



(10) **DE 10 2015 117 237 B3** 2017.03.23

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 117 237.2**
 (22) Anmeldetag: **09.10.2015**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **23.03.2017**

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

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
KraussMaffei Technologies GmbH, 80997 München, DE

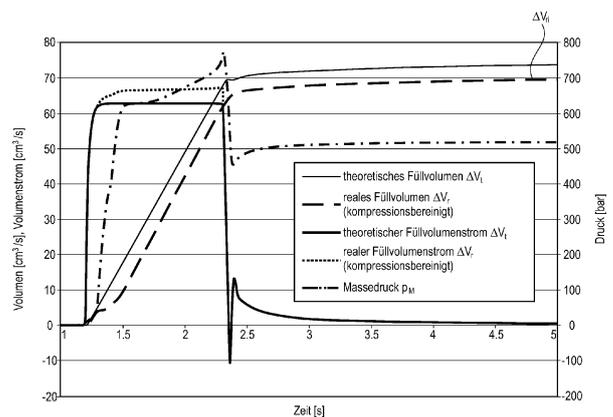
(72) Erfinder:
Schiffers, Reinhard, Dr., 80686 München, DE;
Moser, Stefan, 85399 Hallbergmoos, DE; Kruppa,
Stefan, 80686 München, DE; Busl, Matthias, 85757
Karlsfeld, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2005 016 617	B3
DE 10 2007 030 637	B4
DE 10 2013 111 257	B3
DE 36 08 973	A1
DE 10 2013 111 328	A1
US 5 260 010	A
EP 1 074 374	A1
JP H01- 146 718	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung eines realen Volumens einer spritzgießfähigen Masse in einem Spritzgießprozess**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines realen Volumens V_r einer spritzgießfähigen Masse während eines Spritzgießprozesses, wobei die spritzgießfähige Masse in zumindest eine Kavität eines Formwerkzeuges verbracht wird, aufweisend die Schritte:
 a) Ermittlung eines theoretischen Volumens V_t aus Prozessgrößen zumindest während einer Füllphase des Spritzgießprozesses,
 b) Ermittlung und/oder Messung zumindest eines Wertes für zumindest einen Massedruck p_M , gekennzeichnet durch die Schritte
 c) Auswahl einer dem Wert von p_M entsprechenden materialspezifischen Kompression $k(p)$ der spritzgießfähigen Masse,
 d) Berechnung eines realen Volumens V_r unter Berücksichtigung der Kompression $k(p)$.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines realen Füllvolumens einer Kavität eines Spritzgießwerkzeuges mit einer spritzgießfähigen Masse nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Spritzgießmaschinen erlauben in sehr hoher Präzision Bewegungen sämtlicher Achsen und Antriebe. Besonders die translatorische Schneckenbewegung zum Einbringen von z. B. geschmolzenen Thermoplasten (Schmelzen) in eine Kavität eines Formwerkzeuges ist insbesondere bei elektrischen Spritzgießmaschinen in hohem Maße geregelt und reproduzierbar. Nicht maschinenbedingte Schwankungen, z. B. Umgebungsschwankungen und Anfahreffekte haben aber einen negativen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit eines Spritzgießprozesses bei der Herstellung von Spritzgießformteilen. Der bislang im Stand der Technik übliche Ansatz zur Stabilisierung der Formteilqualität ist es, Temperaturen, Beschleunigungen (der Schnecke), Geschwindigkeiten usw. über die Produktionszeit möglichst konstant zu halten.

[0003] Diese Maßnahmen können aber Schwankungen oder Änderungen, die im Material, der Temperaturumgebung der Maschine oder sonst äußerlich auftreten oder mechanisch-physikalische Effekte (wie z. B. Granulatkorn-Einzug oder Effekte der Rückströmsperre) nicht immer kompensieren. Trotz immer gleicher Prozessführung können diese Schwankungen oder Änderungen zu unterschiedlicher Formfüllung und damit zu einer unterschiedlichen Qualität der Formteile führen.

[0004] Im Stand der Technik wird zur Messung und Regelung des Einspritzprozesses auf reine Maschinengrößen zurückgegriffen. So wird beispielsweise in der Einspritzphase meistens die Geschwindigkeit und in Nachdruckphasen der Massedruck konstant gehalten. Ein Einspritzvolumen ist bei den meisten Maschinen mess- und anzeigbar. Allerdings ist dies ein theoretisches Einspritzvolumen, welches sich durch einfache Berechnung aus dem tatsächlichen zurückgelegten Schneckenweg und der Schneckenquerschnittsfläche ergibt. Insoweit ist also das im Stand der Technik verwendete Einspritzvolumen als theoretisches Volumen anzusehen. Eine real existierende Kompressibilität des verwendeten spritzgießfähigen Materials bleibt jedoch unberücksichtigt.

[0005] Aus der DE 10 2007 030 637 B4 ist es bekannt, die Materialkompressibilität einer Schmelze zu messen und zur Bestimmung eines Mischungsverhältnisses zweier Materialkomponenten zu verwenden oder hierbei zu berücksichtigen.

[0006] Aus der DE 10 2005 016 617 B3 ist es bekannt, eine Nachdruckzeit anzupassen, wobei der Spritzgießprozess anhand des Absinkens eines Kunststoff-Volumenstromes gesteuert wird. Auch hier erfolgt die Bestimmung des Kunststoff-Volumenstromes aus dem Schneckenweg und entspricht daher dem theoretischen Volumen, welches je nach Druckniveau während der Nachdruckphase unterschiedlich stark komprimiert sein kann.

[0007] Aus der EP 1 074 374 A1 ist ein sogenannter Expansions-spritzgießprozess bekannt, bei dem die Kompressibilität der Schmelze zur Füllung einer Kavität des Formwerkzeuges genutzt wird. Ein komprimiertes Schmelzevolumen wird während des Entspannungsprozesses (Dekompression) in die Kavität eines Formwerkzeuges geleitet und hierbei entspannt. Ein aktives Füllen, beispielsweise durch ein Verfahren der Schnecke findet aber nicht statt. Damit eine vollständige Werkzeugfüllung erfolgt, muss das Expansionsvolumen dem Füllvolumen entsprechen. Ein tatsächlich eingebrachtes Volumen wird bei dem aus der oben genannten Schrift bekannten Verfahren weder gemessen noch zu einer Steuerung der Maschine herangezogen.

[0008] Aus der JP H01-146718 A ist es bekannt, zur Abschätzung einer Schrumpfung einer verdichteten Einspritzmasse, u. a. ein k-v-t-Diagramm der Spritzgießmasse heranzuziehen.

[0009] Aus der US 5 260 010 A ist es bekannt, zur Bestimmung eines Füllgewichts eines Spritzlings verschiedene Parameter der Spritzgießmaschine vor und nach dem Endspritzen zu ermitteln.

