelung umstellen.

[0071] Als Eingangsvariable indikativ für eine Eingangsgröße kann bei den in Fig. 1 dargestellten Regelungen eine Eingangsvariable indikativ für eine Fließrate eines Kühlmittels geregelt werden.

[0072] Die in dieser Spezifikation beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sollen auch in allen Kombinationen miteinander offenbart verstanden werden. Insbesondere soll auch die Beschreibung eines von einer Ausführungsform umfassten Merkmals - sofern nicht explizit gegenteilig erklärt - vorliegend nicht so verstanden werden, dass das Merkmal für die Funktion des Ausführungsbeispiels unerlässlich oder wesentlich ist.

[0073] In den Ansprüchen verwendete Begriffe wie "umfassen", "aufweisen", "beinhalten", "enthalten" und dergleichen schließen weitere Elemente oder Schritte nicht aus. Unter die Formulierung "zumindest teilweise" fallen sowohl der Fall "teilweise" als auch der Fall "vollständig". Die Formulierung "und/oder" soll dahingehend verstanden werden, dass sowohl die Alternative als auch die Kombination offenbart sein soll, also "A und/oder B" bedeutet "(A) oder (B) oder (A und B)". Eine Mehrzahl von Einheiten, Personen oder dergleichen bedeutet im Zusammenhang dieser Spezifikation mehrere Einheiten, Personen oder dergleichen. Die Verwendung des unbestimmten Artikels schließt eine Mehrzahl nicht aus. Eine einzelne Einrichtung oder ein einzelnes Mittel kann die Funktionen mehrerer in den Patentansprüchen genannten Einheiten bzw. Einrichtungen ausführen. In den Ansprüchen angegebene Bezugszeichen sind nicht als Beschränkungen der eingesetzten Mittel und Schritte anzusehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturregelung eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, umfassend:

- Bestimmen zumindest einer Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur einer Gussform,
- wobei die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform mittels zumindest einer Wärmebildkamera erfasst wird,
- wobei die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels eines Zustandsschätzers basierend zumindest auf der während des offenen Zustands der Gussform erfassten Ausgangsvariable geschätzt wird, und
- Regelung zumindest einer Eingangsvariable indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens in Abhängigkeit der Ausgangsvariablen derart, dass eine Temperaturdifferenz zumindest einer Temperatur der Gussform zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- dass die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen auf einem modellbasiertem Regelalgorithmus

basiert, und

- **dass** der modellbasierte Regelalgorithmus vorzugsweise als Zustandsregler und/oder als modellprädiktiver Regler ausgebildet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Zustandsschätzer ferner die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform in Abhängigkeit der zumindest einen Eingangsvariablen schätzt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Zustandsschätzer einen Kalman-Filter umfasst und/oder insbesondere als Kalman Filter ausgebildet ist, und

- **dass** der Zustand der zumindest einen Ausgangsvariablen während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels des Kalman-Filters, insbesondere in definierten Zeitintervallen, berechnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der modellbasierte Regelalgorithmus auf einem Datensatz, wobei der Datensatz insbesondere Messwerte der zumindest einen Wärmebildkamera für die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform umfasst, basiert, und

- **dass** mittels des Regelalgorithmus eine basierend auf dem Datensatz bestimmte Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen zur Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Datensatz historische Daten, insbesondere Daten von bereits durchgeführten Gießversuchen und/oder Daten aus einer Serienproduktion, umfasst, wobei der Datensatz vorzugsweise um während der Durchführung des Gussverfahrens erfasste Daten, insbesondere um Messwerte der zumindest einen Wärmebildkamera für die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform, erweitert wird, und/oder

- **dass** der Regelalgorithmus mittels Schätzwerten parametrisiert wird, wobei der Regelalgorithmus vorzugsweise während der Durchführung des Gussverfahrens durch erfasste Daten, insbesondere durch Messwerte der zumindest einen Wärmebildkamera für die zumindest eine Ausgangsvariable während eines offenen Zustands der Gussform, validiert und/oder erweitert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Regelalgorithmus die zumindest eine Eingangsvariable und die eine Ausgangsvariable sowie deren Korrelation zueinander berücksichtigt.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Regelalgorithmus, insbesondere der Zustandsschätzer, ferner einen Öffnungszustand der Gussform, eine Füllung der Gussform und/oder eine Messungenauigkeit der zumindest einen Wärmebildkamera als weiteren Input und/oder Störgröße einbezieht, und

- **dass** der Regelalgorithmus die Korrelation des weiteren Inputs und/oder der Störgröße zu der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen berücksichtigt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** zumindest eine weitere Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine weitere Temperatur des Gussverfahrens mittels eines Thermoelements, insbesondere mittels eines zumindest teilweise innerhalb der Gussform angeordneten Thermoelements, erfasst wird, und
- **dass** die zumindest eine Eingangsvariable in Abhängigkeit der zumindest einen Ausgangsvariablen und der zumindest einen weiteren Ausgangsvariablen geregelt wird.

11. Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, umfassend:

- zumindest ein Steuerungsmittel zur Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** das Steuerungssystem ferner zumindest eine Wärmebildkamera zur Erfassung der zumindest einen Ausgangsvariablen während eines offenen Zustands der Gussform aufweist, und

- **dass** das mindestens eine Steuerungsmittel die zumindest eine Ausgangsvariable während eines geschlossenen Zustands der Gussform mittels eines Zustandsschätzers basierend zumindest auf der während des offenen Zustands der Gussform erfassten Ausgangsvariable schätzt.

