

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50853/2019
(22) Anmeldetag: 08.10.2019
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2022

(51) Int. Cl.: **B29C 45/77** (2006.01)
B29C 45/76 (2006.01)

(30) Priorität:
05.04.2019 DE 102019108997.2 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:
Clemens Kastner, Georg Steinbichler:
Development of measurement method for
determination of dynamic solubility limits
in injection foam molding. Cite as: AIP Conference
Proceedings 2065, 030048 (2019);
<https://doi.org/10.1063/1.5088306> Published
Online: 06 February 2019
AT 517128 A1
Endlweber, R.; Markut-Kohl, R.; Giessauf, J.;
Steinbichler, G.: Das MuCell-Schaumspritzgießen:
Kleine Zellen, große Wirkung. Kunststoffe 103
(2013) 11, S. 36-40

(73) Patentinhaber:
ENGEL AUSTRIA GmbH
4311 Schwertberg (AT)

(72) Erfinder:
Kastner Clemens Dipl.Ing.
4040 Linz (AT)

(74) Vertreter:
Robl Florian Mag. PhD
Maschler Christoph MMag. Dr.
Lercher Almar Dipl. Phys. Dr.
Hofinger Stephan Dipl.Ing. Dr.
Hechenleitner Bernhard Dipl.Ing. (FH) Dr.
Gangl Markus Mag. Dr.
6020 Innsbruck (AT)

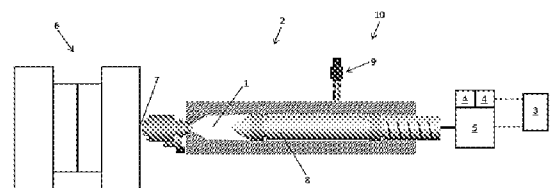
(54) Verfahren zum Bestimmen eines Soll-Werts einer Zustandsgröße

(57) Verfahren zum Bestimmen eines Soll-Werts einer Zustandsgröße – insbesondere eines Staudrucks (MPP) – einer für einen Formgebungsprozess bestimmten Mischung (1) aus einer Formmasse und einem Gas, wobei

- die Mischung (1) aus der Formmasse und dem Gas bei unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße bereitgestellt wird,
- die bei den unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegende Mischung (1) jeweils zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert wird,
- bei der Komprimierung oder Dekomprimierung jeweils zumindest die Zustandsgröße der Mischung (1) und/oder zumindest eine weitere Zustandsgröße der Mischung (1) direkt oder indirekt gemessen wird,
- aus Messwerten der Zustandsgröße und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße Bestimmungswerte einer für das Kompressionsverhalten der Mischung (1) charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße bestimmt werden, und

- ein auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium überprüft wird, wodurch anhand der Testwerte und der Bestimmungswerte auf einen niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße geschlossen wird, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und dieser niedrigste oder höchste Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, als zu bestimmender Soll-Wert der Zustandsgröße verwendet wird.

Fig. 2



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft jeweils ein Verfahren und ein Computerprogrammprodukt zum Bestimmen eines Soll-Werts einer Zustandsgröße - insbesondere eines Staudrucks - einer für einen Formgebungsprozess bestimmten Mischung aus einer Formmasse und einem Gas sowie ein Formgebungsverfahren und eine Formgebungsmaschine mit einer Maschinenansteuerung.

[0002] Bekannt ist es, bei Formgebungsprozessen ein der Formmasse beigemengtes Gas zu verwenden. Beispielsweise beim von der Anmelderin unter dem Kennzeichen MuCell angebotenen Formgebungsprozess werden durch Beimengen eines Gases zu einer Kunststoffschmelze geschäumte Formteile hergestellt. Es handelt sich dabei um ein Direktbegasungsverfahren. Dabei liegt eine Mischung aus der Formmasse und dem Gas in einem Plastifizierzylinder vor, wobei von einer Plastifizierschnecke so viel Druck auf die Mischung ausgeübt werden soll, dass das Gas in der Formmasse in Lösung ist.

[0003] Wenn das Gas nicht in Lösung ist, d.h. wenn Gasblasen in der Kunststoffschmelze vorliegen, können diese Gasbläschen Blasen, Gaspolster oder Schlieren im durch das Kunststoffformgebungsverfahren erzeugten (erstarrten) Bauteil hervorrufen. Weitere Folgen können starker Verzug, d.h. starke Abweichungen von der angestrebten Bauteilgeometrie, bis hin zu explosionsartigem Platzen der angesprochenen Gaspolster sein. Diese negativen Folgen führen dazu, dass die entsprechenden Bauteile unbrauchbar sind und als Ausschuss zu deklarieren sind.

[0004] In der Praxis wird der Staudruck daher zur Sicherheit zu hoch eingestellt, was offensichtlich nachteilig ist, weil hierbei der Energieverbrauch erhöht ist (zum Erzeugen des zu hohen Drucks), der Verschleiß an allen beteiligten Bauteilen, aber insbesondere der Plastifizierschnecke, verstärkt ist, ein nur geringerer Durchsatz beim Plastifizieren erreicht wird und bei faserverstärkten Kunststoffen höherer Faserbruch auftritt.

[0005] Grundsätzlich ist bekannt, dass es einen Zusammenhang gibt zwischen dem Kompressionsmodul einerseits und der Frage, ob das Gas in der Formmasse in Lösung ist, andererseits. Wissenschaftliche Ausführungen zu derartigen Zusammenhängen finden sich im Fachartikel „Development of measurement method for determination of dynamic solubility limits in injection foam molding“ (Clemens Kastern, Georg Steinbichler, AIP Conference Proceedings 2065, 030048 (2019)). In der AT 520733 B1 wurde dieser Zusammenhang ausgenutzt, um bei einer konkreten Kunststoffschmelze zu bestimmen, ob das Gas in Lösung ist.

[0006] Aus der DE 10 2007 030 637 A1 ist außerdem eine Spezialanwendung bekannt, bei der durch Ermitteln eines Kompressionsmoduls auf ein Mengenverhältnis aus einer Pulver-Komponente und einer Binder-Komponente einer spritzgießfähigen Masse geschlossen wird.

[0007] In der AT 517128 A1 werden Kompressionsversuche verwendet, um die Auswirkungen eines Totvolumens auf das Kompressionsverhalten einer in einer Formgebungsmaschine vorliegenden Kunststoffschmelze zu erfassen.

[0008] Grundsätzliche Ausführungen zum MuCell-Schaumspritzgießen finden sich im Fachartikel „Kleine Zellen, große Wirkung“ (Endlweber, Markut-Kohl, Giessauf, Steinbichler, Kunststoffe 103 (2013) 11, Seiten 36 bis 40.

[0009] Der hier beschriebene Stand der Technik betrifft das Kunststoffspritzgießen. Ähnliche Situationen und Problematiken treten aber bei allgemeinen Formgebungsprozessen ebenfalls auf.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und ein Computerprogrammprodukt bereitzustellen, welche es erlauben, beim Durchführen des Formgebungsprozesses den Verschleiß und/oder den Energieverbrauch zu reduzieren, wobei möglichst vermieden wird, den Prozess mit nicht gelöstem Gas in der Formmasse zu betreiben.

[0011] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dies geschieht, indem

- die Mischung aus der Formmasse und dem Gas bei unterschiedlichen Testwerten der Zu-

- standsgröße bereitgestellt wird,
- die bei den unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegenden Mischung jeweils zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert wird,
 - bei der Komprimierung oder Dekomprimierung jeweils zumindest die Zustandsgröße der Mischung und/oder zumindest eine weitere Zustandsgröße der Mischung direkt oder indirekt gemessen wird,
 - aus Messwerten der Zustandsgröße und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße Bestimmungswerte einer für das Kompressionsverhalten der Mischung charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße bestimmt werden, und
 - ein auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium überprüft wird, wodurch anhand der Testwerte und der Bestimmungswerte auf einen niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße geschlossen wird, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und dieser niedrigste oder höchste Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, als zu bestimmender Soll-Wert der Zustandsgröße verwendet wird.

[0012] Hinsichtlich des Computerprogrammprodukts wird die Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 17 gelöst. Dies geschieht durch Befehle, die einen ausführenden Computer dazu veranlassen,

- zumindest eine Vorrichtung so anzusteuern, dass die bei unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegende Mischung aus der Formmasse und dem Gas bereitgestellt werden,
- die Vorrichtung so anzusteuern, dass die bei den unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegende Mischung jeweils zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert werden,
- Messwerte zumindest eines Sensors entgegenzunehmen, welcher zumindest eine Sensor bei der Komprimierung oder Dekomprimierung der Mischung jeweils die Zustandsgröße und/oder zumindest eine weitere Zustandsgröße direkt oder indirekt misst,
- aus den Messwerten Bestimmungswerte einer für ein Kompressionsverhalten der Mischung charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße zu bestimmen, und
- ein auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium zu überprüfen, wodurch anhand der Testwerte und der Bestimmungswerte auf einen niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße geschlossen wird, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und diesen niedrigsten Staudruck, bei dem das Gas in Lösung ist, als zu bestimmenden Staudruck auszugeben.

[0013] Die hier angesprochene Vorrichtung kann eine dedizierte Vorrichtung zum Durchführen eines Verfahrens nach Anspruch 1 sein. Bevorzugt kann aber eine Ausführungsform sein, wobei als Vorrichtung eine Formgebungsmaschine verwendet wird, die auch zum Durchführen des Formgebungsprozesses vorgesehen ist.

[0014] Der ausführende Computer kann eine Maschinenansteuereinheit der Formgebungsmaschine sein.

[0015] Für die Zwecke des vorliegenden Dokuments werden die Ausdrücke „Formgebungsprozess“ und „Formgebungsverfahren“ austauschbar verwendet.