[0010] Aus der DE 36 08 973 A1 ist ein Verfahren zum Steuern der Verdichtungsphase beim Spritzgießen thermoplastischer Formmassen bekannt, wobei über eine volumetrische Füllung des Formwerkzeuges hinaus ein Verdichtungsdruck über eine Haltezeit hinweg ausgeübt wird. Dies bewirkt eine Massenachlieferung in das Formwerkzeug bis der Angusskanal versiegelt ist. Es wird vorgeschlagen, die Versiegelung gegebenenfalls durch ein speziell hierfür vorgesehenes Angussverschlussorgan herbeizuführen.

[0011] Aus der DE 10 2013 111 328 A1 ist ein Verfahren zur Beurteilung verfahrenstechnischer Eigenschaften von Spritzgießwerkzeugen bekannt. Hierbei erfolgt eine qualitative Einstufung des Füllverhaltens von Spritzgießwerkzeugen anhand charakteristischer Werte, die im Rahmen eines Lernzyklusses ermittelt werden.

[0012] Aus der DE 10 2013 111 257 B3 ist ein Bemühen bekannt, das Füllvolumen in einem Spritzgießprozess möglichst konstant zu halten. Dies unter Berücksichtigung von maschinenexternen Schwankungen wie zum Beispiel einer Hallentemperatur, Schwankungen des zu verarbeiteten Materials und andere die Viskosität des Materials beeinflussende Parameter.

[0013] In dem vorgestellten Verfahren wird ein Formteilmengenäquivalent definiert, das durch Anpassung des Umschaltpunktes konstant gehalten wird. Diese Messgröße wird aus der Division einer Fließzahl und einer mittleren Viskosität gebildet. Die Fließzahl ist ein Druckintegral über den gesamten oder einen Teil des Einspritzvorganges. Die Viskosität wird aus dem mittleren Druck in einem Teil der Füllphase sowie der mittleren Geschwindigkeit in diesem Bereich gebildet. Die Nachdruckhöhe wird abhängig von der Viskositätsänderung relativ zu einer Referenz in einem Lernprozess angepasst.

[0014] Im Stand der Technik wird bisher von keiner vorgeschlagenen Lösung kompressionsbereinigt das Volumen der Formmasse, das heißt einer in irgendeiner Art spritzgießfähigen Masse, welches in eine Kavität eines Formwerkzeuges eingebracht werden soll, gemessen oder geregelt. Die Kompressibilität von spritzgießfähigen Massen, sei es thermoplastische Schmelzen oder Duroplaste, Silikone, Lacke oder dergleichen wird im Wesentlichen nicht berücksichtigt, um eine korrekte Formfüllung zu gewährleisten.

[0015] Beispielsweise ist eine Anzeige und eine Steuerung über das theoretische Volumen und den theoretischen Volumenstrom, der bisher aus geometrischen Randbedingungen wie z. B. dem Schneckendurchmesser und dem Schneckenweg ermittelt wird, kompressionsbehaftet. Das bedeutet, dass beispielsweise wenn die Schnecke von einem Volumen von 100 cm³ bei 1 bar Druck auf eine Position von 60 cm³ bei 1000 bar Massedruck bewegt wird, das Füllvolumen (und damit auch die Füllmasse) in der Form ein anderes als wenn der Massedruck nur auf 500 bar steigt. Beispielhaft sei erwähnt, dass bei einer theoretischen Kompressibilität von 5% pro 1000 bar Massedruck im ersten Fall nach Druckentlastung von 63,1 cm³ Volumen im Schneckenorraum, im zweiten Fall nur 61,5 cm³ Volumen im Schneckenorraum vorhanden sind. Dies bedeutet, dass in die Kavität im zweiten Fall 1,6 cm³ mehr unkomprimierte Schmelze eingebracht wurde. Dies ist in **Fig. 1** schematisch dargestellt. Wird also bei gleichem Volumen oder äquivalent bei gleichem Schneckenweg der Einspritzvorgang beendet, so werden bei unterschiedlichen Drücken unterschiedliche Formteilmengen eingebracht. Druckunterschiede treten aber aufgrund von Temperaturschwankungen und Viskositätsänderungen des Materials auf und beeinflussen damit die Bauteilqualität und die Gewichtskonstanz des fertigen Formteiles.

[0016] Wie oben bereits erläutert, wird in der DE 10 2013 111 257 B3 ein Formteilmengen gemessen. Dies erfolgt allerdings nicht direkt sondern indirekt über das "Formteilmengen-Äquivalent".

[0017] Dieses "Formteilmengen-Äquivalent" wird auch zur Ermittlung des Nachdruckumschaltpunktes verwendet. Das Verfahren setzt implizit einen ähnlichen Massedruck-Kurvenverlauf voraus.

[0018] Ein Anwendungsfall für eine adaptive Prozessführung wäre auch eine "Störung" in Form eines Plastifizierungs- bzw. Maschinenwechsels. Dies bedingt vor allem eine Unabhängigkeit der Messwerte vom Schneckendurchmesser. Diese Eigenschaft ist bei der Ermittlung der Fließzahl über das Druckintegral über die Einspritzzeit und damit dem Formteilmengen-Äquivalent nicht gegeben.

[0019] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Bestimmung eines realen Volumens einer spritzgießfähigen Masse während eines Spritzgießprozesses anzugeben. Des Weiteren soll ein solches Verfahren gewährleisten, dass die Bauteilqualität, insbesondere das Bauteilmengen und die Formfüllung in besonderem Maße konstant haltbar sind. Des Weiteren soll gewährleistet werden, dass ein und dasselbe Formwerkzeug mit vermindertem, insbesondere mit stark vermindertem Einfahraufwand alleine aufgrund von charakteristischen Größen einer Spritzgießmaschine auf eine andere Spritzgießmaschine übertragbar und diese mit diesem Formwerkzeug kostengünstig betreibbar ist.

[0020] Diese Aufgaben werden mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0021] Ein Verfahren zur Bestimmung eines realen Volumens V_r einer spritzgießfähigen Masse während eines Spritzgießprozesses, wobei die spritzgießfähige Masse in zumindest eine Kavität eines Formwerkzeuges verbracht wird, weist die folgenden Schritte auf:

- a) Ermittlung eines theoretischen Volumens V_t aus Prozessgrößen zumindest während einer Füllphase des Spritzgießprozesses,
- b) Ermittlung und/oder Messung zumindest eines Wertes für zumindest einen Massedruck p_M . Ein solches Verfahren ist erfindungsgemäß weitergebildet durch die Schritte:
- c) Auswahl einer dem Wert von p_M entsprechenden materialspezifischen Kompression $k(p)$ der spritzgießfähigen Masse und
- d) Berechnung eines realen Volumens V_r unter Berücksichtigung der Kompression $k(p)$.

