

(51) Int Cl.: **B22D 17/32** <sup>(2006.01)</sup> **B22D 39/00** <sup>(2006.01)</sup>

(22) Anmeldetag: **18.05.2011**

(74) Vertreter: **Pfenning, Meinig & Partner GbR**  
**Patent- und Rechtsanwälte**  
**Joachimstaler Strasse 12**  
**10719 Berlin (DE)**

(30) Priorität: 09.06.2010 DE 102010023563

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung der Metalldosierung bei einer Herstellung einer Vielzahl von Gussteilen (3) mit einer Druckgießzelle. Zur Kompensation von Dosierschwankungen und damit verbunden einer erhöhten Dosiergenauigkeit, wird von einem Anguss an ein hergestelltes Gussteil (3), dem sogenannten Pressrest (4), die Pressrestlänge (5) bestimmt und davon ausgehend entweder das Gewicht des Gussteils (3) durch mehrere als kon-

stant anzusehende Parameter berechnet oder direkt von der Pressrestlänge (5) als Maß des Gussteilgewichts ausgehend eine Regelung gestartet. Die Regelung umfasst einen Vergleich zwischen dem aus der Pressrestlänge (5) berechneten Dosiergewicht oder der Pressrestlänge (5) als Istwert und einem vorgegebenen Sollwert und führt das einstellbare Dosiergewicht eines Gussteils (3) über mehrere Gießschritte nach. Somit bleibt das Gussteilgewicht der gegossenen Gussteile innerhalb der Grenzen (9) eines Toleranzbereichs.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung einer Metaldosierung bei einer Herstellung einer Vielzahl von Gussteilen mit einer Druckgießzelle nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

**[0002]** Druckgießzellen dienen der Herstellung von Gussteilen durch Einführung einer bestimmten Menge flüssigen Metalls, welche als Dosiergewicht bezeichnet wird, in eine Füllkammer und Pressen dieses Metalls in einer Gießform mittels eines Presskolbens, wobei das Metall in der Gießform erstarrt. Zu diesem Zweck umfassen Druckgießzellen eine Metallzuführung in Form eines Dosierofens oder Löffelsystems, eine Druckgießmaschine, die das herzustellende Gussteil durch Pressen in eine Gießform herstellt, eine Sprüheinrichtung zum Reinigen der Gießform sowie eine Entnahmeverrichtung für das Gussteil, beispielsweise einen Roboter. Um Gussteile mit einem definierten Gewicht herzustellen, ist eine hohe Dosiergenauigkeit wünschenswert. Als Dosiergenauigkeit wird dabei die Fähigkeit einer Druckgießzelle, insbesondere der darin enthaltenen Vorrichtung zur Metallzuführung, bezeichnet, die Masse des eingeführten Metalls derart reproduzierbar konstant zu halten, dass diese nicht die Grenzen eines festgelegten Toleranzbereichs über- bzw. unterschreitet. Je kleiner dieser Toleranzbereich gewählt werden kann bzw. je geringer die Anzahl der außerhalb der Toleranz liegenden Gussteile ist, die als Ausschuss definiert und aussortiert werden, desto besser ist die Dosiergenauigkeit.

**[0003]** Schwankungen des Dosiergewichts und somit der Dosiergenauigkeit lassen sich in zwei Kategorien einteilen: statistische Dosierschwankungen, die eine Gauß-Verteilung aufweisen, und systematische Dosierschwankungen, die sich durch Driften des Dosiergewichts in bestimmte Richtungen äußern oder durch externe Eingriffe wie Reinigungs- oder Nachfüllvorgänge hervorgerufen werden.

**[0004]** Die genaueste Methode zur Bestimmung der Dosiergenauigkeit besteht darin, hergestellte Gussteile zu wiegen, was aber einen Eingriff in den Produktionsbetrieb bedeuten würde und daher die Produktionszeiten erhöht.

**[0005]** Im Stand der Technik sind verschiedene weitere Verfahren zur Regelung des Dosiergewichts und der Kompensation von Dosierschwankungen bekannt. Die Druckschrift DE 40 29 386 A1 offenbart ein Integralverfahren, bei dem ein Druck-über-Zeit-Integral zur Bestimmung der Dosiermenge verwendet wird. Der Ofeninnendruck wird dabei über eine einstufige Regelung oder über eine beispielsweise in DE 42 04 060 C2 beschriebene Kaskadenregelung geregelt, solange der Dosiervorgang anhält. Hier kommt eine indirekte Bestimmung der Dosiermenge über Förderdruck und -zeit zum Tragen, die allerdings den Nachteil aufweist, dass die im Ofen eingeschlossene Druckluft kompressibel ist, und somit die Dosiermenge von verschiedenen, meist nicht messbaren Faktoren abhängt, die sich im Lauf der Betriebsdauer ändern können. Hierzu zählen unter anderem Veränderungen der Metallablagerungen auf der Auslaufkante eines Dosierrohrs, Veränderungen des Förderdruckverlaufs mit leerer werdendem Ofen oder hydrostatische Druckerhöhung der Schmelze im Ofen durch das Auffüllen während des Dosiervorgangs. Zur Kompensation des Dosiergewichts kann der Bediener des Dosierofens manuell Dosiergewicht, Förderdruck und -zeit verändern.

**[0006]** Eine weitere Möglichkeit der Kompensation der Dosiermenge besteht in einer Auswertung von Außertoleranzteilen und Nachführung des Dosiergewichts. Hierbei wird die eingestellte Dosiermenge dann verändert, wenn Dosiergewichte festgestellt wurden, die außerhalb der zulässigen Toleranzen liegen. Diese Methode führt aufgrund der Berücksichtigung von Einzelereignissen, auf die zudem erst nach ihrem Auftreten reagiert wird, allerdings nicht zum gewünschten Erfolg der Minimierung der Zahl der Ausschussteile.

**[0007]** Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu entwickeln, die die genannten Nachteile vermeidet, mit denen sich also automatisch eine höhere Dosiergenauigkeit erreichen lässt.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Regelung einer Metaldosierung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs sowie durch eine zur Durchführung dieses Verfahrens geeignete Vorrichtung gemäß Anspruch 11.

**[0009]** Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung werden durch die in den abhängigen Ansprüchen angegebenen Merkmale möglich.

**[0010]** Die Erfindung sieht eine Verwendung eines sogenannten Pressrests als Maß für die Dosiermenge vor. Als Pressrest wird dabei ein Anguss an das hergestellte Gussteil bezeichnet, der dort entsteht, wo das Metall in die Gießform eingeführt wird und der nach der Erstarrung zunächst noch am Gussteil verbleibt und typischerweise im weiteren Verfahren entfernt wird. Der Durchmesser des Pressrests ist dabei durch den Presskolben definiert. Aus der zu messenden Länge des Pressrests kann auf die eingesetzte Dosiermenge rückgeschlossen werden.

**[0011]** Hierzu kann aus dem Durchmesser des Pressrests, der, wie bereits gesagt, dem Kolbendurchmesser entspricht, der Dichte der verwendeten Legierung und der ausgemessenen Länge des Pressrests das gegossene Dosiergewicht berechnet werden. Dies erlaubt einen zuverlässigen Rückschluss auf das Dosiergewicht, da von den genannten Größen lediglich die Länge des Pressrests als nicht konstant während mehreren Gießschritten angesehen werden kann und diese Größe sich durch Dosierschwankungen verändert. Dadurch, dass das Verfahren zur Berechnung des Gussteilgewichts die Länge des Pressrests verwendet, ist einerseits eine Möglichkeit der Bestimmung der gegossenen Dosiermenge ohne Eingriff in die Produktion und andererseits ein zuverlässiger Rückschluss auf das gegossene Dosiergewicht möglich, da die Pressrestlänge ein Maß für das Gussteilgewicht darstellt und die Berechnung des Gussteilgewichts mit

konstanten oder sich nur gering ändernden Parametern erfolgt.