[0016] Die Mischung gemäß der Erfindung ist als zumindest eine Mischung zu verstehen. Das heißt, es kann eine einzige Mischung bei verschiedenen Testwerten der Zustandsgröße verwendet werden oder es können verschiedene Mischungen bei verschiedenen Testwerten der Zustandsgröße bereitgestellt werden. Korrekterweise wäre zwischen der Mischung, welche für das Formgebungsverfahren bestimmt ist, und der Mischung oder den Mischungen, die gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren bereitgestellt werden, zu unterscheiden. Im vorliegenden Dokument werden aber Singular und Plural der Mischung(en) austauschbar verwendet.

[0017] Schutz begehrt wird ebenfalls für ein Formgebungsverfahren, wobei ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Bestimmen des Soll-Werts der Zustandsgröße - insbesondere des Staudrucks - einer Mischung aus einer Formmasse und einem Gas durchgeführt wird und der Soll-

Wert der Zustandsgröße als vorgegebener Soll-Wert für das Formgebungsverfahren verwendet wird.

[0018] Schutz wird des Weiteren begehrt für die Verwendung einer Formgebungsmaschine mit einer Maschinenansteuereinheit zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens begehrt.

[0019] Unter Formgebungsmaschinen können dabei Spritzgießmaschinen, Spritzpressen, Pressen oder dergleichen verstanden werden. Unter Formgebungsprozessen / Formgebungsverfahren können Kunststoffformgebungsprozesse, insbesondere Spritzgießprozesse, Spritzformprozesse oder reaktive Kunststoffformgebungsprozesse, aber auch Press- und sonstige Gießvorgänge und dergleichen verstanden werden.

[0020] Die Erfindung ermöglicht es den Soll-Wert für die Zustandsgröße zu optimieren (d.h. je nach Zustandsgröße zu minimieren oder zu maximieren), wodurch sich eine Energieersparnis einstellt.

[0021] Beim Staudruck als erfindungsgemäß zu minimierende Zustandsgröße kann zusätzlich noch ein Verschleiß einer Plastifizierschnecke reduziert werden, der Durchsatz, d.h. die Plastifizierleistung, erhöht werden und bei faserverstärkten Kunststoffen kann der Faserbruch reduziert werden.

[0022] Die Erfindung kann aber auch vorteilhaft zum Optimieren einer Temperatur der Mischung als Zustandsgröße verwendet werden. Eine gegebenenfalls leicht verschlechterte Fließfähigkeit der Mischung wird dabei in vielen Fällen durch die erzielte Energieersparnis aufgewogen.

[0023] Beispielsweise bei Verwendung von Kohlendioxid als Gas sinkt die Löslichkeit mit steigender Temperatur. In einem solchen Fall könnte mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch eine erhöhte Temperatur für die Mischung gefunden werden, bei der einerseits die Lösung des Gases in der Formmasse gegeben ist und andererseits eine Verbesserung der Fließeigenschaften erzielt werden kann.

[0024] Unter „Optimieren“ (oder „Minimieren“ oder „Maximieren“) wird dabei nicht notwendigerweise das Auffinden eines tatsächlichen Optimums im mathematischen Sinn verstanden. Vielmehr geht es darum aus technischer Sicht einen verbesserten Wert für die Zustandsgröße zu finden.

[0025] Bei der Formmasse kann es sich um eine - vorzugsweise thermoplastische - Kunststoffschmelze handeln.

[0026] Die Zustandsgröße (und die weitere Zustandsgröße) der Mischung kann als thermodynamische Zustandsgröße verstanden werden. Sie betrifft aber nicht die (chemische) Zusammensetzung der Mischung.

[0027] Bei der Zustandsgröße kann es sich bevorzugt um einen Druck oder eine Temperatur handeln. Im vorliegenden Dokument wird der Ausdruck „Staudruck“ für die Zustandsgröße Druck verwendet. Obwohl dieser Ausdruck aus dem Kunststoffspritzgießen stammt, soll er hier allgemein als Druck der Mischung aus der Formmasse und dem Gas verstanden werden.

[0028] Es können aber auch abgewandelte Zustandsgrößen verwendet werden. Ein triviales Beispiel wäre der inverse Staudruck, wobei dann erfindungsgemäß ein höchster Wert für diese Zustandsgröße aufzufinden wäre, statt des geringsten Werts, wie beim Staudruck selbst als Zustandsgröße.

[0029] Als zu messende zumindest eine weitere Zustandsgröße kann bevorzugt auch das Volumen verwendet werden.

[0030] Im Rahmen der Erfindung können prinzipiell sämtliche intensive Zustandsgrößen als die Zustandsgröße oder die zumindest eine weitere Zustandsgröße verwendet werden. Denkbar ist es letztlich auch, extensive Zustandsgrößen so zu verwenden.

[0031] Das Gas für die Mischung kann insbesondere ein inertes Gas (physikalisches Schäumen)

sein, also beispielsweise molekularer Stickstoff oder Kohlendioxid.

[0032] In gewissen Anwendungsfällen kann die Erfindung aber auch mit chemischen Treibmitteln vorteilhaft eingesetzt werden. Dies gilt insbesondere bei Treibmitteln, die einerseits viel Gas freisetzen und andererseits mit hohen Konzentrationen eingesetzt werden.

[0033] Beim erfindungsgemäßen Verfahren werden für die Mischungen, die bei unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegen, Messungen während des Komprimierens oder Dekomprimierens vorgenommen und daraus die Bestimmungswerte der Kompressionsverhaltensgröße bestimmt. Dadurch entsteht eine Zuordnung zwischen den einzelnen Testwerten der Zustandsgröße (also beispielsweise verschiedene Staudrücke) und den Bestimmungswerten (beispielsweise verschiedene Werte für den Kompressionsmodul). Diese Zuordnung kann im Rahmen des Kriteriums ausgenutzt werden, um festzustellen, was der niedrigste oder höchste Wert der Zustandsgröße ist (also beispielsweise der niedrigste Staudruck), bei dem das Gas noch in Lösung ist.

[0034] Beim Schließen auf den niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, kann einer der Testwerte für die Zustandsgröße verwendet werden. Prinzipiell könnte aber auch zwischen den Testwerten interpoliert werden oder andere Methoden angewandt werden, um Zwischenwerte zwischen den Testwerten zu erreichen.

[0035] Beim Überprüfen des Kriteriums werden die Bestimmungswerte und gegebenenfalls die Testwerte verwendet, um auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse zu schließen. Das Kriterium kann insbesondere das Verhalten der Kompressionsverhaltensgröße bei verschiedenen Testwerten der Zustandsgröße berücksichtigen (also beispielsweise das Verhalten des Kompressionsmoduls bei verschiedenen Staudrücken).

[0036] Das Kriterium kann bevorzugt auf die vollständige Lösung des Gases in der Formmasse gerichtet sein. In bestimmten Situationen kann es aber ausreichend sein, wenn ein kleiner Teil des Gases nicht in Lösung ist (wenn beispielsweise die absolute oder relative Menge des nicht gelösten Gases einen Grenzwert nicht überschreitet).

[0037] Im einfachsten Fall, d.h. beispielsweise wenn die Mischung aus Formmasse und Gas recht genau bekannt ist, kann das Kriterium ein Grenzwert für die Kompressionsverhaltensgröße sein. Der niedrigste Testwert der Zustandsgröße, dessen (Bestimmungswert der) Kompressionsverhaltensgröße den Grenzwert erfüllt, könnte dann als Soll-Wert herangezogen werden.

[0038] In anderen Fällen können Kriterien verwendet werden, die ein Verhalten der Kompressionsverhaltensgröße über die verschiedenen Testwerte der Zustandsgröße hinweg beschreiben. Konkrete Beispiele für solche Kriterien werden etwas weiter unten angegeben.

[0039] Bevorzugt kann es vorgesehen sein, wenn für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Bestimmen des Soll-Werts für die Zustandsgröße eine einzige Maschine verwendet wird. Besonders bevorzugt kann es vorgesehen sein, dass diese Maschine auch jene Maschine ist, die zum Durchführen des Formgebungsprozesses vorgesehen ist.

[0040] Beispielsweise kann die Plastifiziereinheit (wird auch als Einspritzeinheit bezeichnet) einer Spritzgießmaschine verwendet werden, um den Soll-Wert für den Staudruck zu bestimmen, die Mischung aus Kunststoff und Gas unter dem Soll-Wert für den Staudruck für die Durchführung des Formgebungsverfahrens bereitstellen und in die Form eines an der Schließeinheit der Spritzgießmaschine montierten Formwerkzeugs einspritzen.

[0041] Alternativ zur Verwendung einer Einspritzeinheit kann eine in einem Zwischenspeicher (Engl.: „shot pot“) gespeicherte Kunststoffschmelze verwendet werden.

[0042] Für die Bereitstellung der Mischungen bei verschiedenen Testwerten der Zustandsgröße kann insbesondere die im Wesentlichen gleiche Mischung verwendet werden, d.h. es kann im Wesentlichen die gleiche Formmasse und im Wesentlichen das gleiche Gas, vorzugsweise im Wesentlichen im gleichen Mischungsverhältnis, verwendet werden. Abweichungen können sich natürlich aus der Messgenauigkeit, der Genauigkeit der Ansteuerung verschiedener Maschinenkomponenten oder aus Chargenschwankungen ergeben.

[0043] Bevorzugt kann es vorgesehen sein, dass das erfindungsgemäße Verfahren an nacheinander - vorzugsweise mittels derselben Maschine - bereitgestellten Mischungen durchgeführt wird. Theoretisch denkbar wäre es natürlich auch, die Mischungen an verschiedenen Maschinen bereitzustellen und das erfindungsgemäße Verfahren verteilt an verschiedenen Maschinen durchzuführen. Anders ausgedrückt, gibt es keine von vornherein festgelegte Verfahrensabfolge über jene hinaus, die sich durch die Logik ergibt.

[0044] Ein Beispiel für eine bevorzugte zeitliche Abfolge könnte wie folgt aussehen.