[0022] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird nunmehr erstmals eine real vorliegende Kompression der spritzgießfähigen Masse unter Druck als maßgeblich für die Bestimmung eines realen Volumens V_r während eines Spritzgießprozesses herangezogen. Mit der Erfindung gelingt es somit erstmals, Formfüllungen über mehrere Spritzgießprozesse hinweg konstant zu halten, zumindest jedoch gegenüber dem Stand der Technik wesentlich zu vergleichmäßigen, da erkannt wurde, dass die Kompression des spritzgießfähigen Materials wesentlichen Einfluss auf die Füllung der Kavität im Formwerkzeug hat und somit Auswirkungen auf die Bauteilqualität besitzt. Zur Erläuterung sei angegeben, dass unter dem Begriff "Füllphase", wie er im oben genannten Merkmal a) und in der gesamten Anmeldung verwendet wird, die Einspritzphase und die Nachdruckphase eines Spritzgießprozesses, also der gesamte Zeitraum, in dem Formmasse in eine Kavität gelangt, zu verstehen ist.

[0023] In einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nach der Berechnung eines realen Volumens V_r unter Berücksichtigung der Kompression $k(p)$ (Schritt d) des Verfahrens) eine Anpassung von Maschinenparametern der Spritzgießmaschine vorgenommen, die derart erfolgt, dass ein Erreichen eines idealen realen Füllvolumens ΔV_{ri} der zumindest einen Kavität erfolgt. Ein solches ideales reales Füllvolumen ΔV_{ri} führt beispielsweise zu einem Gutteil und kann als Zielgröße definiert werden, welche es in möglichst genauer Art und Weise immer wieder, das heißt bei jedem Schuss, zu erreichen gilt.

[0024] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Auswahl der materialspezifischen Kompression $k(p)$ der spritzgießfähigen Masse aus einer in einer Maschinensteuerung hinterlegten materialspezifischen Kompressionskurve $k(p)$, insbesondere aus einer in der Maschinensteuerung hinterlegten adiabaten Kompressionskurve. Aus einer solchen materialspezifischen Datensammlung in der Spritzgießmaschine ist es möglich, für jeden momentan vorliegenden Druckwert p_M die entsprechende Kompression, z. B. in % auszulesen und somit ein reales Volumen V_r zu berechnen.

[0025] Es hat sich bewährt als Massedruck p_M einen Massedruck beispielsweise in einem Zylinder oder einen Werkzeuginnendruck der Formmasse (spritzgießfähigen Masse) oder einen Formmassendruck im Schneckenorraum zu verwenden. Zweckmäßiger Weise werden zumindest zwei Werte A und B des Massedrucks p_M während eines definierten Prozessfensters ermittelt und/oder gemessen. Bevorzugt werden die zwei Werte A und B von einer gleichen Massedruckart gemessen um eine hohe Vergleichbarkeit bzw. Reduzierbarkeit erzielen zu können.

[0026] Gegebenenfalls kann es auch zweckmäßig sein, die Werte A und/oder B als Mittelwerte über mehrere einzelne Messwerte des Massedruckes p_M zu bestimmen.

[0027] Des Weiteren kann zweckmäßiger Weise ein reales Füllvolumen ΔV_r , welches einer Differenz aus kompressionsbereinigten Volumina V_{rA} und V_{rB} zwischen den Positionen A und B entspricht, nach der Formel

$$\Delta V_r = \frac{V_{tFB}}{1 - k(p_{FB})} - \frac{V_{tFA}}{1 - k(p_{FA})} = \frac{V_{tSA}}{1 - k(p_{SA})} - \frac{V_{tSB}}{1 - k(p_{SB})}$$

berechnet werden. Ein derartiges kompressionsbereinigtes reales Füllvolumen ΔV_r berücksichtigt die Kompressibilität der spritzgießfähigen Masse bei Drücken p_M an verschiedenen Positionen A und B. Dabei sind:

- p_{FB} : ein Formmassendruck an einer Position B
- p_{FA} : ein Formmassendruck an einer Position A
- p_{SA} : ein Formmassendruck im Schneckenorraum an der Position A
- p_{SB} : ein Formmassendruck im Schneckenorraum an der Position B.

[0028] Erfindungsgemäß wurde somit erkannt, dass Verhältnisse hinsichtlich der realen Füllvolumina ΔV_r innerhalb einer Kavität kompressionsbereinigt z. B. anhand von Druckverhältnissen im Bereich eines Schneckenorraums ermittelt werden können. Die Druckwerte im Schneckenorraum (p_{SA} oder p_{SB}) sind mit an Spritz-

gießmaschinen vorhandenen Messmitteln wesentlich einfacher und insbesondere genauer zu bestimmen als Druckverhältnisse innerhalb einer Form, insbesondere während der Formfüllung. Somit gelingt es über die Beobachtung des Druckes p_S im Schneckenorraum eine zuverlässige Aussage über ein reales Füllvolumen ΔV_r in der Kavität zu erhalten.

[0029] Alternativ oder kumulativ kann auch ein realer Füllvolumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ durch Ableitung des realen Füllvolumens ΔV_r nach der Zeit t über einen Zeitraum, z. B. aus der Gleichung

$$\Delta \dot{V}_r = \frac{\Delta V_r}{t_B - t_A}$$

ermittelt werden.

[0030] Anstelle der Zeitpunkte t_B und/oder t_A kann bei der Ermittlung des realen Füllvolumenstroms $\Delta \dot{V}_r$ auch eine Schneckengeschwindigkeit v_S während des Einspritzvorganges oder während der Nachdruckphase zur Berechnung des realen Füllvolumenstroms $\Delta \dot{V}_r$ verwendet werden.

[0031] Dieser reale Volumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ oder das reale Füllvolumen ΔV_r kann während der Füllphase mit einer Referenzkurve eines realen Füllvolumens ΔV_{rR} und/oder eines realen Volumenstroms $\Delta \dot{V}_{rR}$ verglichen werden. Dadurch können Störungen bei der Füllung der mindestens einen Kavität durch eine Abweichung von der Referenz erkannt werden. So kann z. B. bei Verschluss einer Kaskade oder Heißkanaldüse der Spritzprozess zum Schutz des Werkzeuges vor Beschädigung abgebrochen werden.

[0032] Zur Steigerung der Genauigkeit kann zusätzlich zu jedem gemessenen theoretischen Volumen V_t für die Berechnungen das zusätzliche, konstante Volumen V_t^* addiert werden. Damit können vom Schnecken oder Kolbenweg nicht erfasste Volumina berücksichtigt werden. Diese sind beispielsweise in einer Düse oder einem Heißkanalsystem vorhanden.

[0033] Für besonders hohe Genauigkeit und für besonders gute Detailbeobachtbarkeit eines Einspritzvorganges oder eines gesamten Produktionszyklus im Spritzgießprozess kann es zweckmäßig sein, das reale Füllvolumen ΔV_r über den gesamten Füllvorgang kontinuierlich zu ermitteln und/oder eine Einspritzbewegung zur Füllung der Kavität derart zu beeinflussen, dass ein vorgegebenes Volumenstromprofil abgefahren wird. Als Einspritzbewegung kann beispielsweise in der Einspritzphase eine Geschwindigkeitsbeeinflussung des Schnecken vorschubes stattfinden. In der Nachdruckphase kann beispielsweise eine Drucksteuerung oder eine Druckbeeinflussung des Nachdruckes zweckmäßig sein.