12. Steuerungssystem nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,

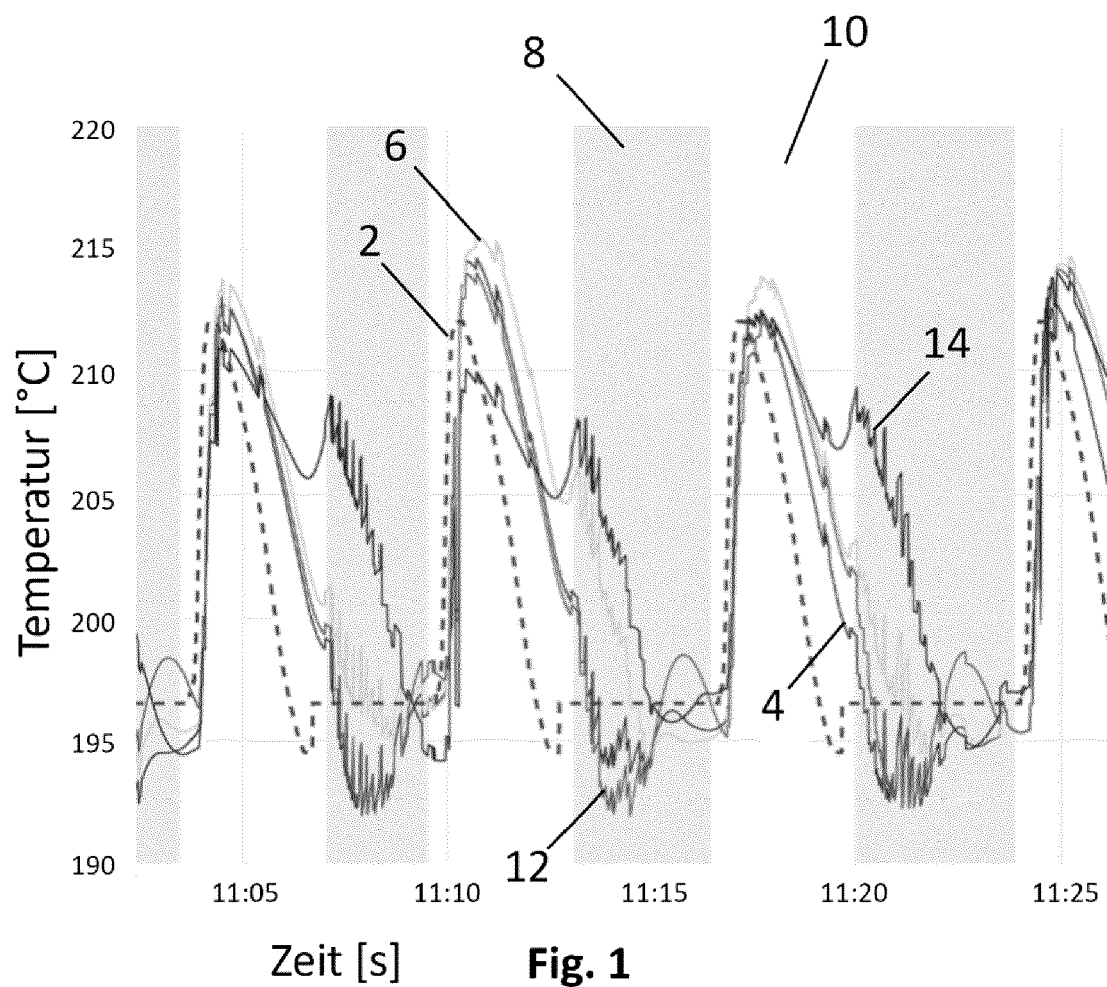
- **dass** das Steuerungssystem als zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle regelt.

13. Steuerungssystem nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** das Steuerungssystem zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgestaltet ist.

14. Vorrichtung umfassend zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher, der Programmcode beinhaltet, wobei der Speicher und der Programmcode eingerichtet sind, mit dem zumindest einen Prozessor eine Vorrichtung dazu zu veranlassen, zumindest das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen und/oder zu steuern.

15. Computerprogramm umfassend Programmanweisungen, die einen Prozessor zur Ausführung und/oder Steuerung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 veranlassen, wenn das Computerprogramm auf dem Prozessor läuft.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 18 7606

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2019 141893 A (NIPPON STEEL CORP) 29. August 2019 (2019-08-29) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 *	1-15	INV. B22D46/00
X	EP 4 091 737 A1 (PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA GMBH [AT]) 23. November 2022 (2022-11-23) * Absatz [0030]; Ansprüche 1, 6, 7 *	1-15	
A	DE 10 2013 224976 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH [DE]) 11. Juni 2015 (2015-06-11) * das ganze Dokument *	1-15	
A	JP S59 127965 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 23. Juli 1984 (1984-07-23) * Zusammenfassung *	1, 11	
A	CN 203 470 883 U (GAOYAO HONGXING PREC CASTING CO LTD) 12. März 2014 (2014-03-12) * Zusammenfassung *	1, 11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B22D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 5. Januar 2024	Prüfer Gavriliu, Alexandru
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 23 18 7606

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.

05-01-2024

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2019141893 A	29-08-2019	JP 6939637 B2	22-09-2021
		JP 2019141893 A	29-08-2019

EP 4091737 A1	23-11-2022	CN 115351244 A	18-11-2022
		EP 4091737 A1	23-11-2022

DE 102013224976 A1	11-06-2015	KEINE	

JP S59127965 A	23-07-1984	JP H0255145 B2	26-11-1990
		JP S59127965 A	23-07-1984

CN 203470883 U	12-03-2014	KEINE	

EPO FORM P0461

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