- (i) ein erster Testwert für die Zustandsgröße wird gewählt,
- (ii) eine Mischung aus der Formmasse und dem Gas wird bereitgestellt,
- (iii) die Mischung wird zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert,
- (iv) bei der Komprimierung oder Dekomprimierung wird die Zustandsgröße und/oder die zumindest eine weitere Zustandsgröße der Mischung gemessen,
- (v) aus Messwerten der Zustandsgröße und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße wird ein erster Bestimmungswert des für das Kompressionsverhalten der Mischung charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße bestimmt,
- (vi) ein zweiter, vom ersten Testwert abweichender Testwert für die Zustandsgröße wird gewählt und die Schritte (ii) bis (v) werden mit dem zweiten Testwert wiederholt, sodass ein zweiter Bestimmungswert der für das Kompressionsverhalten der Mischung charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße vorliegt,
- (vii) unter Wahl weiterer, vom ersten und zweiten Staudruckwert abweichender Testwerte werden die Schritte (ii) bis (v) wiederholt, sodass weitere Bestimmungswerte der für das Kompressionsverhalten der Mischung charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße vorliegen,
- (viii) nach jedem Durchführen oder am Ende des Verfahrens wird das Kriterium und anhand des Ergebnisses/der Ergebnisse der Soll-Wert für die Zustandsgröße bestimmt.

[0045] Die Kompressionsverhaltensgröße kann selbstverständlich auch das Verhalten der Mischung beim Dekomprimieren beschreiben, falls dies für gewisse Materialien einen Unterschied macht.

[0046] Die Komprimierung oder die Dekomprimierung der Mischung für einen Testwert der Zustandsgröße sowie das Messen der Zustandsgröße und/oder der weiteren Zustandsgröße (also bspw. die obigen Schritte (iii) und (iv)) kann dabei mehrere Male durchgeführt werden. Die aus diesen Messwerten bestimmten Bestimmungswerte für die Kompressionsverhaltensgröße können, bspw. im Rahmen einer Mittelwert-Bildung oder Median-Bildung, gemittelt werden, um ein Einschwingen des Prozesses zu ermöglichen und die Messgenauigkeit der Bestimmungswerte zu erhöhen.

[0047] Bei diesen Wiederholungen können auch weitere Parameter, wie beispielsweise eine Anpassung einer Dosiergeschwindigkeit, durchgeführt werden, um beispielsweise bei geringeren Drücken eine gleiche Dosierzeit zu erreichen.

[0048] Bei einer Ausführung mit Plastifizierschnecke kann unter der Dosiergeschwindigkeit eine Rotationsgeschwindigkeit der Schnecke (welche die Umfangsgeschwindigkeit der Schnecke bestimmt) verstanden werden.

[0049] Bei niedrigerem Staudruck kann nämlich auch bei langsamer drehender Plastifizierschnecke die gleiche (oder ähnliche) Plastifizierleistung an der Mischung erbracht werden, wodurch auch bei einem geringeren Staudruck sich die Dosierzeit nicht verlängern muss.

[0050] Die Dosierzeit kann als jene Zeit verstanden werden, um die (gewünschte Menge der) Mischung bereitzustellen.

[0051] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindungen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0052] Dass die Zustandsgröße, für die der Soll-Wert bestimmt werden soll, ein Staudruck sein kann, wurde bereits angesprochen.

[0053] Das erfindungsgemäße Verfahren kann in einer solchen Ausführung folgende Schritte umfassen:

- unter unterschiedlichen Staudrücken stehende Mischungen aus der Formmasse und dem Gas werden bereitgestellt,
- die unter den unterschiedlichen Staudrücken stehenden Mischungen werden jeweils zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert,
- bei der Komprimierung oder Dekomprimierung wird jeweils der Staudruck und/oder die zumindest eine weitere Zustandsgröße der Mischung direkt oder indirekt gemessen,
- aus Messwerten des Staudrucks und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße werden Bestimmungswerte einer für das Kompressionsverhalten der Mischungen charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße bestimmt, und
- ein auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium wird überprüft, wodurch anhand der Staudrücke und der Bestimmungswerte auf einen niedrigsten Staudruck geschlossen wird, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und dieser niedrigste Staudruck, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, wird als zu bestimmender Soll-Wert des Staudrucks verwendet.

[0054] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren könnte aber ebenso ein Soll-Wert für eine Temperatur der Mischung aus der Formmasse und dem Gas bestimmt werden, da auch bei zu geringer Temperatur ein Ausfallen (oder Nicht-in-Lösung-Gehen) des Gases in der Formmasse passieren kann.

[0055] Die Testwerte der Zustandsgröße können beim Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischungen gesteuert oder geregelt vorgegeben werden und/oder gemessen werden. Anders ausgedrückt, können als Testwerte Ansteuerwerte für Aktuatoren und andere ansteuerbare Elemente (bspw. Heizelemente) verwendet werden, welche beim Bereitstellen der Mischung durch eine Maschine anfallen. Natürlich können auch gemessene Werte als Testwerte verwendet werden, die beispielsweise im Rahmen einer Regelung der Aktuatoren oder der anderen ansteuerbaren Elemente gemessen werden. Ebenso sind Kombinationen aus gemessenen Werten und Ansteuerwerten verwendbar.

[0056] Aus den Messwerten der Zustandsgröße und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße beim Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischung kann eine Druckänderung, insbesondere eine Druckerhöhung, und/oder eine Volumenveränderung, insbesondere Volumenverringerng, der Mischungen berechnet werden und die Ergebnisse dieser Berechnung zur Bestimmung (insbesondere Berechnung) der Bestimmungswerte der Kompressionsverhaltensgröße verwendet werden.

[0057] Anders ausgedrückt, können für die Messung der Kompressionsverhaltensgröße zum Erhalten der Messwerte Sensoren, insbesondere Drucksensoren, verwendet werden.

[0058] Beim speziellen Beispiel einer Plastifiziereinheit für eine Spritzgießmaschine, welche mit einer in einem Plastifizierzylinder angeordneten Plastifizierschnecke (im Folgenden auch kurz als „Schnecke“ bezeichnet) ausgerüstet ist, können die Druckänderung und/oder die Volumenänderung durch eine Kraft, welche der Antrieb der Plastifizierschnecke über die Plastifizierschnecke auf die Mischung ausübt, und/oder einen Verfahrensweg der Schnecke erfasst werden. Hierfür können sowohl Ansteuerwerte für den Antrieb als auch gemessene Werte herangezogen werden (bspw. vorgegebene oder gemessene Hydraulikdrücke oder Antriebsmomente eines elektrischen Antriebs). Die Volumenänderung und Druckänderung lässt sich aus dem Verfahrensweg und der bekannten Querschnittsfläche des Plastifizierzylinders errechnen.

[0059] Während des Einspritzens der Kunststoffschmelze werden die so erfasste Kraft oder der so erfasste Druck als Einspritzkraft beziehungsweise als Einspritzdruck bezeichnet.

[0060] Als Kompressionsverhaltensgröße, deren Bestimmungswerte bestimmt werden, kann ein Kompressionsmodul und/oder eine Kompressibilität der Mischungen verwendet werden.

[0061] Auch anderen Kompressionsverhaltensgrößen sind denkbar. Wenn beispielsweise die Volumenveränderung oder die Druckveränderung (relativ oder absolut) bekannt ist, könnte auch

die Druckänderung oder die Volumenveränderung als Kompressionsverhaltensgröße herangezogen werden.

[0062] Beispielsweise könnte auch das Volumen konstant gehalten werden, wobei das Komprimieren oder Dekomprimieren durch Hinzufügen oder Entfernen einer gewissen Stoffmenge der Mischung geschehen müsste.

[0063] Das Kriterium kann so vorgegeben werden, dass bei der Bestimmung des niedrigsten oder höchsten Werts der Zustandsgröße zumindest zwei der Bestimmungswerte berücksichtigt werden. Bevorzugt können alle Bestimmungswerte und Testwerte, die bis zu einem gewissen Zeitpunkt (während der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder am Schluss) aufgenommen wurden, für das Kriterium herangezogen werden. Dies ermöglicht es, auf einfache Weise das Verhalten der Kompressionsverhaltensgröße über die verschiedenen Testwerte zu berücksichtigen.

[0064] Insbesondere könnte das Kriterium so vorgegeben werden, dass ein Kurvenfit an Wertepaare aus Bestimmungswerten und Testwerten an eine vorgegebene Kurvenart durchgeführt wird, wobei aus dem Kurvenfit eine Fitkurve erhalten wird und die vorgegebene Kurvenart vorzugsweise eine Gerade ist. Alternativ können auch andere Kurvenarten verwendet werden, die das Verhalten der Kompressionsverhaltensgröße über die verschiedenen Testwerte (ggf. besser) beschreiben.

[0065] Beispielsweise könnte beim Schließen auf den niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in Lösung ist, auf einen bestimmten der Testwerte geschlossen werden, bei dem der jeweilige Bestimmungswert und/oder der jeweilige Testwert zumindest um einen vorgegebenen absoluten oder relativen Betrag von der Fitkurve abweicht.

[0066] Das Bereitstellen der Mischungen, das Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischungen und das Messen der zumindest einen Zustandsgröße sowie vorzugsweise das Bestimmen der Bestimmungswerte können nacheinander durchgeführt werden.

[0067] Dabei kann es besonders vorteilhaft sein, wenn das Kriterium nach jedem Bestimmen eines der Bestimmungswerte überprüft wird. Sobald das Kriterium erfüllt ist, kann nämlich das Verfahren beendet werden, was eine besonders schnelle Durchführung des Verfahrens ermöglichen kann.

[0068] Beim aufeinanderfolgenden Bereitstellen der Mischungen können sukzessive höhere oder niedrigere Testwerte für die Bestimmungswerte verwendet werden.

[0069] Es ist zu bemerken, dass das Einbringen des Gases in die Formmasse und/oder die Kammer während eines Plastifiziervorgangs geschehen kann. Das Einbringen des Gases in die Formmasse kann durch Injektion, insbesondere mittels eines Gasinjektors, durchgeführt werden.