[0034] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, dass ein reales Umschalt-Füllvolumen ΔV_{rxfrL} in einem Lernzyklus L der Spritzgießmaschine ermittelbar ist, wobei in diesem Lernzyklus L bei Erreichen des realen Umschalt-Füllvolumens ΔV_{rxfrL} ein Umschalten auf die Nachdruckphase erfolgt. Ein solches reales Umschalt-Füllvolumen ΔV_{rxfrL} wird berechnet und gespeichert, sofern der Lernzyklus L ein Gutteil ergeben hat. Hierzu wird ein theoretisches Umschalt-Volumen V_{ixfrL} und der zugehörige Umschalt-Druck p_{xfrL} zum Umschaltzeitpunkt im Lernprozess L gemessen.

[0035] Zusätzlich kann in dem Lernzyklus L ein theoretisches Referenzvolumen V_{tRefL} an einem Referenzdruckwert p_{Ref} ermittelt werden. Der Druck p_{Ref} ist bevorzugt so gewählt, dass Anfahrereffekte wie z. B. das Schließen einer Rückströmsperre oder dergleichen sicher ausgeblendet sind.

[0036] Aus den ermittelten Werten kann dann zweckmäßiger Weise das reale Umschalt-Füllvolumen ΔV_{rxfrL} im Lernzyklus L aus der Formel

$$\Delta V_{rxfrL} = \frac{V_{tRefL}}{1 - k(p_{Ref})} - \frac{V_{ixfrL}}{1 - k(p_{xfrL})}$$

ermittelt werden.

[0037] In einem Produktionszyklus P , der dem Lernzyklus L nachgeschaltet ist, wird am Referenzdruck p_{Ref} ein theoretisches Referenzvolumen V_{tRefP} ermittelt. Außerdem wird ein theoretisches Volumen V_{tPC} im m Produktionszyklus P zu einem mitlaufenden Zeitpunkt t_C ermittelt. Hieraus wird dann das reale Füllvolumen ΔV_{rP} zu einem Zeitpunkt t_C im Produktionszyklus P aus der Formel

$$\Delta V_{rP} = \frac{V_{tRefP}}{1 - k(p_{Ref})} - \frac{V_{tPC}}{1 - k(p_{PC})}$$

Berechnet. Die Umschaltung auf die Nachdruckphase im Produktionszyklus P wird eingeleitet, wenn gilt:

$$\Delta V_{rP} \geq \Delta V_{rXfrL}$$

[0038] Das Verfahren kann auch während einer druckgeregelten Nachdruckphase angewendet werden, wobei in der Nachdruckphase die Anpassung von Maschinenparametern zum Erreichen eines idealen realen Füllvolumens ΔV_{ri} durch Anpassung des Nachdruckes erfolgt.

[0039] Das Verbringen der spritzgießfähigen Masse in die zumindest eine Kavität eines Formwerkzeuges erfolgt beim erfindungsgemäßen Verfahren zweckmäßiger Weise mittels einer Schubschnecke oder einem Kolben.

[0040] Als spritzgießfähige Massen kommen beispielsweise Schmelzen von Thermoplasten oder duroplastische Formmassen oder Silikone oder Lacke in Frage.

[0041] Das erfindungsgemäße Verfahren kann positiv weitergebildet werden, wenn weitere Aktionen eines Spritzgießprozesses wie z. B. das Betätigen von Kernzügen, das Öffnen und Schließen von Kaskaden, welche spritzenweg-, das heißt spritzenvolumenabhängig oder zeitabhängig gesteuert werden in Abhängigkeit des Verfahrens gemäß dem ermittelten realen Füllvolumen ΔV_r gesteuert werden. Erfindungsgemäß können also nunmehr Maschinenaktionen, die im Stand der Technik nach theoretischen Größen wie z. B. dem Schneckenverfahrweg gesteuert werden, nunmehr nach dem realen Füllvolumen ΔV_r der Kavität ausgelöst werden, sodass eine erhöhte Genauigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Aktionen erreichbar ist.

[0042] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zumindest die gelernten Werte für das reale Umschalt-Füllvolumen ΔV_{rXfrL} im Lernprozess L und der Referenzdruck p_{Ref} von einer ersten Spritzgießmaschine zu einer zweiten baugleichen oder nicht baugleichen Spritzgießmaschine übertragen werden. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es mit lediglich diesen beiden Werten in einfacher Art und Weise möglich ist, ohne aufwendiges Einfahren und Kalibrieren der zweiten Spritzgießmaschine, eine hohe Bauteilqualität bei einem Werkzeugumzug von einer Spritzgießmaschine zur anderen Spritzgießmaschine zu erreichen.

[0043] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

[0044] Fig. 1a bis Fig. 1c: schematische Darstellungen von Unterschieden in einem eingebrachten Volumen an spritzgießfähiger Masse bei unterschiedlichen Druckniveaus (1000 bar und 500 bar);

[0045] Fig. 2a, Fig. 2b: stark schematisiert zwei Maschinenzustände A und B bei einem Schneckenweg s_A und s_B ;

[0046] Fig. 3a, Fig. 3b: je ein pVT-Diagramm von amorphen (Fig. 3a) und teilkristallinen (Fig. 3b) Thermoplasten (Quelle: Handbuch "Spritzgießen", Friedrich Johannaber, Walter Michaeli);

[0047] Fig. 4: eine Kompressionskurve $k(p)$ (adiabat) für einen thermoplastischen Kunststoff (PA6 GF30);

[0048] Fig. 5: ein Vergleichsdiagramm eines Volumens bzw. eines Volumenstroms über der Zeit mit Kurvenverläufen gemäß dem Stand der Technik (Nichtberücksichtigung der Kompressibilität) und gemäß der Erfindung (Berücksichtigung der Kompressibilität, d. h. kompressionsbereinigt).

[0049] Die Fig. 1a bis Fig. 1c zeigen schematisch Darstellungen von Einspritzaggregaten 1 und stark schematisiert ein Schmelzevolumen V_1 von 100 cm³ bei 1 bar (Umgebungsdruck). Dies ist ein Ausgangszustand.

[0050] In der Fig. 1b ist in einem ersten Fall das Schmelzevolumen V_1 in einem Schneckenorraum auf 60 cm³ verringert und steht unter einem Druck von 1000 bar. Ein zweites Volumen V_2 befindet sich in einer nicht dargestellten Kavität eines Formwerkzeuges.

[0051] In der rechten Darstellung gemäß **Fig. 1b** ist ein Zustand gezeigt, bei dem das Schmelzevolumen V_1' 60 cm^3 beträgt und unter einem Druck von 500 bar steht.