**[0012]** Der Regelkreis kann hierbei derart aufgebaut sein, dass die Pressrestlänge als Maß für das Gussteilgewicht oder das berechnete Gussteilgewicht als Istwert aufgefasst wird und dieser Wert mit dem Mittelwert eines Toleranzbereichs als Sollwert verglichen wird. Der Mittelwert des Toleranzbereichs kann dabei als Mittelwert zwischen festgelegter oberer und unterer Grenze des Toleranzbereichs definiert werden. Überschreitet eine Differenz zwischen diesen beiden Werten einen vorbestimmten, einstellbaren Wert, wird das als Stellgröße des Regelkreises benutzte einstellbare Dosiergewicht nachgeführt, damit der Istwert möglichst in der Mitte des Toleranzbereichs, also nahe am Sollwert, bleibt und die Regeldifferenz minimiert wird. Das bedeutet, dass bei einer zu großen Pressrestlänge, also einem bislang zu hoch eingestellten Dosiergewicht, das Dosiergewicht für den nächsten Gießvorgang reduziert wird, während es bei einem bislang zu niedrig eingestellten Dosiergewicht entsprechend erhöht wird. Das eingestellte Dosiergewicht soll allerdings nur dann nachgeführt werden, wenn eine die Regeldifferenz definierende Differenz zwischen der Pressrestlänge bzw. der daraus abgeleiteten Größe und dem Mittelwert des Toleranzbereichs einen vorgegebenen Maximalwert überschreitet.

**[0013]** Ein Dosiergewicht beeinflussender Einstellparameter der Druckgießzelle kann in einem Dosierofen beispielsweise ein Druck-Zeit-Integral sein.

**[0014]** Durch Verwendung eines Mittelwerts der Pressrestlängen oder der Gussteilgewichte und/oder durch Anwendung integraler Berechnungsmethoden werden statistische Dosierschwankungen teilweise korrigiert, da die Gewichte der Gussteile stets in einem gewissen Bereich streuen. Diese Streuung wird durch einen Toleranzbereich der Pressrestlängen oder der Gussteilgewichte berücksichtigt. Eine unmittelbare Nachführung des Dosiergewichts nach der Bestimmung einzelner Pressrestlängen oder Gussteilgewichte kann demgegenüber zu unerwünschten Schwankungen des eingestellten Dosiergewichts führen. Neben der Kompensation statistischer Abweichungen durch Benutzung eines Mittelwerts und/oder integraler Berechnungsmethoden werden über den Regelkreis auch systematische Abweichungen korrigiert. Die Nachführung der Dosiergewichte zwischen einzelnen Gießvorgängen geschieht dabei in kleinen Schritten, um die Maschine gleichmäßiger zu betreiben und die oben bereits erwähnten Sprünge im Dosiergewicht zu vermeiden.

**[0015]** Im Regelkreis wird der gebildete Mittelwert dazu als um Streuung bereinigter Istwert aufgefasst. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass ein Istwert in Form des Mittelwerts benutzt wird, der durch Einstellung des Sollwerts des vorgesehenen Dosiergewichts im Toleranzbereich geführt werden kann und um Driften, die aus systematischen Schwankungen der Dosiermenge resultieren, korrigiert wird. Auf diese Weise wird eine Kompensation sowohl statistischer als auch systematischer Dosierschwankungen erreicht und somit die Anzahl der Ausschussteile reduziert.

**[0016]** Eine vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass der Mittelwert oder das Integral der Pressrestlängen oder der Gussteilgewichte erst nach einer vorgegebenen Mindestanzahl von Messungen berechnet wird. Somit wird sichergestellt, dass erst die benötigte Anzahl von Messungen vorliegen muss, bevor sinnvoll ein statistisches Maß wie der Mittelwert oder das Integral berechnet werden können und damit der Einfluss der Streuung reduziert wird. Bei einer zu geringen Anzahl von Messwerten ist die Streuung in der Regel größer, was bei der Regelung zu unerwünschter Kompensation führen kann.

**[0017]** Um die Bestimmung des Mittelwerts oder des Integrals genauer zu halten, können diese fortlaufend aus allen Messungen oder beispielsweise nur aus einer vorgegebenen Anzahl von Messungen bestimmt werden. Nach Veränderungen an der Maschine, beispielsweise einer Reinigung und Entfernung von abgelagerten Metallresten wird dann nicht mehr auf die alten Werte zur Mittelwertbildung zurückgegriffen, sondern die Auswertung kann auf eine definierte Anzahl von Werten eingeschränkt werden.

**[0018]** Neben der Länge des Pressrests und einer dadurch erfolgenden indirekten Bestimmung des Dosiergewichts können auch weitere Prozessdaten zur Berechnung herangezogen werden. Dies können u. a. Förderdruck und -zeit bzw. Daten der Gießform, wie die Gießformtemperatur, oder Parameter der Druckgießzelle, wie die Geschwindigkeit eines Kolbens, der die Schmelze in die Gussform presst, sein.

**[0019]** In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung werden zur Mittelwert- bzw. Integralbildung außerhalb eines vorgegebenen Intervalls, beispielsweise eines Konfidenzintervalls, liegende Werte nicht berücksichtigt. Außerhalb dieses Intervalls liegende Werte sollen dann, sofern sie einzeln auftreten, als Ausreißer betrachtet werden, die für die Datenbasis des Regelungsalgorithmus nicht herangezogen werden. Dies kann z. B. bei außergewöhnlichen Prozessabläufen wie klemmenden Ventilen zur Zufuhr des Förderdrucks, fehlerhafter Metallüberführung zwischen Dosierofen und Druckgießmaschine, Teileinfrierungen der Schmelze in einer zu kalten Rinne, Ablagerungen am Boden des Dosierofens, die das Dosierrohr blockieren, o. ä. der Fall sein. Darunter fallen aber auch die seltener auftretenden Formspritzer, d. h. Gussteile, bei denen aufgrund einer undichten Gussform Metallschmelze während des Pressvorgangs entweicht.

**[0020]** Um bei systematischen Eingriffen in die Maschine und das Druckgießverfahren, beispielsweise Reinigung oder Nachfüllen des Ofens, keine Berücksichtigung der damit verbundenen Dosierkorrekturen in der Mittelwertbildung zu erhalten, sollen derartige Eingriffe und Dosierkorrekturen als Störgröße behandelt werden und während und nach dem Eingriff automatisch nachreguliert werden. Nachfüllvorgänge können durch die Messung des Füllstands der Schmelze automatisch erkannt werden. Zur Erkennung von Reinigungsvorgängen ist eine Bestätigung eines solchen Eingriffs durch den Benutzer der Druckgießzelle erforderlich, beispielsweise durch Drücken eines dafür vorgesehenen Tasters.

**[0021]** Bei einer Ofenreinigung als systematischer Dosierkorrektur kann das Dosiergewicht während und nach der Korrektur automatisch nachreguliert werden.

**[0022]** Bei weiteren systematischen Dosierkorrekturen, wie einem Nachfüllen von Schmelze, kann neben einer Regelung des Dosiergewichts auch eine Regelung eines Korrekturfaktors der Nachfüllkompensation, des sogenannten Z-Faktors, durchgeführt werden. Da bei einer Nachfüllkompensation die Einfüllgeschwindigkeit ein maßgeblicher Parameter ist und in die Kompensation das Produkt aus Korrekturfaktor und Einfüllgeschwindigkeit eingeht, bietet eine Regelung des Korrekturfaktors Vorteile gegenüber einer bloßen Regelung des Dosiergewichts.

**[0023]** Eine weitere systematische Dosierkorrektur stellt die Nachwirkungskompensation nach einem Nachfüllvorgang dar. Hierbei wird über eine bestimmte Anzahl von Dosiervorgängen das eingestellte Dosiergewicht vermindert, wobei die Minderung zunehmend kleiner wird. Hierzu bietet sich neben einer Regelung des Dosiergewichts, die natürlich die beschriebene Minderung umfasst, eine Regelung der Anzahl der zu korrigierenden Dosiervorgänge an.