[0070] Das erfindungsgemäße Verfahren kann teil- oder vollautomatisiert durchgeführt werden, wofür insbesondere die Maschinenansteuereinheit der Formgebungsmaschine ausgebildet sein kann.

[0071] Falls eine Kunststoffschmelze als Formmasse verwendet wird, könnte die Überprüfung des auf den Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichteten Kriteriums auch als die Bestimmung des Lösungszustands in der Kunststoffschmelze bezeichnet werden.

[0072] Als die Zustandsgröße kann ein auch als Staudruck bezeichneter Druck der Kunststoffschmelze verwendet werden.

[0073] Das Bereitstellen der Mischungen, d.h. der Formmasse zusammen mit dem Gas, kann in einer Kammer geschehen.

[0074] Das Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischung kann dann durch Verändern des Volumens der Kammer geschehen, wobei sich der Druck (d.h. der Staudruck) in der Kammer von einem ersten Druckwert auf einen zweiten Druckwert verändert, insbesondere erhöht.

[0075] Die Kunststoffschmelze kann dann in eine Formgebungskavität eingebracht werden.

[0076] Die Bestimmungswerte der Kompressionsverhaltensgröße können dann auch als „zumindest ein für das Kompressionsverhalten der Kunststoffschmelze charakteristischer Kompressionsparameter“, welche insbesondere der Kompressionsmodul sein kann, bezeichnet werden und sie kann aus dem ersten Druckwert und dem zweiten Druckwert berechnet werden.

[0077] Die angesprochene Überprüfung des Kriteriums kann dadurch realisiert werden, dass aus den Bestimmungswerten der Kompressionsverhaltensgröße bestimmt wird, ob das Gas in der Kunststoffschmelze im Wesentlichen vollständig gelöst ist, und/oder aus den Bestimmungswerten der Kompressionsverhaltensgröße eine Löslichkeitsgrenze des Gases in der Kunststoffschmelze bestimmt wird.

[0078] Das Schließen auf den niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und das Verwenden als zu bestimmender Soll-Wert der Zustandsgröße kann dann auch als Minimierung des Drucks / Staudrucks bezeichnet werden.

[0079] Analog kann für die Minimierung der Temperatur der Kunststoffschmelze statt dem Staudruck vorgegangen werden.

[0080] Das Minimieren des Staudrucks oder der Temperatur ist dabei als Verringern des Staudrucks oder Temperatur, sodass trotzdem noch mit der im Wesentlichen vollständigen Lösung des Gases in der Kunststoffschmelze zu rechnen ist, zu verstehen.

[0081] Der Lösungszustand, d.h. die Frage, ob oder bis zu welchem Grad das Gas vollständig in der Kunststoffschmelze gelöst ist, kann bei bekanntem Zusammenhang zwischen dem zumindest einen Kompressionsparameter und dem Lösungszustand aus dem zumindest einen Kompressionsparameter bestimmt werden. Im Sinne der Erfindung gilt die Bestimmung des Lösungszustands als Bestimmung, ob das Gas im Wesentlichen vollständig in der Kunststoffschmelze gelöst ist.

[0082] Als Löslichkeitsgrenze wird eine Menge an Gas bezeichnet, oberhalb derer keine vollständige Lösung des Gases in der Kunststoffschmelze mehr vorliegt. Die Löslichkeitsgrenze kann von weiteren Parametern, wie den verwendeten Materialien und der Temperatur abhängen. Sie kann als intensive oder extensive Größe formuliert werden.

[0083] Für die Berechnung der Bestimmungswerte der Kompressionsverhaltensgröße, insbesondere des Kompressionsmoduls, können neben einer Druckänderung für gewöhnlich auch Daten in Bezug auf Volumenänderung verwendet werden.

[0084] Wie bereits erwähnt, kann vorgesehen sein, dass eine Einspritzeinheit mit einer in einem Plastifizierzylinder angeordneten Plastifizierschnecke verwendet wird, wobei die Plastifizierschnecke zum Plastifizieren des Kunststoffs rotierend bewegt wird und zum Einspritzen axial bewegt wird. Natürlich kann sich durch Ansammlung von Kunststoffschmelze im Schneckenorraum auch beim Plastifizieren eine axiale Bewegung der Plastifizierschnecke ergeben. Auch eine rotierende Bewegung während des Einspritzens ist möglich. In den meisten Fällen besitzen Spritzgießmaschinen Einspritzeinheiten mit Plastifizierzylinder und Plastifizierschnecke, sodass in dieser vorteilhaften Ausführung keine größeren baulichen Veränderungen durchgeführt werden müssen, um das erfindungsgemäße Verfahren zu realisieren.

[0085] Ähnliche Vorteile hinsichtlich einer einfachen Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens können sich durch die Verwendung eines Schneckenorraums in einem Plastifizierzylinder als Kammer, in der die Mischungen bereitgestellt werden, ergeben.

[0086] Ebenfalls einer einfachen Verfahrensausgestaltung zuträglich kann in bevorzugten Ausführungsformen sein, dass die Kammer formkavitätsseitig durch eine Absperrvorrichtung, vorzugsweise in Form einer Nadelverschlussdüse, begrenzt wird und/oder dass die Kammer an ihrer von der Formgebungskavität abgewandten Seite durch eine Plastifizierschnecke oder einen Einspritzkolben begrenzt wird.

[0087] Alternativ kann eine separate Kammer für das Bereitstellen der Mischungen verwendet werden, die beispielsweise durch eine oder mehrere Absperrvorrichtungen begrenzt wird.

[0088] Es kann vorgesehen sein, dass das Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischungen als Teil eines Einspritzvorgangs durchgeführt wird. Beispielsweise kann ein Vorschub einer Plastifizierschnecke zum Einspritzen in einem Spritzgießprozess zum Komprimieren der Mischungen verwendet werden. Dadurch ergibt sich ein Zeitersparnis, weil das Komprimieren der Mischungen nicht separat durchgeführt werden muss.

[0089] Die Erfindung kann aber auch ohne Einspritzen der Mischung nach jedem Komprimieren oder Dekomprimieren erfolgen.

[0090] Wie bereits erwähnt, können die Mischungen bei verschiedenen Testwerten der Zustandsgröße durch ein und dieselbe Mischung realisiert werden, bei der lediglich die Zustandsgröße verändert wird, oder es werden für jeden Testwert neue Mischungen bereitgestellt. In letzterem Fall sind die Mischungsverhältnisse zwischen der Formmasse und dem Gas (d.h. insbesondere die Konzentration des Gases in der Formmasse) im Wesentlichen, d.h. im Rahmen der Ansteuer- und/oder Messgenauigkeit, gleich.

[0091] In einer besonders einfachen Ausführungsform kann eine Bestimmung einer Volumenveränderung der Kammer mittels einer Bestimmung eines Plastifizierschneckenwegs durchgeführt werden.

[0092] Besonders bevorzugt kann es vorgesehen sein, dass die Testwerte für die Zustandsgröße - insbesondere die Staudrücke - zumindest teilweise so hoch gewählt werden, dass mit der vollständigen Lösung des Gases in der Formmasse zu rechnen ist. Insbesondere, wenn die Testwerte von einem hohen, auf Erfahrung basierenden Startwert (z.B. 200 bar) sukzessive verringert werden, kann dies ermöglichen, dass eine Annäherung an einen optimierten Soll-Wert der Zustandsgröße von einem Bereich aus erfolgt, bei dem die Lösung des Gases in der Formmasse gesichert ist.

[0093] Die Testwerte können in einem konstanten Abstand (von beispielsweise 20 bar) voneinander gewählt werden.

[0094] Während der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Bestimmen des Soll-Werts für die Zustandsgröße können andere Zustandsgrößen gesteuert oder geregelt werden - vorzugsweise so, dass diese konstant bleiben. Beispielsweise kann beim Staudruck als Zustandsgröße die Temperatur der Mischung als andere Zustandsgröße (oder umgekehrt) konstant geregelt werden, um die Vergleichbarkeit der einzelnen Bestimmungswerte zu gewährleisten.

[0095] Nach dem Komprimieren oder Dekomprimieren kann die Schmelze für einen Zeitraum unverändert belassen werden (bspw. bei konstant geregelter Zustandsgröße und/oder weiterer Zustandsgrößen), sodass sich in der Mischung ein thermischer Gleichgewichtszustand einstellt.

[0096] Die Bestimmung der Bestimmungswerte der Kompressionsverhaltensgröße, insbesondere des Kompressionsmoduls, kann automatisiert erfolgen. Insbesondere kann bspw. nach dem Start eines Programms zur Erfassung des Kompressionsmoduls eine Verzögerung der Öffnung der Verschlussdüse aktiviert werden.

[0097] Dann kann beispielsweise eine Volumenänderung ΔV und Druckänderung Δp von der Formgebungsmaschine automatisch über das maschineninterne Prozessdatenerfassungssystem ermittelt werden. Danach kann zum Beispiel der Kompressionsmodul K via die Gleichung $K = V_0 \Delta p / \Delta V$ (mit V_0 dem Volumen vor der Kompression) automatisch nach jedem Schuss bestimmt, gespeichert und gegebenenfalls ausgegeben werden.

[0098] Durch die Realisierung der hier beschriebenen Punkte - insbesondere der automatisierten Implementierung - können dem Bediener viele Entscheidungen abgenommen und die Produktion deutlich vereinfacht sowie sparsamer gestaltet werden. Durch die Automatisierung kann dem Bediener außerdem die händische Durchführung abgenommen werden.

[0099] Unter Injizieren von Gas und Einbringen von Gas wird dasselbe verstanden, d.h. diese Ausdrücke werden austauschbar verwendet.