[0052] In der **Fig. 1c** ist in der linken Darstellung der Zustand nach **Fig. 1b** (links) dargestellt, nachdem der Zustand gemäß **Fig. 1b** (links) auf Umgebungsdruck entspannt worden ist. Das Volumen V_1' ändert sich zu $63,1 \text{ cm}^3$ und liegt bei 1 bar Umgebungsdruck vor. Das Volumen V_2 in der linken Darstellung der **Fig. 1** beträgt $36,9 \text{ cm}^3$ im entspannten Zustand. Das Volumen V_2 gemäß rechter Darstellung in **Fig. 1c** beträgt $38,5 \text{ cm}^3$. Dies bedeutet, dass im rechts dargestellten Fall gemäß den **Fig. 1a, Fig. 1b, Fig. 1c** deutlich weniger ($1,6 \text{ cm}^3$ weniger) spritzgießfähige Masse eingebracht wurde.

[0053] Die beiden Fälle die in den **Fig. 1a, Fig. 1b, Fig. 1c** parallel nebeneinander gezeigt wurden, stellen den Stand der Technik dar, der bislang nicht vorsieht, das Volumen der Formmasse, welches in eine Kavität einer Spritzgießform eingebracht wird, zu messen oder zu regeln, derart, dass die Kompressibilität berücksichtigt ist. Bei einer derartigen Vorgehensweise gemäß dem Stand der Technik ist ein unterschiedlich großes Volumen V_2 zu erwarten, wenn die spritzgießfähige Masse entspannt ist und während des Spritzgießvorganges unterschiedlich hohe Drücke geherrscht haben. Dies bedeutet, dass falls – wie im Stand der Technik praktiziert – eine Spritzgießmaschine volumengesteuert oder äquivalent dazu nach dem Schneckenweg gesteuert betrieben wird und so bei einem bestimmten theoretischen Volumen V_t oder bei einem bestimmten Schneckenweg der Einspritzvorgang beendet wird, werden bei unterschiedlichen Drücken unterschiedliche Formteilmassen in die Kavität eingebracht.

[0054] Derartige Druckunterschiede treten aber in der Realität aufgrund von Temperaturschwankungen und Viskositätsänderungen des Materials/Granulats/der spritzgießfähigen Masse auf und beeinflussen damit die Bauteilqualität und die Gewichtskonstanz nachteilig. Aufbauend auf diese Erkenntnis wird nunmehr nachfolgend die Erfindung erläutert.

[0055] Kern der Erfindung ist ein Verfahren zur kompressionsbereinigten Bestimmung eines Kunststoff-Volumens V_r . In anderen Worten bedeutet dies, dass das Verbringen eines Volumen V_r in eine Kavität unter Berücksichtigung der Kompressibilität der spritzgießfähigen Masse stattfindet. In der Einspritzeinheit **1** befindet sich schematisiert (vergleiche **Fig. 2a, Fig. 2b**) eine Schneckeneinheit **2** welche gegebenenfalls mit einer Rückströmsperre ausgestattet ist.

[0056] Alternativ kann die Schneckeneinheit **2** auch als Kolben ausgebildet sein.

[0057] Vor der Schneckeneinheit **2** befindet sich spritzgießfähige Formmasse, z. B. eine Kunststoffschmelze oder eine duroplastische spritzgießfähige Formmasse. Diese Formmasse steht unter einem Druck p_{SA} wenn sich die Schneckeneinheit **2** an einer Position A befindet. Die Schnecke befindet sich dann an der Position des Schneckenweges s_A . Dies entspricht einem theoretischen Volumen im Schneckenorraum V_{tSA} . Schematisiert dargestellt sind auch ein Spritzgießwerkzeug **3** mit einer Kavität **4**.

[0058] Weiterhin schematisch ist theoretisches Volumen V_{tFA} (an der Schneckenposition s_A) dargestellt, welches sich unter einem Forminnendruck P_{FA} bereits in der Kavität **4** befindet.

[0059] **Fig. 2b** zeigt einen späteren Zustand. Der Schneckenweg s_B ist kleiner als der Schneckenweg s_A . Die Schneckeneinheit **2** hat somit einen Teil der Formmasse in die Kavität **4** des Formwerkzeugs **3** befördert. In der Formmasse der Einspritzeinheit **1**, insbesondere im Schneckenorraum herrscht ein Druck p_{SB} . In der Kavität **4** befindet sich ein theoretisches Füllvolumen V_{tFB} unter dem Druck p_{FB} .

[0060] Mit diesen Angaben kann nun das reale Füllvolumen ΔV_r wie folgt bestimmt werden. Das Volumen V_{tSA} im Schneckenorraum kann über ein Wegmesssystem der Schnecke gemessen werden und wird in einer Maschinensteuerung angezeigt. Aus der Differenz des Schneckenweges $s_A - s_B$ kann damit auch – einen vernachlässigbaren Rückfluss in der Rückströmsperre oder am Kolben vorausgesetzt – ein zwischen zwei Positionen A und B in die Form eingebrachte theoretische Füllvolumen $V_{tSA} - V_{tSB}$ ermittelt werden. Mit Hilfe einer zu dem jeweiligen Formmassenmaterial vorliegenden Kompressionskurve $k(p)$, die in einer Maschinensteuerung abgelegt ist, kann nunmehr eine Änderung des spezifischen Volumens berücksichtigt werden. Der Kompressionskurve $k(p)$ liegen Werte zugrunde, die die Kompressibilität des vorliegenden Materials, also eine Änderung des spezifischen Volumens V_U angibt. Diese Kompressionskurven $k(p)$ können für den einen isothermen Fall aus einem pVT-Diagramm (vgl. **Fig. 3a, Fig. 3b**) ermittelt werden, indem eine Änderung des spezifischen Volumens V_U an Schnittpunkten S1–S4 von Drucklinien **5** mit einer Temperaturvertikalen **6** bezogen auf das spezifische Volumen V_U beim Umgebungsdruck berechnet wird.

[0061] Derartige Drucklinien **5** sind beispielsweise in den Diagrammen gemäß **Fig. 3a**, **Fig. 3b** für ein amorphes (**Fig. 3a**) und teilkristallines Material (**Fig. 3b**) angegeben. Bei einer bestimmten Temperatur T_1 ergeben sich mit steigendem Druck p abnehmende, spezifische Volumina V_U des Formmassenmaterials. Beispielfür hierfür sind in den **Fig. 3a**, **Fig. 3b** Schnittpunkte S_1 , S_2 , S_3 und S_4 angegeben. Der Schnittpunkt S_1 gibt beispielsweise das spezifische Volumen V_U eines amorphen Materials an, wenn dieses unter Umgebungsdruck (1 bar) vorliegt. Die Schnittpunkte S_2 , S_3 und S_4 in der **Fig. 3a** geben spezifische Volumina V_U bei höheren Drücken an.

[0062] Die **Fig. 3b** zeigt Drucklinien **5** eines teilkristallinen Materials. Die Schnittpunkte S_1 bis S_4 liegen auf der Temperaturvertikalen **6**, die zu einer bestimmten Temperatur T_1 gehört.