**[0024]** Die Auswirkung systematischer Eingriffe kann durch die Bestimmung des Dosiergewichts anhand des Pressrests vorteilhaft quantifiziert und bewertet werden. Dazu zählen insbesondere sowohl die Reinigung des Dosierrohr- und Rinnenbereichs als auch die Kompensation von Nachfüllvorgängen und die sogenannten Nachwirkungseffekte der ersten Dosiervorgänge nach dem Nachfüllen. Diese Nachwirkungseffekte sind bedingt durch die Vermischung der Restmenge im Ofen mit neu eingefüllter Schmelze. Die Bewertung einer oder mehrerer gleichartiger systematischer Eingriffe kann durch Mittelwertbildung oder durch integrale Berechnungsmethoden auf die Bildung neuer bzw. die Verbesserung bereits bestehender Korrekturwerte vorteilhaft angewendet werden, indem diese Korrekturwerte durch den Vergleich der zugehörigen Dosiergewichte während eines systematischen Eingriffs mit dem Sollwert (Mitte des Toleranzbereichs) entsprechend nach oben oder unten nachgeregelt werden.

**[0025]** Besonders vorteilhaft wird das Verfahren im Aluminiumdruckguss eingesetzt.

**[0026]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine Druckgießzelle mit der Gießform, eine Presse zum Einpressen des Metalls in die Gießform und eine Dosiervorrichtung zum Einfüllen der über das Dosiergewicht bestimmten Menge Metalls in die Presse sowie eine Messeinheit und eine Regelungseinheit. Aufgabe der Messeinheit ist es, fortlaufend die Länge des Pressrests zu vermessen und diesen gemessenen Wert an die Regelungseinheit zu übermitteln. Die Regelung erfolgt danach in Abhängigkeit von der Pressrestlänge durch die Regelungseinheit gemäß dem oben bereits beschriebenen Verfahren. Die Dosiervorrichtung kann ein Dosierofen oder ein Löffelsystem sein.

**[0027]** In vorteilhafter Weiterbildung ist die Regelungseinheit derart ausgebildet, dass sie aus der Länge des Pressrests und vorgegebenen Parametern, wie z.B. dem Kolbendurchmesser und der Dichte der verwendeten Legierung, das Gussteilgewicht berechnet. Die Regelung erfolgt danach in Abhängigkeit des Gussteilgewichts durch die Regelungseinheit gemäß dem oben bereits beschriebenen Verfahren.

**[0028]** Vorteilhaft ist die Regelungseinheit derart ausgestaltet, dass nach mehreren Messungen auch der Mittelwert der Pressrestlänge oder der Gussteilgewichte oder ein Integral über die Messwerte der Pressrestlänge oder der Gussteilgewichte berechnet wird und die Regelung derart ausgeführt wird, dass der Mittelwert oder das Integral der Pressrestlänge oder der Gussteilgewichte in der Mitte eines vorgegebenen zulässigen Toleranzbereichs liegt.

**[0029]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der Vorrichtung sieht vor, dass ein integrierender Regler (I-Regler) mit einstellbarer Dämpfungskonstante in der Regelungseinheit vorhanden ist, um die Regelung zwar genau, aber langsam nachzuführen. Es werden somit, speziell bei Verwendung des Mittelwerts und/oder durch Anwendung integraler Berechnungsmethoden, zu große Sprünge im eingestellten Dosiergewicht vermieden.

**[0030]** In vorteilhafter Weiterbildung ist die Dämpfungskonstante derart einstellbar, dass auf eine Mittelwertbildung verzichtet werden kann. In diesem Fall erfolgt der Eingriff des Reglers entsprechend langsam über mehrere Schritte, sodass das gleiche Ergebnis wie mit der aufwändigeren Mittelwertbildung erreicht wird.

**[0031]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 6 erläutert.

**[0032]** Es zeigen:

Fig. 1 Querschnitt einer Gießform einer Druckgießzelle sowie Dosiervorrichtung mit Mess- und Regelungseinheit,

Fig. 2 ein Flussdiagramm eines Regelungsverfahrens,

Fig. 3 ein Flussdiagramm eines Regelungsverfahrens mit einem Integrierglied mit Mittelwertbildung,

Fig. 4 ein Flussdiagramm eines Regelungsverfahrens mit einem Integrierglied ohne Mittelwertbildung,

Fig. 5 ein Flussdiagramm eines Regelungsverfahrens bei systematischen Dosierkorrekturen,

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Regelung der eingestellten Dosiergewichte in Abhängigkeit der tatsächlichen Dosiergewichte der gegossenen Gussteile.

**[0033]** In Fig. 1 ist eine Druckgießzelle für den Aluminiumdruckguss mit einer Gießform 1, einem Presskolben 2, einem Gussteil 3 und einem Pressrest 4 im Querschnitt dargestellt. Die durch den Doppelpfeil markierte Pressrestlänge 5 wird von einer schematisch dargestellten Messeinheit 6 gemessen und an eine Regelungseinheit 7 übermittelt. Diese Regelungseinheit 7 steht in Verbindung mit einer Dosiervorrichtung 8, hier einem Dosierofen, der die Schmelze in die Gießkammer leitet, wo sie durch den Presskolben 2 in die Gießform 1 gepresst wird. Statt eines Dosierofens kann auch eine andere Dosiervorrichtung 8, z. B. ein Löffelsystem verwendet werden. Nach dem Erstarren des Metalls zum Gussteil 3 kann dieses aus der Gießform 1 entnommen werden. Nach Beendigung des Druckgießens verbleibt ein Anguss des Gussteils 3, der den sogenannten Pressrest 4 umfasst, am Gussteil 3 und der Pressrest 4 wird von diesem vor Durchführung des nächsten Gießschritts entfernt. Die Länge dieses Pressrests 4, die Pressrestlänge 5, wird gemessen und zur Berechnung des Dosiergewichts verwendet. Die Berechnung des Dosiergewichts erfolgt hierbei mit einer Formel der Art:

$$DG_{\text{aktuell}} = DG_{\text{mittel}} + \{(PR_{\text{aktuell}} - PR_{\text{mittel}}) \cdot (\pi/4) \cdot d^2 \cdot \rho\}$$

**[0034]** Hierbei bezeichnet  $DG_{\text{aktuell}}$  das Dosiergewicht des zuletzt gegossenen Gussteils 3,  $DG_{\text{mittel}}$  das mittlere Dosiergewicht, wobei mit diesem Dosiergewicht ein mittlerer Pressrest der Länge  $PR_{\text{mittel}}$  erzeugt wird,  $PR_{\text{aktuell}}$  die Pressrestlänge des zuletzt gegossenen Gussteils 3,  $PR_{\text{mittel}}$  die Pressrestlänge, die sich aus dem Mittelwert der Ober- und Untergrenze des Toleranzbereichs ergibt,  $d$  den Kolbendurchmesser und  $\rho$  die Dichte des verwendeten Metalls. Neben den angegebenen Verfahren zur Berechnung des Dosiergewichts kann das Dosiergewicht auch durch eine Auswertung einer Kombination von gemessenen Pressrestdaten und weiteren Prozessdaten, wie z. B. speziellen Gießformtemperaturen, erfolgen. Ist die bisherige Pressrestlänge 5 zu kurz, wird das Dosiergewicht für die nächsten Gießschritte erhöht, ist die Pressrestlänge 5 zu lang, wird das Dosiergewicht entsprechend verkleinert. Das zur Durchführung des Verfahrens verwendete Metall umfasst Aluminium.

**[0035]** In Fig. 2 ist ein Flussdiagramm des Regelungsverfahrens dargestellt. Die Regelung startet mit der Messung der Pressrestlänge 5. Danach wird aus dem erhaltenen Messwert und weiteren, als konstant angesehenen Parametern das Gewicht eines Gussteils 3 berechnet. Im nächsten Schritt wird überprüft, ob das berechnete Gewicht in einem vorgegebenen Konfidenzintervall liegt. Falls nicht, muss geprüft werden, ob der bestimmte Wert auf eine systematische Dosierkorrektur wie eine Ofenreinigung zurückzuführen ist. Ist dies der Fall, wird eine Nachführung vorgenommen, die in Fig. 5 näher erläutert wird.