[00100] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung sind aus den Figuren und der dazugehörigen Figurenbeschreibung ersichtlich. Es zeigen:

- [00101]** Fig. 1 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Löslichkeitsgrenze einer Mischung aus einer Formmasse und einem Gas,
- [00102]** Fig. 2 eine Ausführungsform einer Spritzgießmaschine zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [00103]** Fig. 3a bis 3c Diagramme zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Löslichkeitsgrenze vom Staudruck sowie
- [00104]** Fig. 4a bis 4f Diagramme zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[00105] Fig. 1 zeigt ein Diagramm, worin der Kompressionsmodul K einer Mischung 1 einer Formmasse - insbesondere eines plastifizierten thermoplastischen Kunststoffes - gegen die Menge der Gasbeladung aufgetragen ist. Erkennbar ist ein charakteristischer starker Abfall des Kompressionsmoduls K ab einer gewissen Gasbeladung. Der Beginn des Abfalls, welcher durch eine vertikale Linie markiert ist, zeigt jenen Punkt an, von dem ab die Menge des Gases im Kunststoff so groß ist, dass nicht mehr die gesamte Gasmenge im Kunststoff in Lösung ist, sondern als Bläschen ausfällt und daher als zweite Phase vorliegt. Dieser mit der vertikalen Linie markierte Punkt wird als Löslichkeitsgrenze bezeichnet.

[00106] Ein grundlegender Aspekt der vorliegenden Erfindung ist, dass die genaue Lage der Löslichkeitsgrenze vom thermodynamischen Zustand der Mischung 1 aus Formmasse und Gas abhängt.

[00107] Für einen Formgebungsprozess, bei welchem die Mischung 1 eingesetzt werden soll, bedeutet das, dass die Zustandsgrößen, welche den thermodynamischen Zustand der Mischung 1 beschreiben, innerhalb eines gewissen Bereichs liegen müssen. Andernfalls ist das Gas in der Formmasse nicht in Lösung, was den Formgebungsprozess negativ beeinträchtigt.

[00108] Bevor Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens erklärt werden, folgt eine Beschreibung einer bevorzugt zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Vorrichtung / Maschine, nämlich eine Formgebungsmaschine 2 in Form einer Spritzgießmaschine, welche in Fig. 2 schematisch dargestellt ist.

[00109] In Fig. 2 ist eine Formgebungsmaschine 2 - in diesem Fall eine Spritzgießmaschine - dargestellt. Sie verfügt über eine Einspritzeinheit 10 zum Herstellen einer Kunststoffschmelze durch Plastifizieren eines Kunststoffes (meist als Granulat vorliegend).

[00110] Für dieses Plastifizieren ist eine Plastifizierschnecke 8 in einem Plastifizierzylinder angeordnet. Durch Rotieren der Plastifizierschnecke 8 (Scherwärme) und Erhitzen des Plastifizierzylinders wird der Kunststoff aufgeschmolzen und liegt dann als Kunststoffschmelze im Schneckenraum im Plastifizierzylinder vor. Dieser Vorgang des Herstellens der Kunststoffschmelze wird auch als „Dosieren“ bezeichnet.

[00111] Die Plastifizierschnecke 8 kann außerdem axial bewegt werden. Insbesondere kann die Kunststoffschmelze durch Vorschub der Plastifizierschnecke 8 in eine nicht separat dargestellte Formgebungskavität eingespritzt werden.

[00112] Außerdem ist eine Schließeinheit 6 vorhanden, die über zwei Aufspannplatten auf ein daran zu montierendes Formwerkzeug eine Schließkraft zum Zuhalten (wird auch als Formklemmen bezeichnet) des Formwerkzeugs verfügt. Die Formgebungskavität wird im dargestellten geschlossenen Zustand durch das Formwerkzeug in seinem Inneren gebildet.

[00113] Nur schematisch sind der Antrieb 5 für die rotierende und axiale Bewegung der Plastifizierschnecke 8 und eine Maschinenansteuerung 3 dargestellt.

[00114] Zum Einbringen des Gases in die Kunststoffschmelze ist ein Gasinjektor 9 vorgesehen.

[00115] Der Gasinjektor 9 ist in diesem Ausführungsbeispiel überlappend mit einem Mischteil der

Plastifizierschnecke 8 angeordnet.

[00116] Durch Injizieren des Gases in die Kunststoffschmelze wird im Schneckenorraum (Kammer) die Mischung 1 aus der Formmasse und dem Gas hergestellt.

[00117] Zwischen dem Plastifizierzylinder und der Formgebungskavität ist eine Absperrvorrichtung 7, welche zum Beispiel als Nadelverschlussdüse ausgebildet sein kann, angeordnet.

[00118] Die Absperrvorrichtung 7 dient zum Absperrn des Flusses der Kunststoffschmelze in die Formgebungskavität hinein. Dadurch kann der Schneckenorraum eine geschlossene Kammer bilden, in welcher die Mischung 1 eingeschlossen werden kann.

[00119] Durch axiale Bewegung der Plastifizierschnecke 8 ist das Volumen der so gebildeten Kammer veränderbar.

[00120] Schematisch dargestellt sind zwei Sensoren 4, die zur Erfassung der auf die Mischung 1 ausgeübten Kraft und der axialen Position (Verfahrweg) der Plastifizierschnecke 8 vorgesehen sind. Der Sensor 4 für die Erfassung der Kraft könnte beispielsweise einen Hydraulikdruck in einem den Schneckenanschub antreibenden Hydraulikzylinder (als Teil des Antriebs 5) oder ein Drehmoment einer den Schneckenanschub antreibenden elektrischen Maschine (als Teil des Antriebs 5) messen. Durch die Sensoren 4 können dadurch indirekt der Staudruck MPP und (über die bekannte Geometrie des Plastifizierzylinders und der Plastifizierschnecke 8) das Volumen der im Schneckenorraum vorliegenden Mischung 1 gemessen werden.

[00121] Selbstverständlich könnte beispielsweise der Staudruck MPP auch direkt über einen Drucksensor am Schneckenorraum gemessen werden.

[00122] Die Bezeichnung MPP stammt aus der Abkürzung für „MuCell Process Pressure“ für den Staudruck beim MuCell-Verfahren.

[00123] Die Maschinenansteuervorrichtung 3 ist signaltechnisch mit dem Antrieb 5 der Plastifizierschnecke 8 und den Sensoren 4 verbunden. Die Maschinenansteuervorrichtung kann direkt an der Maschine angeordnet sein oder über eine Datenübertragungsverbindung fern von der Maschine angeordnet sein.

[00124] Nachfolgend sei die das Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischung 1 unter Verwendung der in Fig. 2 dargestellten Spritzgießmaschine sowie das Bestimmen eines Bestimmungswerts der Kompressionsverhaltensgröße (hier: Kompressionsmodul K) beschrieben.

[00125] Nach diesem Dosieren steht die gasbeladene Kunststoffschmelze, d.h. die Mischung unter Staudruck MPP, wobei der Wert des Staudrucks MPP einen der Testwerte darstellt. Daraufhin wird der Komprimiervorgang durch den Vorschub der Plastifizierschnecke 8 eingeleitet, wobei die Absperrvorrichtung 7 vorerst weiter geschlossen bleibt. Der Schneckenanschub wird druckgeregelt weitergeführt, bis ein vorherbestimmter erhöhter Druck erreicht wird. Der erhöhte Druck kann ein um eine vorgegebene Druckdifferenz Δp erhöhter Wert des Testwerts des Staudrucks MPP sein. Die vorgegebene Druckdifferenz Δp kann beispielsweise 400 bar betragen.

[00126] Durch die Erfassung des von der Plastifizierschnecke 8 zurückgelegten Wegs (Schneckenweg) von einem Wert, der dem Volumen der Mischung 1 vor der Verkleinerung entspricht, auf einen weiteren Wert, welcher dem Volumen der Mischung 1 nach der Verkleinerung entspricht, kann die Volumenänderung ΔV erfasst werden. Der erhöhte Druck kann dabei über einen Zeitraum gehalten werden, um sicherzustellen, dass ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Der weitere Wert des Schneckenwegs wird dann natürlich nach dem Zeitraum erfasst.

[00127] Aus dem erfassten Schneckenweg kann, wie erwähnt, über den bekannten Durchmesser des Plastifizierzylinders 6 die Volumenänderung ΔV und der Druckdifferenz Δp erfasst werden. Auf ähnliche Weise kann ein Ausgangsvolumen V_0 der Mischung 1 vor Beginn der Komprimierung der Mischung 1 bestimmt werden. Aus diesen Daten kann der Kompressionsmodul K (d.h. einer der Bestimmungswerte für Kompressionsverhaltensgröße), definiert als

$$K = -V_0 \frac{\Delta p}{\Delta V},$$

berechnet werden.

[00128] Sodann könnte die Absperrvorrichtung 7 geöffnet werden und der Einspritzprozess der Mischung 1 in die Kavität könnte fortgesetzt werden. Alternativ kann die Mischung 1 im Plastifizierzylinder gehalten werden, um einen weiteren Bestimmungswert der Kompressionsverhaltensgröße bei einem weiteren Testwert des Staudrucks MPP zu erfassen.

[00129] Zum Verständnis des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Figuren 3a, 3b und 3c die Bestimmungswerte des Kompressionsmoduls K für drei verschiedene Gase (Fig. 3a und 3b: molekularer Stickstoff, Fig. 3c: Kohlendioxid) bei jeweils fixer Gaskonzentration (Fig. 3a: 1,2 %, Fig. 3b: 0,6 %, Fig. 3c: 3,5 %) über die Testwerte des Staudrucks MPP aufgetragen.

[00130] Auch in diesen Figuren zeigt sich jeweils ein charakteristischer Abfall des Kompressionsmoduls K bei fallendem Staudruck MPP. Ziel des nachfolgend beschriebenen Verfahrens ist es, einen Soll-Wert für den Staudruck ausfindig zu machen, der so niedrig wie möglich ist (um den Energieaufwand für den Prozess so gering wie möglich zu halten) und der gleichzeitig noch so groß ist, dass ein Ausfallen der Gasbeladung (Desorption des Gases von der Formmasse) keinen negativen Einfluss auf den Formgebungsprozess hat. Ein entsprechendes Verfahren wird im Folgenden in Verbindung mit den Figuren 4a bis 4f beschrieben.