[0063] Eine andere (adiabate) Kompressionskurve $k(p)$ zeigt **Fig. 4**. Eine solche adiabate Kompressionskurve $k(p)$ ist für den Spritzgießprozess bevorzugt. **Fig. 4** zeigt in Abhängigkeit eines Druckes, insbesondere des Formmassendruckes p_M eine zugehörige Kompression ($k(p)$) in Prozent. Wertepaare p und $k(p)$, die diese Kurve bilden, sind in der Maschinensteuerung abgelegt. Die Kompressionskurve gemäß **Fig. 4** zeigt beispielhaft einen Verlauf für ein spritzgießfähiges Material PA6GF30. Um nunmehr das reale Volumen V_{rA} zu einem Zeitpunkt A ermitteln zu können, kann in Kenntnis der Kompressionskurve $k(p)$ des verwendeten Materials nachfolgende Gleichung angegeben werden:

$$V_{rA} = \frac{V_{tSA}}{1 - k(p_{SA})} = \frac{s_A \cdot r^2 \cdot \pi}{1 - k(p_{SA})}$$

[0064] Das zwischen zwei Zeitpunkten oder Positionen A und B eingebrachte reale Füllvolumen ΔV_r kann nun durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$\Delta V_r = \frac{V_{tFB}}{1 - k(p_{FB})} - \frac{V_{tFA}}{1 - k(p_{FA})} = \frac{s_A \cdot r^2 \cdot \pi}{1 - k(p_{SA})} - \frac{s_B \cdot r^2 \cdot \pi}{1 - k(p_{SB})}$$

wobei V_{tFA} und V_{tFB} theoretische Volumina an den Zeitpunkten oder Positionen A und B, $k(p_{FB})$ und $k(p_{FA})$ die Kompressibilität der Formmasse bei einem Druck p an der Stelle A und an der Stelle B ist, s_A und s_B Schneckenwege an den Positionen A und B sind und $k(p_{SA})$ und $k(p_{SB})$ Kompressibilitäten der Formmasse bei einem Schneckenraumdruck an der Position A bzw. B sind.

[0065] Die Drücke p_F geben einen Forminnendruck an. Die Drücke p_S geben beispielsweise einen Druck in der Formmasse im Schneckenraum an. Beide Varianten sind mögliche Druckarten, die geeignet sind, als Massedruck p_M verwendet zu werden.

[0066] Auf der Basis dieser Berechnung kann auch ein kompressionsbereinigter, das heißt ein realer Füllvolumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ zwischen den Positionen A, B angegeben werden. Hierzu eignet sich beispielsweise nachfolgende Gleichung:

$$\Delta \dot{V}_r = \frac{\Delta V_r}{t_B - t_A}$$

[0067] Der reale Volumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ kann zweckmäßiger Weise als Ableitung des realen Füllvolumens ΔV_r über der Zeit t ermittelt werden.

[0068] Verschiedene Werte A, B für den Massedruck p_M an den Positionen A, B können über maschineninterne Messeinrichtungen, z. B. Kraftaufnehmer oder über den Hydraulikdruck der Maschine, direkte und/oder indirekte Schmelzedrucksensoren oder andere Messeinrichtung zur Erfassung des Druckes der Formmasse im Zylinder gemessen werden. Die Drücke in der Form können über Werkzeuginnendrucksensoren oder andere Messeinrichtungen zur Erfassung des Druckes der Formmasse in der Form gemessen werden.

[0069] Eine erfindungsgemäße Berücksichtigung der Kompression $k(p)$ des verwendeten Formmaterials ermöglicht es somit, das reale Füllvolumen ΔV_r und/oder einen realen Füllvolumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ über den gesamten Füllvorgang der Kavität **4** zu jedem Zeitpunkt und/oder kontinuierlich und/oder zu bestimmten Zeitpunkten zu ermitteln. Somit kann nunmehr das reale Füllvolumen ΔV_r oder der reale Volumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ mit geeigneten, an der Maschine vorhandenen regelungstechnischen Einrichtungen für die Einspritzbewegung beeinflusst werden, so dass ein vorgegebenes Volumenstromprofil abgefahren wird oder abgefahren werden kann.

[0070] Des Weiteren ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren nunmehr auch das Beeinflussen weiterer Prozessaktionen eines Spritzgießprozesses, welche bislang abhängig vom Schnecken- und/oder Kolbenweg bzw. dem Volumen oder auch der Geschwindigkeit oder dem Volumenstrom gesteuert werden können, nunmehr auch über das kompressionsbereinigte reale Füllvolumen ΔV_r oder den realen Füllvolumenstrom $\Delta \dot{V}_r$. Derartige Aktionen, wie z. B. Kaskadensteuerungen, Präge- und/oder Geschwindigkeitsprofile können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhafter Weise bei identischer Formfüllung, also unabhängig von Viskositätsschwankungen ausgelöst werden.

[0071] Fig. 5 zeigt einen Vergleich verschiedener charakteristischer Kurven eines Spritzgießprozesses wenn ein solcher Spritzgießprozess unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt wird im Vergleich zu einem Spritzgießprozess nach dem Stand der Technik.

[0072] Ein Vergleich der Kurvenverläufe für das theoretische Füllvolumen ΔV_t und für das reale Füllvolumen ΔV_r , welches kompressionsbereinigt ist, zeigt, dass zum Zeitpunkt des Umschaltpunktes das theoretische Füllvolumen ΔV_t bereits ein Nennfüllvolumen der Kavität (hier 70 cm^3) erreicht hat und am Ende des Spritzgusszyklus dieses sogar übertrifft. Dem gegenüber erreicht das reale Füllvolumen ΔV_r erst am Ende der Nachdruckphase das Nennvolumen der Kavität von 70 cm^3 , was der Realität entspricht. Das theoretische Füllvolumen ΔV_t , welches am Ende der Nachdruckphase größer ist als das Nennvolumen der Kavität gibt somit eine in der Realität nicht nachvollziehbare Größe wieder. Das Nennvolumen der Kavität entspricht im Zusammenhang des vorliegenden Verfahrens dem idealen realen Füllvolumen ΔV_{ri} , welches es zu erreichen gilt.

[0073] Im Bereich bis zum Umschaltpunkt ist zudem die Kurve für den realen Füllvolumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ oberhalb der Kurve für den theoretischen Volumenstrom $\Delta \dot{V}_t$ angeordnet. Erst ab der Nachdruckphase verlaufen diese Kurven in etwa deckungsgleich.