**[0036]** Ist der Wert hingegen nicht auf eine systematische Dosierkorrektur zurückzuführen, muss geprüft werden, ob auch direkte Vorläufer des aktuellen Werts außerhalb des Konfidenzintervalls lagen. Sollte dies zutreffen, erfolgt eine Nachführung des Dosiergewichts in mehreren Gießschritten, da es sich bei den gemessenen Werten um eine systematische Abweichung handelt und eine Nachführung des Sollwerts zur Reduktion der Anzahl von Ausschussteilen nötig ist. Liegt hingegen nur ein einzelner Wert außerhalb des Konfidenzintervalls, so wird dieser vom System als Ausreißer betrachtet und der Sollwert nicht nachgeführt. Der Ausreißer wird, um eine Mittelwertbildung nicht zu verfälschen, auch nicht zur Berechnung eines Mittelwerts der Gussteilgewichte 10 in den folgenden Gießschritten herangezogen.

**[0037]** Liegt das berechnete Gussteilgewicht im Konfidenzintervall, wird aus dem aktuellen Gussteilgewicht und bereits ermittelten Gussteilgewichten ein Mittelwert 10 als Istwert des Regelkreises gebildet. Dieser Mittelwert 10 kann erst nach einer vorgegebenen Mindestanzahl von Messungen berechnet werden, er kann allerdings auch fortlaufend aus allen Messungen oder nur einer ausgewählten Anzahl von Messungen gebildet werden. Von diesem Istwert wird die Differenz zu dem Mittelwert des Toleranzbereichs, der durch die Ober- und Untergrenze 9 des Bereichs festgelegt ist, und ihr Betrag berechnet. Liegt der Betrag der Differenz unterhalb eines festgelegten Wertes, wird der Gießvorgang ohne Veränderung des Dosiergewichts durchgeführt.

**[0038]** Übersteigt der Betrag der Differenz einen festgelegten Wert jedoch, wird weiter geprüft, ob eine bestimmte Anzahl an Beträgen der Vorgängerdifferenzen ebenfalls diesen Wert übersteigt. Trifft dies nicht zu, wird weiter überprüft, ob die Vorzeichen der Vorläuferdifferenzen untereinander identisch und identisch zum Vorzeichen der aktuell aufgetretenen Differenz sind. Ist dies zutreffend, wird das Dosiergewicht in mehreren Gießschritten nachgeführt, da in diesem Fall eine systematische Drift in eine Richtung vorliegt, ansonsten wird mit dem eingestellten Dosiergewicht der Gießvorgang gestartet, da keine eindeutige Drift in eine Richtung zu beobachten ist. Das Nachführen des Dosiergewichts geschieht hier und in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen durch Verstellen eines Einstellparameters, beispielsweise über ein Druck-Zeit-Integral über einen Gießvorgang.

**[0039]** Übersteigen die Vorläuferdifferenzen betragsmäßig nicht den Betrag der aktuell bestimmten Differenz zwischen Istwert und Mittelwert des Toleranzbereichs, soll ebenfalls der Gießvorgang mit dem eingestellten Wert gestartet werden.

**[0040]** Die Nachführung des Dosiergewichts soll über mehrere Gießschritte geschehen. Hierzu wird zunächst durch Division der Differenz zwischen Istwert und Mittelwert des Toleranzbereichs durch die Anzahl der gewünschten Schritte,

über die eine Nachführung erfolgen soll, eine Korrekturgröße gebildet, um die das Dosiergewicht in den nächsten Gießschritten zu ändern ist. Da allerdings auch noch aus vorherigen Nachführungen Korrekturgrößen berücksichtigt werden müssen, werden diese arithmetisch verrechnet und dadurch die im Gießschritt maßgebliche Korrekturgröße erhalten. Zusätzlich wird überprüft, ob die so erhaltene Korrekturgröße klein genug ist, d. h. ob die Schrittweite einen bestimmten Wert nicht überschreitet. Andernfalls wird die Schrittweite auf den maximal zulässigen Wert gesetzt und die Anzahl der Schritte, über die die Nachführung erfolgen soll, automatisch entsprechend vergrößert.

**[0041]** Die für das Verfahren verwendete Vorrichtung zur Regelung kann ein Rechner sein, der über eine Schnittstelle mit der Druckgießzelle verbunden ist. Alternativ kann die Vorrichtung zur Regelung aber auch direkt mit der Steuereinheit der Druckgießmaschine gekoppelt sein.

**[0042]** Fig. 3 zeigt in schematischer Darstellung ein Flussdiagramm des Regelungsverfahrens mit einem Integrierglied und Mittelwertbildung. Der Unterschied zu dem in Fig. 2 dargestellten Verfahren, welches nur die Mittelwertbildung ausnutzt, besteht im Einsatz eines Integrierglieds. Nach Bildung der Differenz zwischen als Mittelwert 10 berechnetem Istwert und Mittelwert des Toleranzbereichs erfolgt eine Verarbeitung der Differenz im Integrierglied. Die Korrektur erfolgt dabei derart, dass die Differenz mit einem Dämpfungsfaktor  $1/D$  multipliziert wird und auf die im vorhergehenden Schritt ermittelte Differenz addiert wird:

$$DosDiff_{(i)} = DosDiff_{(i-1)} + \frac{1}{D} \cdot Diff$$

**[0043]** Hierbei ist  $DosDiff_{(i)}$  die rekursiv definierte Differenz zwischen Soll- und Istwert, die für die Einstellung des Dosiergewichts genommen wird, während  $Diff$  die aktuell ermittelte Differenz darstellt. Der Dämpfungsfaktor  $1/D$  entspricht hierbei dann der sogenannten Nachstellzeit  $1/T_N$  bei einem klassischen integrierenden Regler. Das einzustellende Dosiergewicht wird dann rekursiv über folgende Formel berechnet:

$$DosEinstell_{(i+1)} = DosEinstell_{(i)} + DosDiff_{(i)}$$

**[0044]**  $DosEinstell_{(i)}$  ist die Vorgabe des einzustellenden Dosiergewichts. Eine schrittweise Korrektur erfolgt in diesem Integralverfahren durch den Dämpfungsfaktor  $1/D$ , der Soll-Istwert-Differenzen bei entsprechender Wahl nur gering gewichtet. Nur wenn über mehrere Schritte hinweg Differenzen mit gleichem Vorzeichen bestehen, wird die Differenz aufsummiert und der Eingriff wird größer. Bei statistischen Schwankungen um einen Mittelwert heben sich diese in der Summe auf und es findet kein Eingriff statt. Durch die Verwendung von Integrierglied und Mittelwertbildung werden statistische Fehler in besonderer Weise hinsichtlich des Regelungsverfahrens berücksichtigt.

**[0045]** In Fig. 4 ist eine Alternative zum in Fig. 3 beschriebenen Verfahren dargestellt, bei dem unter Einsatz eines integrierenden Reglers auf die Mittelwertbildung verzichtet wird. In diesem Fall ist es notwendig, den Dämpfungsfaktor entsprechend klein zu wählen, also die Variable  $D$  entsprechend groß. Dadurch erfolgt ein langsamer Eingriff des Reglers, der einen ähnlichen Effekt wie bei der Berücksichtigung des Mittelwerts hat, aber einfacher zu realisieren ist.

**[0046]** Fig. 5 stellt ein Regelungsverfahren bei systematischen Dosierkorrekturen als Flussdiagramm dar. Wird eine systematische Dosierkorrektur wie ein Reinigungsvorgang vom Benutzer quittiert, wird die mittlere Erhöhung des eingestellten Dosiergewichts durch Berechnung einer Ausgleichsgeraden durch die Folge der eingestellten Dosiergewichte zwischen dem letzten und dem aktuellen Reinigungsvorgang bestimmt. Diese mittlere Erhöhung des aktuellen Dosiergewichts wird nach dem aktuellen Reinigungsvorgang vom aktuell eingestellten Dosiergewicht abgezogen, um wieder den Verhältnissen eines gereinigten Dosierrohrs gerecht zu werden.