[00131] Das Ausführungsbeispiel startet mit der Bestimmung eines ersten Bestimmungswerts des Kompressionsmoduls K für einen ersten Staudruck MPP, welcher einen ersten Testwert der Zustandsgröße Staudruck darstellt. Dieser erste Testwert und dieser erste Bestimmungswert sind in Fig. 4a in einem Diagramm eingezeichnet.

[00132] Der Vorgang wird wiederholt, sodass auch ein zweiter Bestimmungswert des Kompressionsmoduls K für einen zweiten Staudruck MPP (ein zweiter Testwert) vorliegt. Dies ist in Fig. 4b eingezeichnet. Aus den beiden vorliegenden Wertepaaren kann eine Fitkurve in Form einer ersten Ausgleichsgeraden AG1 bestimmt werden, welche ebenfalls in Fig. 4b eingezeichnet ist.

[00133] In einem dritten Schritt wird ein dritter Bestimmungswert des Kompressionsmoduls K für einen dritten Staudruck MPP bestimmt, was in Fig. 4c eingezeichnet ist.

[00134] Als auf den Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium wird nun überprüft, ob eine Differenz D3, welche eine Abweichung des dritten Bestimmungswerts von der Ausgleichsgeraden AG1 beim dritten Staudruck MPP ist, einen Grenzwert unterschreitet.

[00135] Der Grenzwert ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel relativ zur ersten Ausgleichsgeraden AG1 definiert, nämlich als 2 % unterhalb des Werts der Ausgleichsgeraden AG1 beim zweiten Staudruck MPP (zweiter Testwert).

[00136] D.h. es wird im Rahmen des Kriteriums überprüft, ob der dritte Bestimmungswert um mehr als 2 % unterhalb der Ausgleichsgeraden AG1 liegt oder nicht.

[00137] In Fig. 4c ist dies nicht der Fall, weshalb mittels eines weiteren Kurvenfits eine zweite Ausgleichsgerade AG2 bestimmt wird, welche ebenfalls in Fig. 4c eingezeichnet ist.

[00138] Die Vorgehensweise wird wiederholt, sodass in Fig. 4d ein vierter Bestimmungswert des Kompressionsmoduls K bei einem vierten Staudruck MPP vorliegt. Wieder wird das vorher beschriebene Kriterium überprüft, wobei die Überprüfung wieder negativ ausfällt, weil die Differenz D4 kleiner ist als 2 % des Werts der Ausgleichsgeraden AG2. Folglich wird eine dritte Ausgleichsgerade AG3 an die bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Bestimmungswerte und Testwerte gefittet.

[00139] Auch in Fig. 4e ist das Kriterium nicht erfüllt, weil der fünfte Bestimmungswert für den Staudruck MPP nicht um mehr als 2 % unterhalb der Ausgleichsgeraden AG3 liegt. Die Ausgleichsgerade AG4 wird gefittet.

[00140] Beim nächsten Schritt in Fig. 4f ist dies aber schon der Fall, d.h. die Differenz D6 des sechsten Bestimmungswerts des Kompressionsmoduls K zur Ausgleichsgeraden AG4 ist größer als 2 % des Werts der Ausgleichsgeraden AG4.

[00141] Daraus kann geschlossen werden, dass das Gas beim sechsten Staudruck MPP (also beim sechsten Testwert) nicht mehr vollständig in der Formmasse gelöst ist.

[00142] Daher wird der fünfte Staudruck MPP (fünfter Testwert) als Soll-Wert für den Staudruck MPP beim durchzuführenden Formgebungsverfahren gewählt, weil dies der niedrigste Testwert für den Staudruck MPP ist, bei dem noch von einer vollständigen Lösung des Gases in der Formmasse auszugehen ist.

[00143] Es könnte an dieser Stelle noch eine Interpolierung zwischen dem sechsten Testwert und dem fünften Testwert versucht werden, um den Staudruck noch weiter zu optimieren. Bei der hier gewählten Dichte der Testwerte für den Staudruck muss dies aber nicht absolut notwendig sein.

[00144] Ein besonders bevorzugtes, detaillierteres Ausführungsbeispiel nach dem oben beschriebenen Konzept ist im Folgenden angegeben. Die Durchführung einzelner Komprimierungen oder Dekomprimierungen und jeweilige Messung der Zustandsgröße oder der weiteren Zustandsgröße, ggf. zusammen mit einem Formgebungsprozess, werden hier als „Schüsse“ bezeichnet.

[00145] Verfahrensablauf eines bevorzugten Ausführungsbeispiels:

1. Überprüfung Realisierbarkeit:
Dosiergeschwindigkeit sollte nicht über der Hälfte der möglichen liegen (spätere Erhöhung kann notwendig sein)
2. Staudruck auf bspw. 200 bar setzen, Injektor aktivieren

Erklärung: 200 bar ist sehr hoch, garantiert daher die Lösung industriell verwendeter Gasgehälter.

Anmerkung: Der tatsächliche Staudruck kann von Vorauswahl von Material und Gasgehalt abhängig gemacht werden, d.h. er kann also auch unter 200 bar liegen. Hinterlegte Richtwerte können hierfür verwendet werden.

[00146] Ab hier wird in Schleifen gezählt

1. 10 Schüsse (bei alleiniger Änderung des MPP bei nachfolgenden Schleifen können auch 5 Schüsse ausreichend sein) ohne Änderung von sonstigen Einstellungen durchführen (Einschwingen, Anreicherung von Gas).
2. Iterative Anpassung (Erhöhung/Senkung) der Dosiergeschwindigkeit, um Dosierzeit zu halten
(im Idealfall: Dosierzeit neu = Dosierzeit kompakt; Kriterium: Zeit liegt innerhalb von 5%-Bereich um eine Ziel-Dosierzeit)
3. Weitere 5 Schüsse nach angeglicherer Dosierzeit (Prozessstabilisierung; Zeit sollte sich nicht aus dem 5%-Bereich um Ziel-Dosierzeit bewegen)
4. Messung des Kompressionsmoduls bei 10 darauffolgenden Schüssen → Mittelwertbildung
5. Vergleich der Messung mit extrapoliertem Wert der vorangegangenen Schleife bei gleichem Druck (ab 3. Schleife)
6. Senkung des MPP um 10 bar
7. Berechnung einer Ausgleichsgeraden durch bisherige Messwerte (ab 2. Schleife)
8. Wiederholung der Schritte 3-8 solange K-Modul um weniger als 1% unter der extrapolierten Ausgleichsgeraden liegt (Überprüfung des Kriteriums erst ab 3. Schleife)
9. Letzter MPP vor diesem Ausreißer entspricht mindestens notwendigem MPP

[00147] Wie bereits erwähnt, kann dieses Verfahren auch analog mit einer Temperatur der Mischung 1 als zu optimierende (d.h. zu minimierende oder maximierende) Zustandsgröße durchgeführt werden.

[00148] Diese Ausführung kann vollautomatisiert in einer zentralen Maschinen(an)steuereinheit einer Formgebungsmaschine, insbesondere Spritzgießmaschine implementiert werden. Der Bediener muss dann lediglich noch den gewünschten Gasgehalt in der Mischung vorgeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen eines Soll-Werts einer Zustandsgröße - insbesondere eines Staudrucks (MPP) - einer für einen Formgebungsprozess bestimmten Mischung (1) aus einer Formmasse und einem Gas, wobei
 - die Mischung (1) aus der Formmasse und dem Gas bei unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße bereitgestellt wird,
 - die bei den unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegende Mischung (1) jeweils zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert wird,
 - bei der Komprimierung oder Dekomprimierung jeweils zumindest die Zustandsgröße der Mischung (1) und/oder zumindest eine weitere Zustandsgröße der Mischung (1) direkt oder indirekt gemessen wird,
 - aus Messwerten der Zustandsgröße und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße Bestimmungswerte einer für das Kompressionsverhalten der Mischung (1) charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße bestimmt werden, und
 - ein auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium überprüft wird, wodurch anhand der Testwerte und der Bestimmungswerte auf einen niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße geschlossen wird, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und dieser niedrigste oder höchste Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, als zu bestimmender Soll-Wert der Zustandsgröße verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zustandsgröße ein Staudruck (MPP) der Mischung ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zustandsgröße eine Temperatur der Mischung ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Testwerte der Zustandsgröße beim Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischung (1) gesteuert oder geregelt vorgegeben werden und/oder gemessen werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Messwerten der Zustandsgröße und/oder der zumindest einen weiteren Zustandsgröße eine Druckänderung (Δp), insbesondere eine Druckerhöhung, und/oder eine Volumenveränderung (ΔV), insbesondere Volumenverringerung, der Mischung (1) berechnet und zur Bestimmung der Bestimmungswerte verwendet werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Kompressionsverhaltensgröße, deren Bestimmungswerte bestimmt werden, ein Kompressionsmodul (K) und/oder eine Kompressibilität der Mischung (1) verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kriterium so vorgegeben wird, dass bei der Bestimmung des niedrigsten oder höchsten Werts der Zustandsgröße zumindest zwei der Bestimmungswerte berücksichtigt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kriterium so vorgegeben wird, dass ein Kurvenfit an Wertepaare aus Bestimmungswerten und Testwerten an eine vorgegebene Kurvenart durchgeführt wird, wobei aus dem Kurvenfit eine Fitkurve (AG1, AG2, AG3, AG4) erhalten wird und die vorgegebene Kurvenart vorzugsweise eine Gerade ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Schließen auf den niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in Lösung ist, auf einen bestimmten der Testwerte geschlossen wird, bei dem der jeweilige Bestimmungswert und/oder der jeweilige Testwert zumindest um einen vorgegebenen absoluten oder relativen Betrag (D3, D4, D5, D6) von der Fitkurve abweicht.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bereitstellen der Mischung (1) bei verschiedenen Testwerten der Zustandsgröße, das Kom-

primieren oder Dekomprimieren der Mischung (1) und das Messen der zumindest einen Zustandsgröße sowie vorzugsweise das Bestimmen der Bestimmungswerte nacheinander durchgeführt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kriterium nach jedem Bestimmen eines der Bestimmungswerte überprüft wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim aufeinanderfolgenden Bereitstellen der Mischung (1) sukzessive höhere oder niedrigere Testwerte für die Zustandsgröße verwendet werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - als Formmasse eine Kunststoffschmelze verwendet wird,
 - als die Zustandsgröße ein Staudruck (MPP) oder eine Temperatur der Kunststoffschmelze verwendet wird,
 - die Überprüfung des auf den Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichteten Kriteriums als die Bestimmung des Lösungszustands in der Kunststoffschmelze realisiert wird,
 - die Mischung (1), d.h. die Formmasse zusammen mit dem Gas, in einer Kammer bereitgestellt wird,
 - das Komprimieren oder Dekomprimieren der Mischung (1) durch Verändern des Volumens der Kammer realisiert wird, wobei sich der Staudruck (MPP) in der Kammer von einem ersten Druckwert auf einen zweiten Druckwert verändert, insbesondere erhöht,
 - die Kunststoffschmelze in eine Formgebungskavität eingebracht wird,
 - die Bestimmungswerte der Kompressionsverhaltensgröße aus dem ersten Druckwert und dem zweiten Druckwert berechnet werden,
 - aus den Bestimmungswerten der Kompressionsverhaltensgröße bestimmt wird, ob das Gas in der Kunststoffschmelze im Wesentlichen vollständig gelöst ist, und/oder aus den Bestimmungswerten der Kompressionsverhaltensgröße eine Löslichkeitsgrenze des Gases in der Kunststoffschmelze bestimmt wird, und/oder
 - das Schließen auf den niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und das Verwenden als zu bestimmender Soll-Wert der Zustandsgröße durch Minimieren des Staudrucks (MPP) realisiert wird.
14. Formgebungsverfahren, wobei ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchgeführt wird und der Soll-Wert der Zustandsgröße als vorgegebener Soll-Wert für das Formgebungsverfahren verwendet wird.
15. Verwendung einer Formgebungsmaschine mit einer Maschinenansteuereinheit (3) zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.
16. Verwendung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maschinenansteuereinheit (3) dazu ausgebildet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 teil- oder vollautomatisiert durchzuführen.
17. Computerprogrammprodukt - insbesondere zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 - zum Bestimmen eines Soll-Werts einer Zustandsgröße einer für einen Formgebungsprozess bestimmten Mischung (1) aus einer Formmasse und einem Gas beinhaltend Befehle, die einen ausführenden Computer (3) dazu veranlassen,
 - zumindest eine Vorrichtung (2) so anzusteuern, dass die bei unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegende Mischung (1) aus der Formmasse und dem Gas bereitgestellt wird,
 - die Vorrichtung (2) so anzusteuern, dass die bei den unterschiedlichen Testwerten der Zustandsgröße vorliegenden Mischung (1) jeweils zumindest einmal komprimiert oder dekomprimiert wird,
 - Messwerte zumindest eines Sensors (4) entgegenzunehmen, welcher zumindest eine Sensor (4) bei der Komprimierung oder Dekomprimierung der Mischung (1) jeweils die Zustandsgröße und/oder zumindest eine weitere Zustandsgröße direkt oder indirekt misst,

- aus den Messwerten Bestimmungswerte einer für ein Kompressionsverhalten der Mischung charakteristischen Kompressionsverhaltensgröße zu bestimmen, und
- ein auf einen Lösungszustand des Gases in der Formmasse gerichtetes Kriterium zu überprüfen, wodurch anhand der Testwerte und der Bestimmungswerte auf einen niedrigsten oder höchsten Wert der Zustandsgröße geschlossen wird, bei dem das Gas in der Formmasse in Lösung ist, und diesen niedrigsten Staudruck, bei dem das Gas in Lösung ist, als zu bestimmenden Staudruck auszugeben.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