**[0047]** Ein Nachfüllvorgang wird nicht vom Benutzer quittiert, sondern durch Messung der hydrostatischen Druckerhöhung der Ofenschmelze, welche sich dem Ofeninnendruck überlagert, festgestellt. Durch die Druckerhöhung kommt es zu einem vermehrten Massenstrom ausdosierter Schmelze, die durch Verkürzung der Dosierzeit oder Verringerung des Druckintegrals korrigiert wird. Hiermit verbunden ist das Abtasten der Einfüllgeschwindigkeit, also die Füllstandserhöhung pro Zeiteinheit. Eine derartige Nachfüllkompensation berechnet sich nach dem Stand der Technik folgendermaßen:

$$\int (Pdt)_{\text{Dosieren mit Nachfüllen}} = \int (Pdt)_{\text{Dosieren ohne Nachfüllen}} \cdot (1 - Z \cdot \Delta h / \Delta t)$$

**[0048]**  $Z$  ist hierbei der einzustellende Korrekturfaktor der Nachfüllkompensation, mit dem die Einfüllgeschwindigkeit

multipliziert wird. Dieser Faktor wird empirisch für jeden Ofen ermittelt und optimiert. Durch Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann im Falle einer Nachfüllung nicht nur das Dosiergewicht, sondern auch der Korrekturfaktor automatisiert nachgestellt werden.

**[0049]** Eine Nachwirkungskorrektur korrigiert das eingestellte Dosiergewicht der Dosiervorgänge im Anschluss an das Nachfüllen. Dabei wird über eine bestimmte Anzahl an Dosiervorgängen das eingestellte Dosiergewicht in kleiner werdenden Schritten verringert, beispielsweise nach folgender Formel:

$$DosGew(i)_{Nachwirkungskorrektur} = DosGew_{eingestellt} - (kg\_Minderung \cdot (n - i + 1) / n)$$

**[0050]**  $n$  bezeichnet hierbei die Anzahl der Dosiervorgänge, über die eine Korrektur erfolgt,  $i$  ist der Laufindex, der von 1 bis  $n$  geht,  $kg\_Minderung$  ist der Einstellwert für eine Verringerung des Dosiergewichts,  $DosGew_{Nachwirkungskorrektur}$  und  $DOSGeW_{eingestellt}$  bezeichnen das bei einer Nachwirkungskorrektur einzustellende bzw. das eingestellte Dosiergewicht. Bei Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit Pressresterfassung können somit die Korrekturwerte  $n$  und  $kg\_Minderung$  automatisch optimiert werden, statt direkt das eingestellte Dosiergewicht zu variieren.

**[0051]** Fig. 6 zeigt in schematischer Darstellung eine Regelung der eingestellten Dosiergewichte in Abhängigkeit der tatsächlichen Dosiergewichte der gegossenen Gussteile 3. In Fig. 6 a) ist dazu der Verlauf der eingestellten Dosiergewichte bei Durchführung der Regelung dargestellt, während Fig. 6 b) die aus dem Pressrest 4 berechneten Gewichte der gegossenen Gussteile 3 sowie die Grenzen 9 des Toleranzbereichs zeigt. Innerhalb der oberen und unteren Grenzen 9 schwankt das tatsächliche Gewicht der Gussteile 3, welches aus dem Pressrest 4 berechnet wurde. Der Mittelwert 10 der tatsächlichen Gussteilgewichte wird hierbei durch die Regelung der Dosiergewichte in der Mitte des Toleranzbereichs gehalten. Dadurch, dass sämtliche Gussteilgewichte innerhalb der Grenzen 9 des Toleranzbereichs gehalten werden können, werden im in Fig. 6 dargestellten Fall keine Ausschussteile produziert. Die Gewichtsunterschiede zwischen eingestelltem Dosiergewicht und berechnetem Gewicht der gegossenen Gussteile ergeben sich beispielsweise durch Metall, das sich im Dosierrohr ablagert oder in der Rinne liegen bleibt. Dieses Metall ist zwar ausdosiert worden, aber nicht in die Gießkammer gelangt. Oxidablagerungen an der Überlaufkante des Dosierrohrs verändern das hydrostatische Referenzdruckniveau und wirken sich ebenfalls auf das Dosiergewicht aus. Denkbar wäre auch, dass ein neues Dosierrohr mit unterschiedlichen Maßen verwendet wird oder dass es zu einer Vermischung von neu eingefüllter und noch im System verbliebener Schmelze kommt, was die Eigenschaften der Schmelze verändert.

Bezugszeichenliste:

**[0052]**

- 1 Gießform
- 2 Presskolben
- 3 Gussteil
- 4 Pressrest
- 5 Pressrestlänge
- 6 Messeinheit
- 7 Regelungseinheit
- 8 Dosiervorrichtung
- 9 Grenze des Toleranzbereichs
- 10 Mittelwert der Gussteilgewichte (Istwert)

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Regelung einer Metaldosierung bei einer Herstellung einer Vielzahl von Gussteilen (3) mit einer Druckgießzelle, wobei jeweils eine über ihr Dosiergewicht bestimmte Menge flüssigen Metalls in eine Füllkammer eingeführt und mit einem Presskolben (2) in eine Gießform (1) gepresst wird und in der Gießform (1) zu einem der Gussteile (3) erstarrt, wobei das Verfahren eine Regelung einer Pressrestlänge (5) mit folgenden Schritten umfasst:

  - a) fortlaufende Messung der Pressrestlänge (5) als Länge eines Pressrests (4) der hergestellten Gussteile (3);
  - 10 b) Bestimmen einer Regeldifferenz durch Vergleichen der Pressrestlänge (5) oder einer daraus abgeleiteten Größe mit einem Mittelwert eines Toleranzbereichs;
  - c) Verstellen eines das Dosiergewicht beeinflussenden Einstellparameters der Druckgießzelle in Abhängigkeit von der bestimmten Regeldifferenz derart, dass die Regeldifferenz minimiert wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das eingestellte Dosiergewicht zur Regelung der Pressrestlänge (5) nur dann nachgeführt wird, wenn eine die Regeldifferenz definierende Differenz zwischen der Pressrestlänge (5) bzw. der daraus abgeleiteten Größe und dem Mittelwert des Toleranzbereichs einen vorgegebenen Maximalwert überschreitet.
- 20 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zum Bestimmen der Regeldifferenz verwendete abgeleitete Größe durch die über mehrere Gussteile (3) gemittelte oder integrierte Pressrestlänge (5) gegeben ist.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die abgeleitete Größe durch ein Gussteilgewicht oder ein über mehrere Gussteile (3) gemitteltes oder integriertes Gussteilgewicht gegeben ist, wobei das Gussteilgewicht aus der Pressrestlänge (5) und vorgegebenen Parametern berechnet wird.
- 30 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zur Bestimmung der abgeleiteten Größe gebildeter Mittelwert (10) oder gebildetes Integral fortlaufend über alle Gussteile (3) oder jeweils über eine vorgegebene Anzahl von zuvor hergestellten Gussteilen (3) berechnet wird.
- 35 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Berechnung des Mittelwerts (10) oder Integrals außerhalb eines vorgegebenen Intervalls liegende Werte des Pressrests bzw. der davon abgeleiteten Größe nicht berücksichtigt werden.
- 40 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einstellung des Einstellparameters auf einer Auswertung einer Kombination von gemessenen Pressrestlängen (5) und weiteren Prozessdaten basiert.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einstellparameter ein durch einen Dosiervorgang in einem Dosierofen definiertes Druck-Zeit-Integral ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dadurch automatisch eine Dosiermengenänderung kompensiert wird, die sich aus einer vorgegebenen systematischen Dosierkorrektur ergibt.
- 45 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die systematische Dosierkorrektur durch eine Ofenreinigung oder durch ein Nachfüllen von Schmelze vorgenommen wird.
- 50 11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, umfassend die Druckgießzelle mit der Gießform (1), eine Presse zum Einpressen des Metalls in die Gießform (1) und eine Dosiervorrichtung (8) zum Einfüllen der über das Dosiergewicht bestimmten Menge Metalls in die Presse, ferner umfassend eine Messeinheit (6) und eine Regelungseinheit (7), wobei die Messeinheit (6) dazu ausgebildet ist, fortlaufend die Länge des Pressrests (4) zu vermessen und diese an die Regelungseinheit (7) zu übermitteln und wobei die Regelungseinheit (7) ausgebildet ist zum Bestimmen der Regeldifferenz durch Vergleichen der Pressrestlänge (5) oder einer daraus abgeleiteten Größe mit dem Mittelwert eines Toleranzbereichs und zum Verstellen eines das Dosiergewicht beeinflussenden Einstellparameters der Druckgießzelle in Abhängigkeit von der bestimmten Regeldifferenz derart, dass die Regeldifferenz minimiert wird.
- 55 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dosiervorrichtung (8) ein Dosierofen oder ein