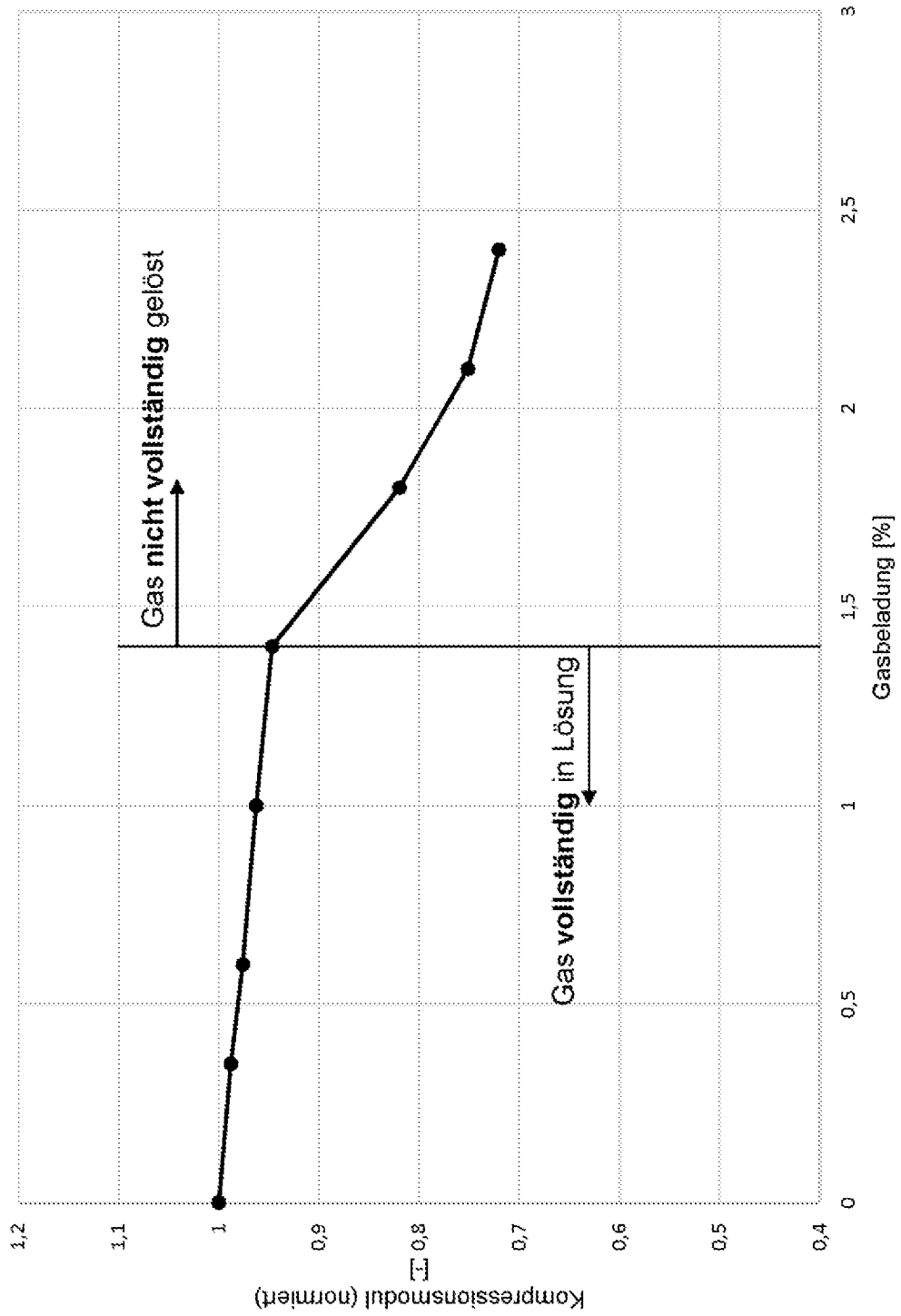


Fig. 2

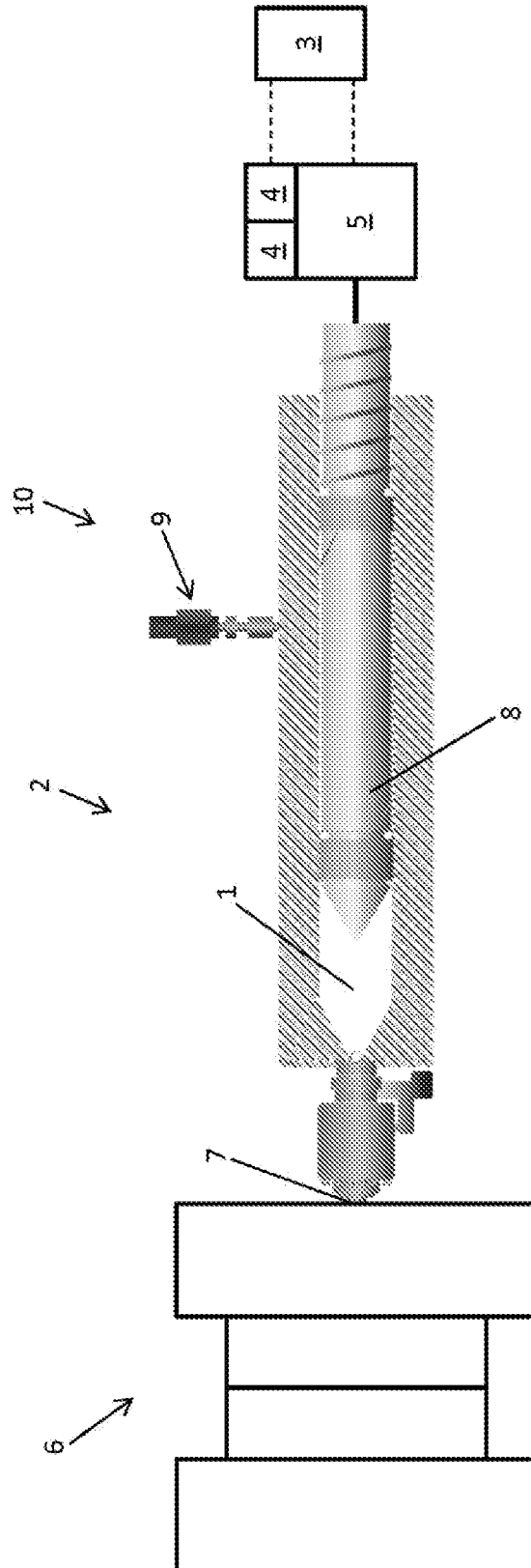


Fig. 3a

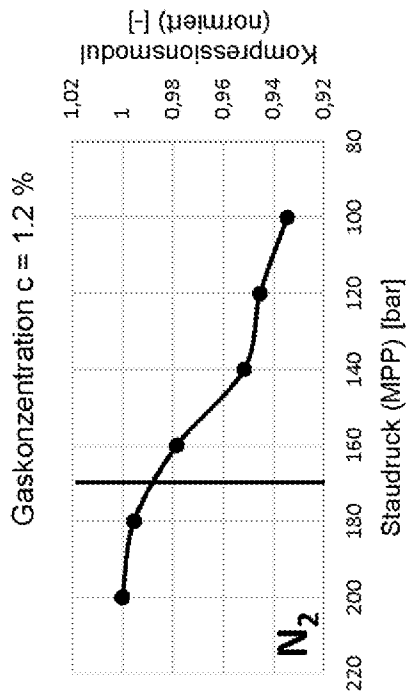


Fig. 3b

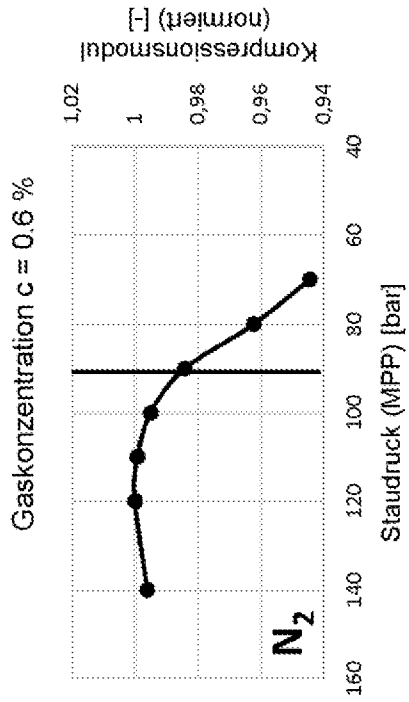


Fig. 3c

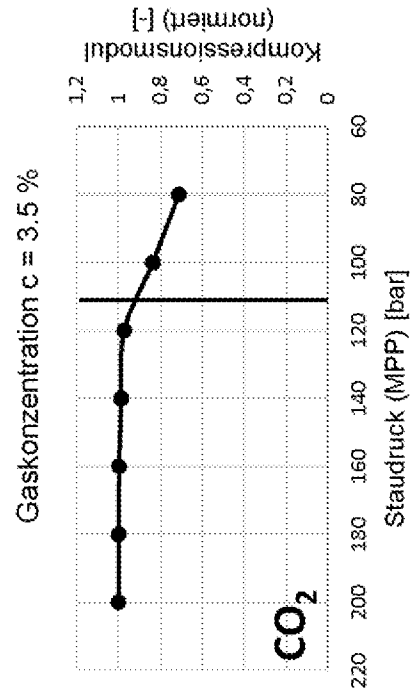


Fig. 4a

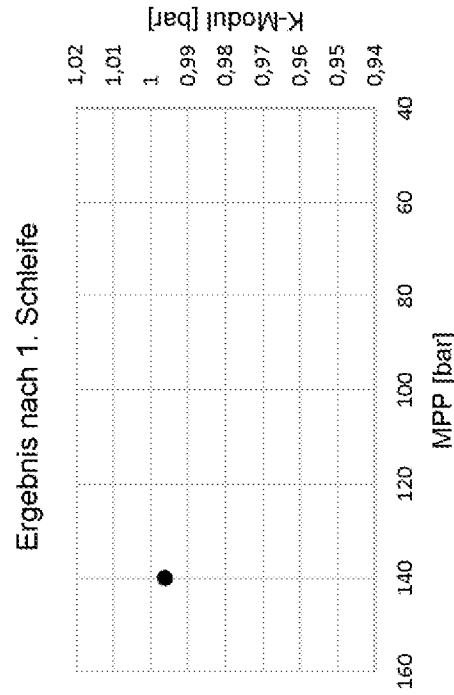


Fig. 4b

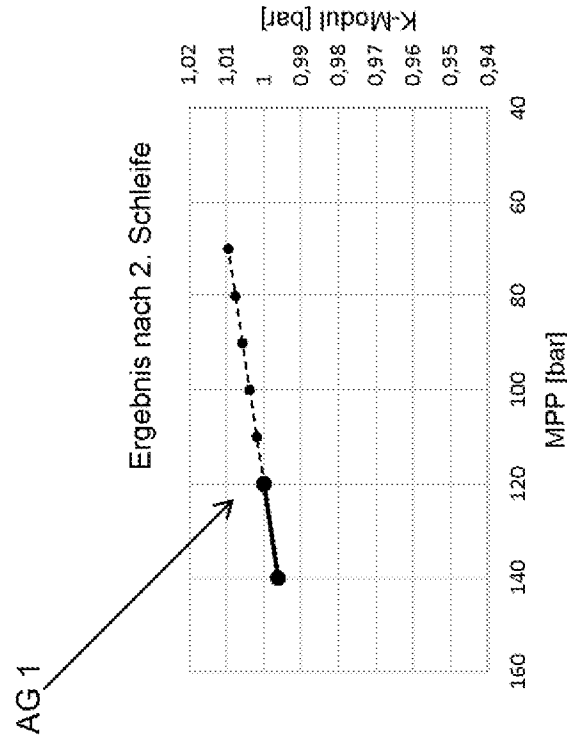


Fig. 4d

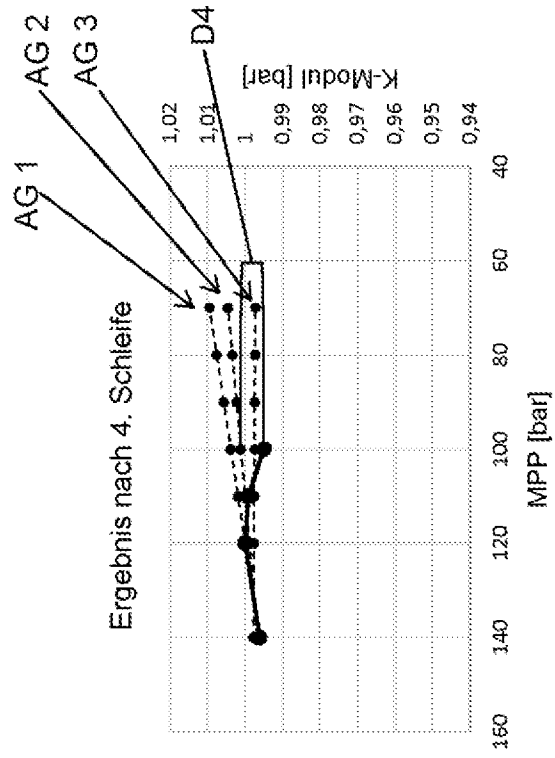


Fig. 4c

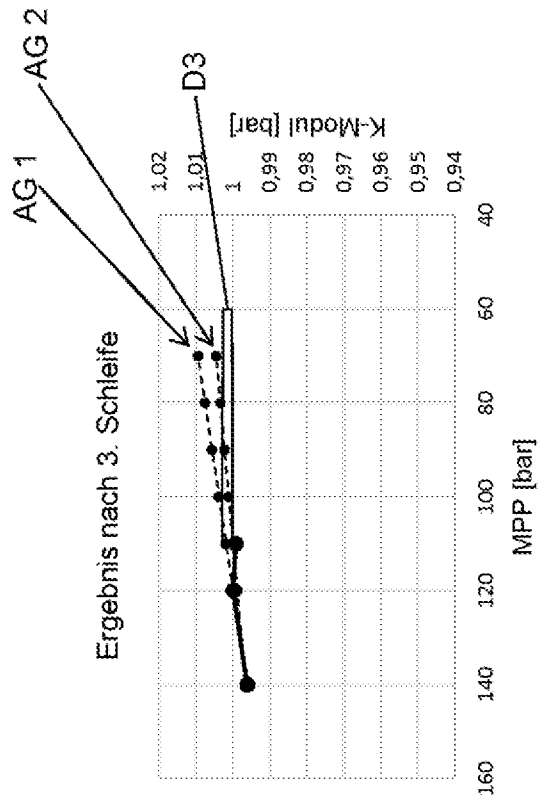


Fig. 4f

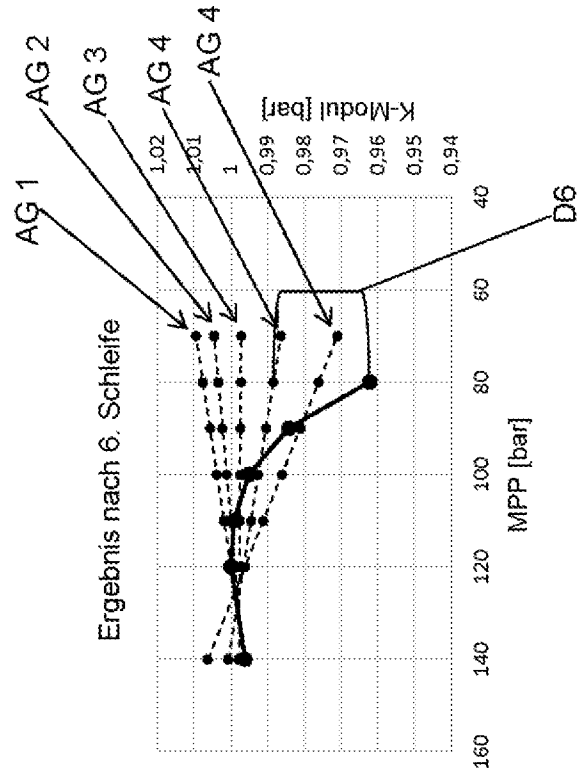


Fig. 4e