Löffelsystem ist.

- 5      **13.** Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelungseinheit (7) derart ausgebildet ist, aus der Länge des Pressrests (4) und vorgegebenen Parametern das Gussteilgewicht zu berechnen, und dass das Dosiergewicht in Abhängigkeit von dem berechneten Gussteilgewicht derart durch die Regelungseinheit (7) einstellbar ist, dass das Gussteilgewicht in der Mitte eines vorgegebenen zulässigen Toleranzbereichs liegt.
- 10      **14.** Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelungseinheit (7) ausgebildet ist, aus einer Mehrzahl von Pressresten (4) oder Gussteilgewichten einen Mittelwert (10) oder ein Integral zu bilden, und dass das Dosiergewicht in Abhängigkeit von dem gebildeten Mittelwert (10) oder Integral derart durch die Regelungseinheit (7) einstellbar ist, dass der Mittelwert (10) oder das Integral der Gussteilgewichte mittig in einem vorgegebenen zulässigen Toleranzbereich liegt.
- 15      **15.** Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelungseinheit (7) einen integrierenden Regler mit einstellbarer Dämpfungskonstante zur Regelung der Dosiergewichte umfasst.

20

25

30

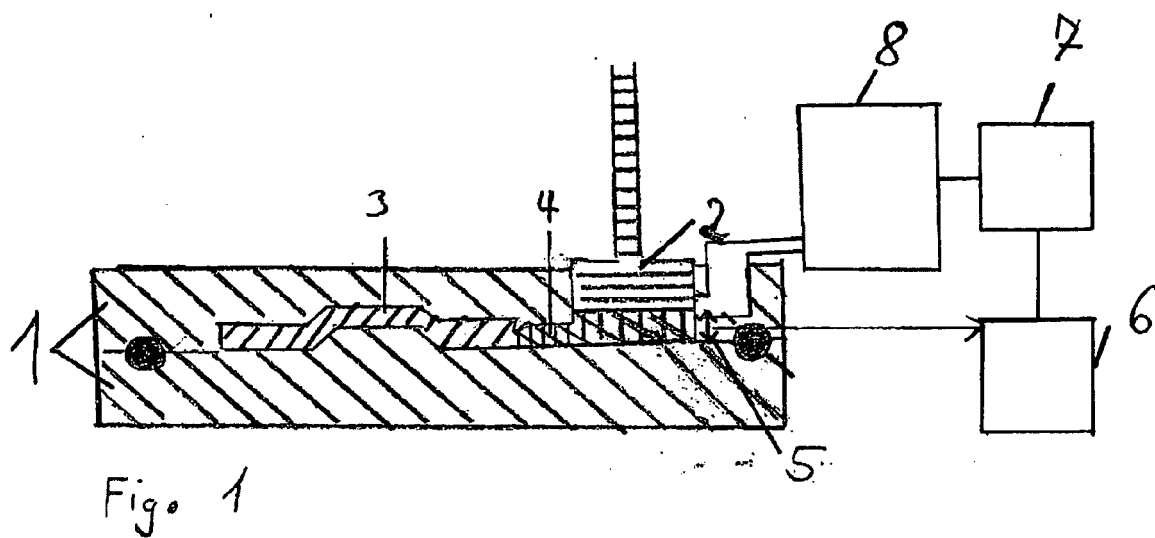
35

40

45

50

55



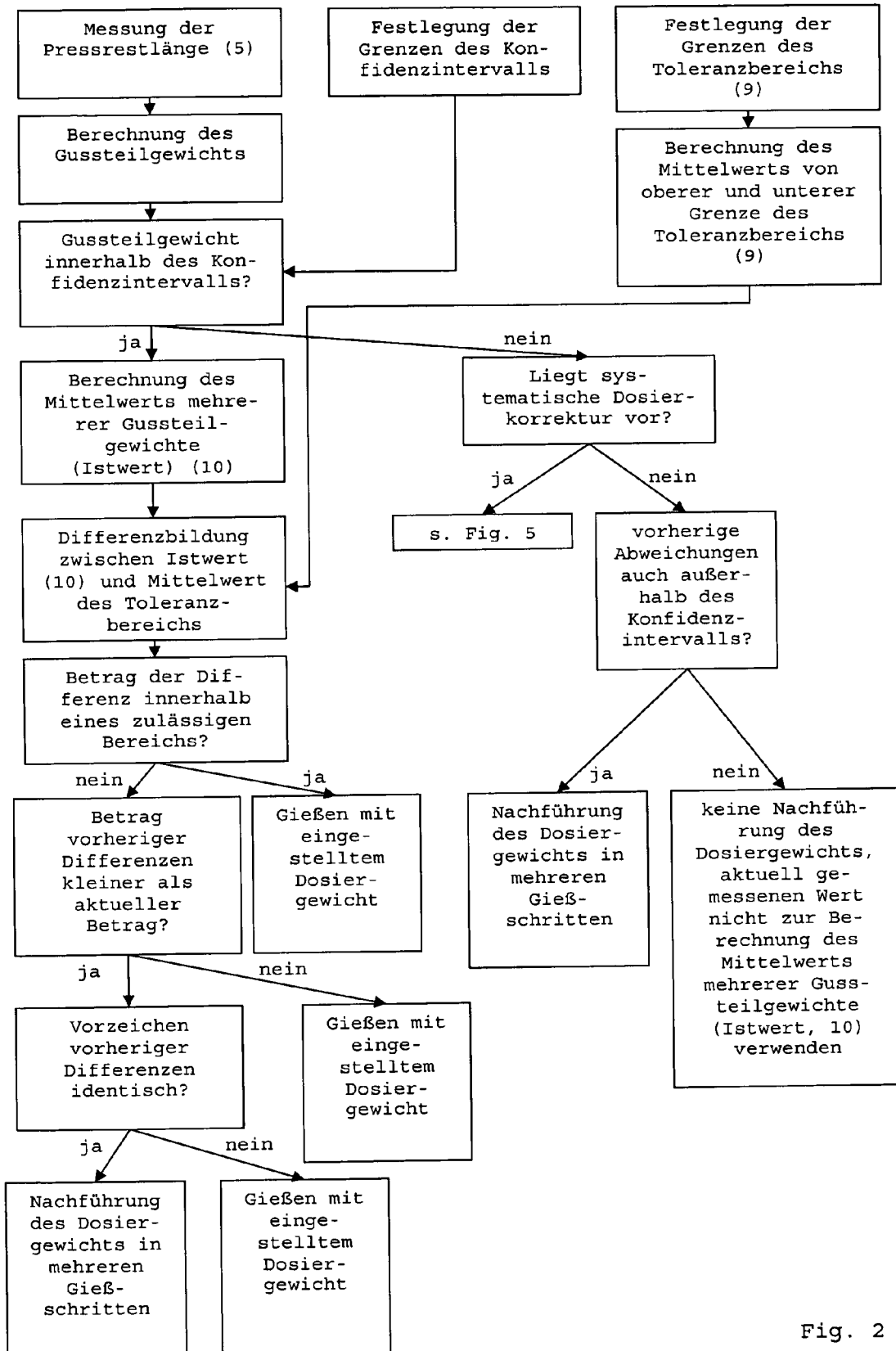


Fig. 2

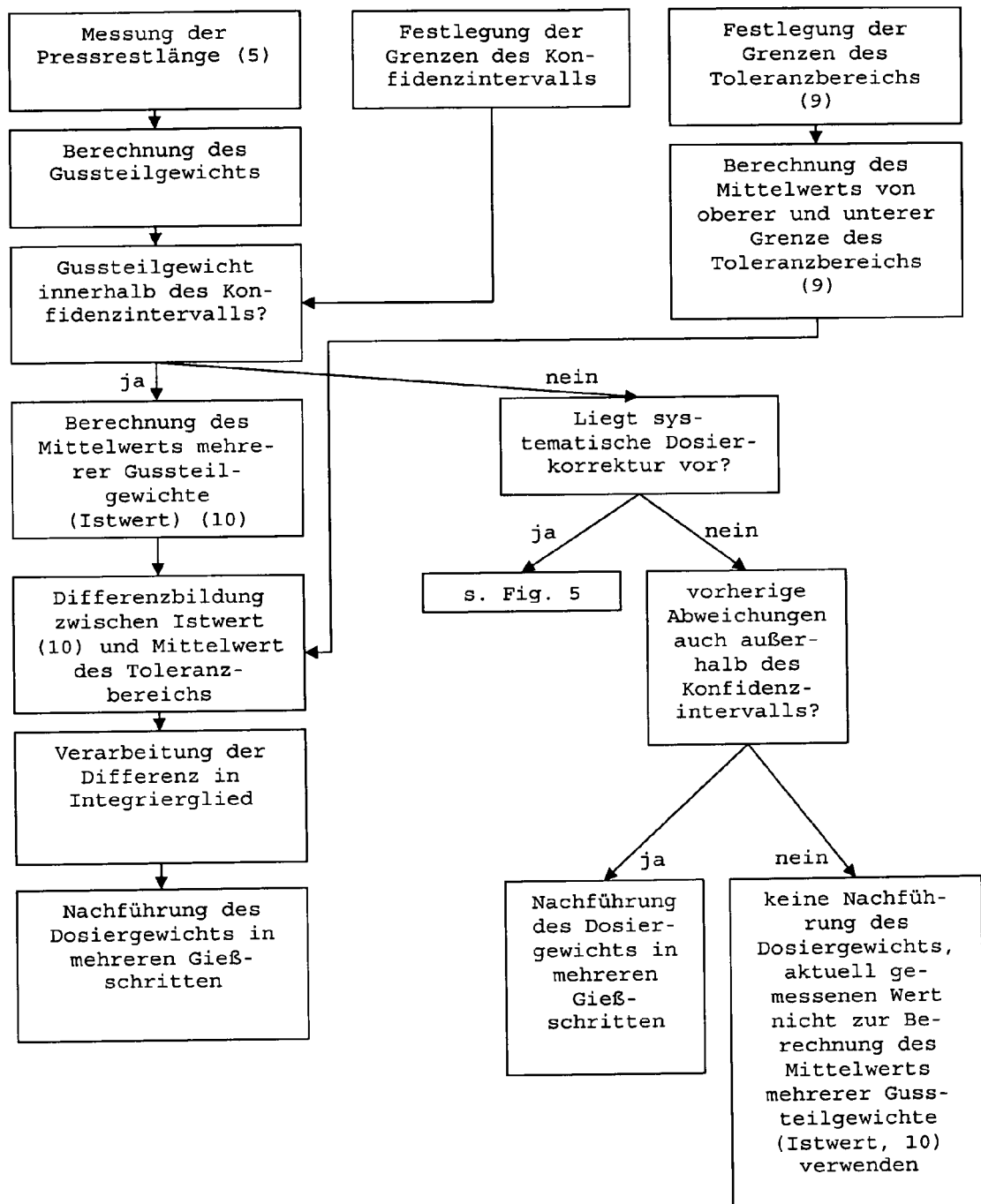


Fig. 3

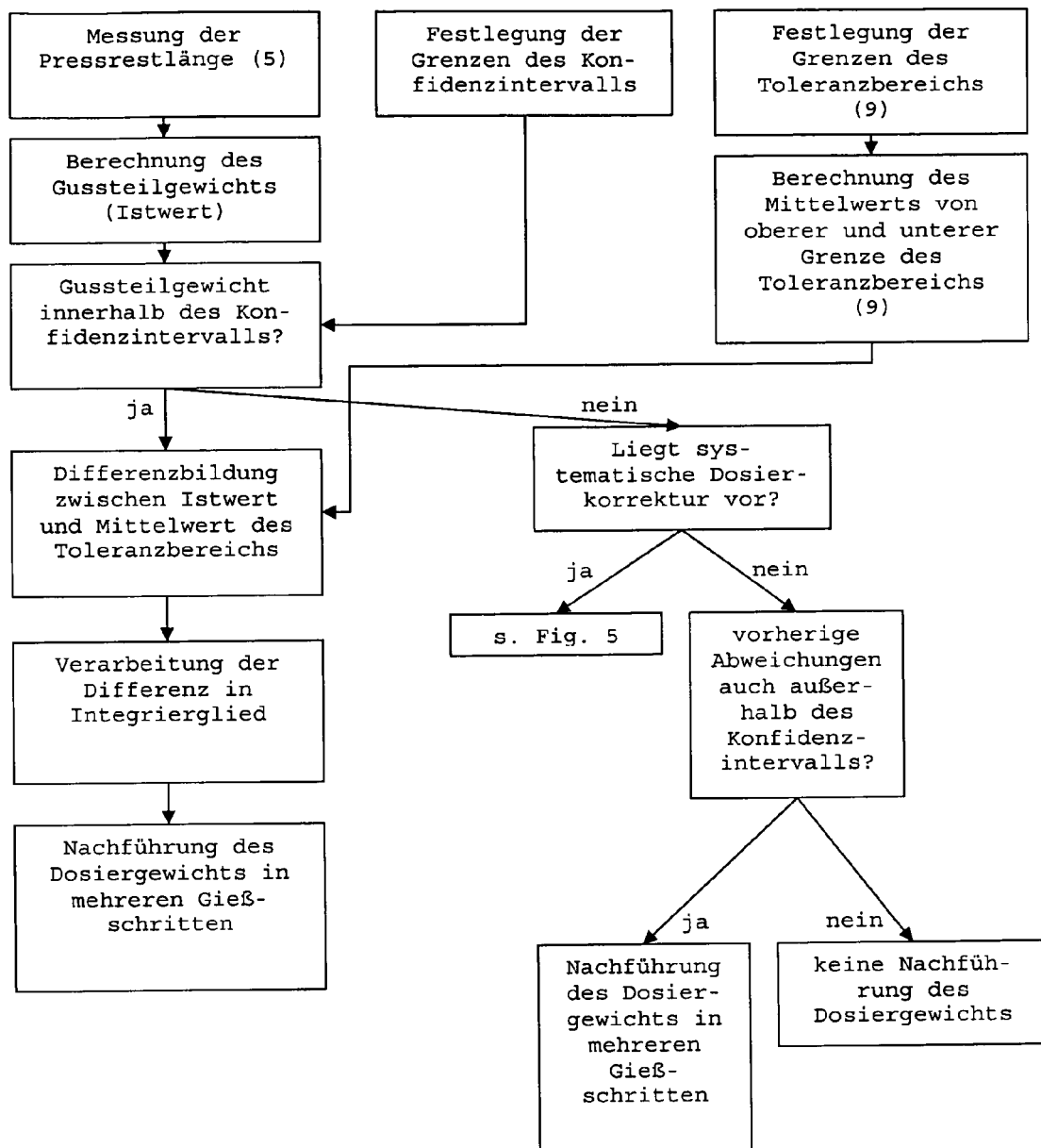


Fig. 4

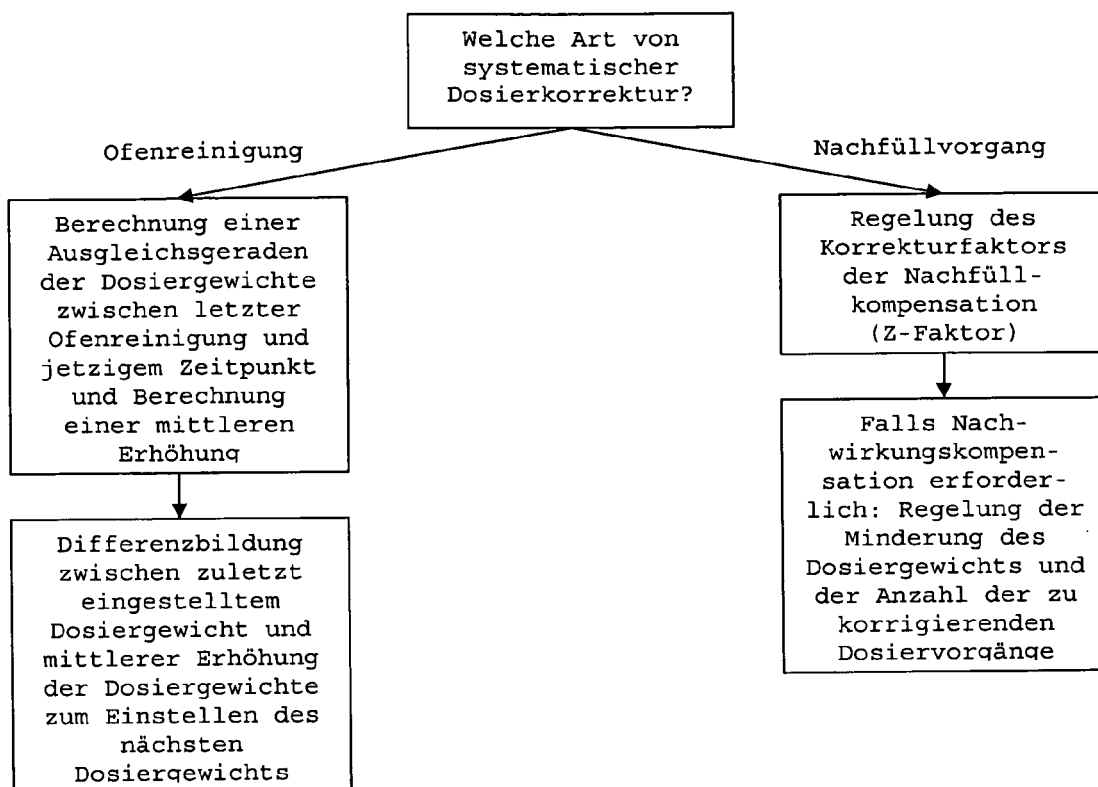
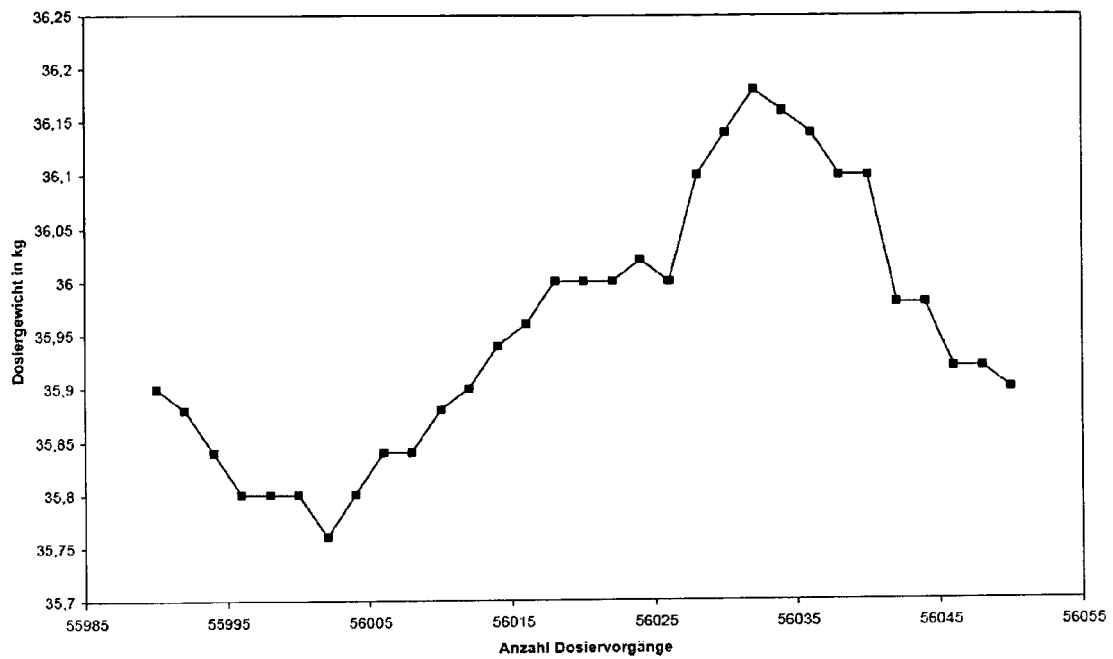
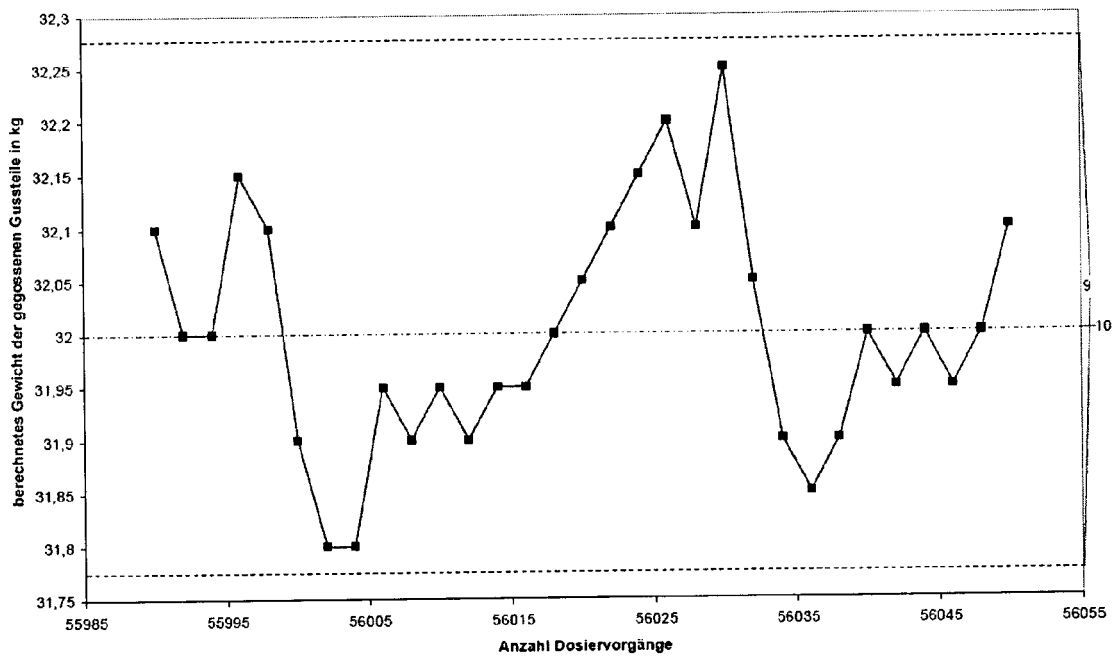


Fig. 5

a)



b)



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 4029386 A1 [0005]
- DE 4204060 C2 [0005]