Bezugszeichenliste

V_t	theoretisches Volumen
t	Zeit
p_M	Massedruck
p_S	Druck im Schneckenorraum
p_F	Forminnendruck
$k(p)$	Kompression, Kompressionskurve
ΔV_r	Reales Füllvolumen
ΔV_{rR}	Referenzkurve reales Füllvolumen
ΔV_{ri}	Ideales reales Füllvolumen
t_A, t_B, t_C	Zeitpunkte
s_A, s_B	Schneckenweg
V_{tSA}, V_{tFA}	Theoretisches Volumen in der Spritzeinheit (S) und der Form (F) an der Position A
V_{tSB}, V_{tFB}	Theoretisches Volumen in der Spritzeinheit (S) und der Form (F) an der Position B
V_{tB}	Theoretisches Volumen an der Position B
A, B	Werte, Positionen
$\Delta \dot{V}_r$	Realer Volumenstrom
$\Delta \dot{V}_{rR}$	Referenzkurve realer Volumenstrom
v_S	Schnecken- bzw. Kolbengeschwindigkeit
ΔV_{rXfrL}	Reales Umschalt-Füllvolumen im Lernzyklus
V_{tRefL}	Theoretisches Referenzvolumen im Lernzyklus
p_{Ref}	Referenzdruckwert
V_{tRefP}	Theoretisches Referenzvolumen im Produktionszyklus
ΔV_{rP}	Reales Füllvolumen im Produktionszyklus
L	Lernzyklus
P	Produktionszyklus
$S1-S4$	Schnittpunkte
V_U	spezifisches Volumen
V_1	Schmelzevolumen
V_1'	komprimiertes Volumen
V_2	zweites Volumen
	Position A
	Position B

1	Einspritzeinheit
2	Schneckeneinheit
3	Spritzgießwerkzeug
4	Kavität
5	Drucklinie
6	Temperaturvertikale

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines realen Volumens V_r einer spritzgießfähigen Masse während eines Spritzgießprozesses, wobei die spritzgießfähige Masse in zumindest eine Kavität eines Formwerkzeuges verbracht wird, aufweisend die Schritte:

- Ermittlung eines theoretischen Volumens V_t aus Prozessgrößen zumindest während einer Füllphase des Spritzgießprozesses,
- Ermittlung und/oder Messung zumindest eines Wertes für zumindest einen Massedruck p_M , gekennzeichnet durch die Schritte
- Auswahl einer dem Wert von p_M entsprechenden materialspezifischen Kompression $k(p)$ der spritzgießfähigen Masse,
- Berechnung eines realen Volumens V_r unter Berücksichtigung der Kompression $k(p)$.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anpassung von Maschinenparametern der Spritzgießmaschine zum Erreichen eines idealen realen Füllvolumens ΔV_{ri} der zumindest einen Kavität erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswahl der materialspezifischen Kompression $k(p)$ der spritzgießfähigen Masse aus einer in einer Maschinensteuerung hinterlegten material-spezifischen Kompressionskurve, insbesondere aus einer in der Maschinensteuerung hinterlegten adiabaten Kompressionskurve $k(p)$ erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Massedruck (p_M) ein Massedruck beispielsweise in einem Zylinder oder ein Forminnendruck der Formmasse (p_F) oder ein Formmassendruck im Schneckenorraum (p_S) verwendet wird und zumindest zwei Werte (A) und (B) des Massedruckes (p_M ; p_F ; p_S) während eines definierten Prozessfensters ermittelt und/oder gemessen werden.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass diejenigen zwei Werte (A) und/oder (B) Mittelwerte über mehrere einzelne Messwerte sind.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Berechnung des realen Füllvolumens (ΔV_r), welches einem drucklosen in die Form eingebrachten Volumen zwischen den Werten (A) und (B) entspricht, nach der Formel:

$$\Delta V_r = \frac{V_{tFB}}{1 - k(p_{FB})} - \frac{V_{tFA}}{1 - k(p_{FA})} = \frac{V_{tSA}}{1 - k(p_{SA})} - \frac{V_{tSB}}{1 - k(p_{SB})}$$

ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Berechnung des realen Füllvolumens (ΔV_r) zu jedem gemessenen theoretischen Volumen V_t ein konstantes theoretisches Volumen V_t^* addiert wird.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein realer Volumenstrom ($\Delta \dot{V}_r$) durch Ableitung des realen Füllvolumens ΔV_r oder des realen Volumens V_r über der Zeit, z. B. aus der Gleichung

$$\Delta \dot{V}_r = \frac{\Delta V_r}{t_B - t_A}$$

ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermittlung des realen Volumenstroms ($\Delta \dot{V}_r$) anstelle der Zeitpunkte (t_B) und (t_A) eine Schneckengeschwindigkeit (v_S) verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das reale Füllvolumen ΔV_r und/oder der reale Volumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ über den gesamten Füllvorgang kontinuierlich ermittelt wird und/oder eine Einspritzbewegung zur Füllung der Kavität (4) derart beeinflusst wird, dass ein vorgegebenes reales Volumenstromprofil abgefahren wird.

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das reale Füllvolumen ΔV_r und/oder der reale Volumenstrom $\Delta \dot{V}_r$ während der Füllphase mit einer Referenzkurve eines realen Füllvolumens ΔV_{rR} und/oder eines realen Volumenstroms $\Delta \dot{V}_{rR}$ verglichen wird.

12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit Hilfe des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche ein theoretisches Umschaltvolumen (V_{tXfrL}) in einem Lernzyklus (L) ermittelt wird, wobei im Lernzyklus (L) bei Erreichen dieses theoretisches Umschaltvolumen (V_{tXfrL}) ein Umschalten auf die Nachdruckphase erfolgt.

13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Lernzyklus (L) ein theoretisches Referenzvolumen (V_{tRefL}) an einem Referenz-Druckwert (p_{Ref}) ermittelt wird.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Produktionszyklus (P) der dem Lernzyklus (L) nachgeschaltet ist ein theoretisches Referenzvolumen (V_{tRefP}) an demselben Referenz-Druckwert (p_{Ref}) ermittelt wird.

15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das reale Umschalt-Füllvolumen (ΔV_{rXfrL}) im Lernzyklus L aus

$$\Delta V_{rXfrL} = \frac{V_{tRefL}}{1 - k(p_{Ref})} - \frac{V_{tXfrL}}{1 - k(p_{XfrL})}$$

ermittelt wird, wobei der Zeitpunkt t_A das Erreichen des Referenzdruckes p_{Ref} und der Zeitpunkt t_B der Umschaltzeitpunkt ist und das reale Füllvolumen ΔV_{rP} zu einem Zeitpunkt t_C im Produktionszyklus (P) aus

$$\Delta V_{rP} = \frac{V_{tRefP}}{1 - k(p_{Ref})} - \frac{V_{tPC}}{1 - k(p_{PC})}$$

berechnet wird und die Umschaltung auf die Nachdruckphase im Produktionszyklus (P) eingeleitet wird, wenn

$$\Delta V_{rP} \geq \Delta V_{rXfrL}$$

16. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren während einer druckgeregelten Nachdruckphase angewandt wird, wobei in der Nachdruckphase die Anpassung von Maschinenparametern zum Erreichen eines idealen realen Füllvolumens ΔV_{ri} durch Anpassung des Nachdruckes erfolgt.

17. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbringen der spritzgießfähigen Masse in die zumindest eine Kavität (4) eines Formwerkzeuges (3) mittels einer Schubschnecke oder einem Kolben erfolgt.

18. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die spritzgießfähigen Massen Schmelzen von Thermoplasten oder duroplastische Formmassen oder Silikone oder Lacke sind.

19. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass weitere Aktionen eines Spritzgießprozesses, wie z. B. das Betätigen von Kernzügen, das Öffnen und Schließen von Kaskaden, welche spritzenweg-, das heißt spritzenvolumenabhängig oder zeitabhängig gesteuert werden, in Abhängigkeit des Verfahrens gemäß ermittelten realen Füllvolumens ΔV_r gesteuert werden.

20. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest die gelernten Werte für das reale Umschalt-Füllvolumen ($\Delta_{V_{rXfrL}}$) und der Referenzdruck (p_{Ref}) von einer ersten Spritzgießmaschine zu einer zweiten – baugleichen oder nicht baugleichen – Spritzgießmaschine übertragen werden.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

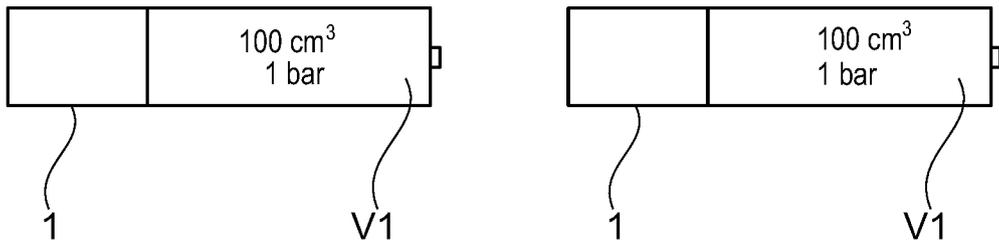


Fig. 1a

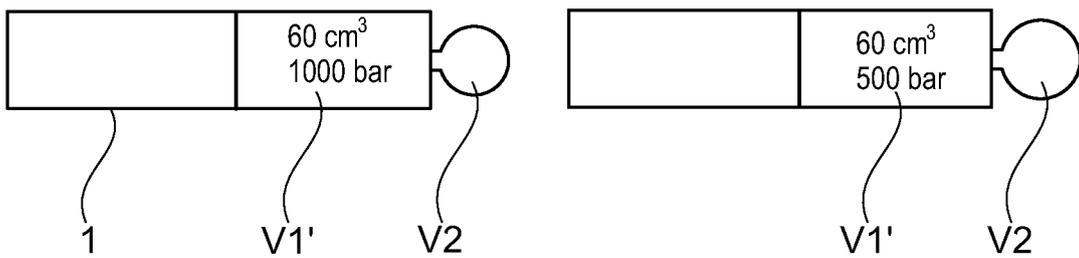


Fig. 1b

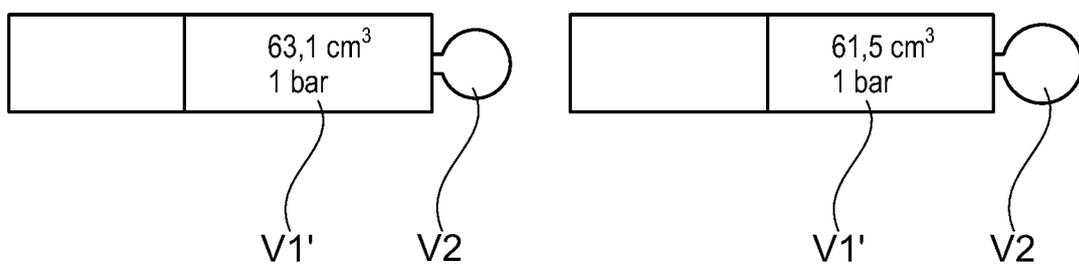


Fig. 1c

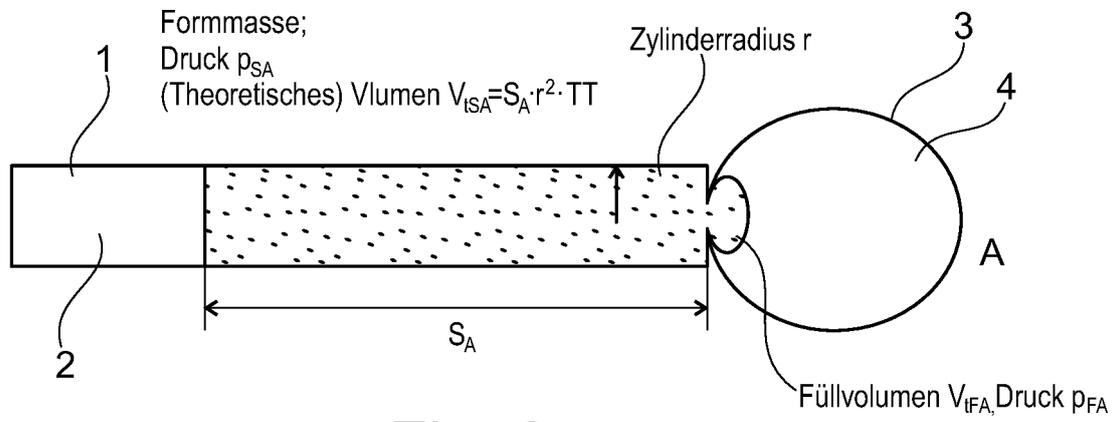


Fig. 2a

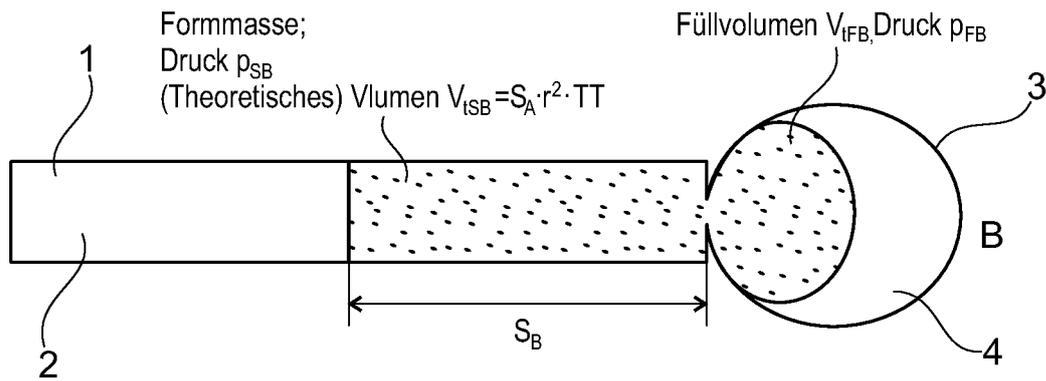


Fig. 2b

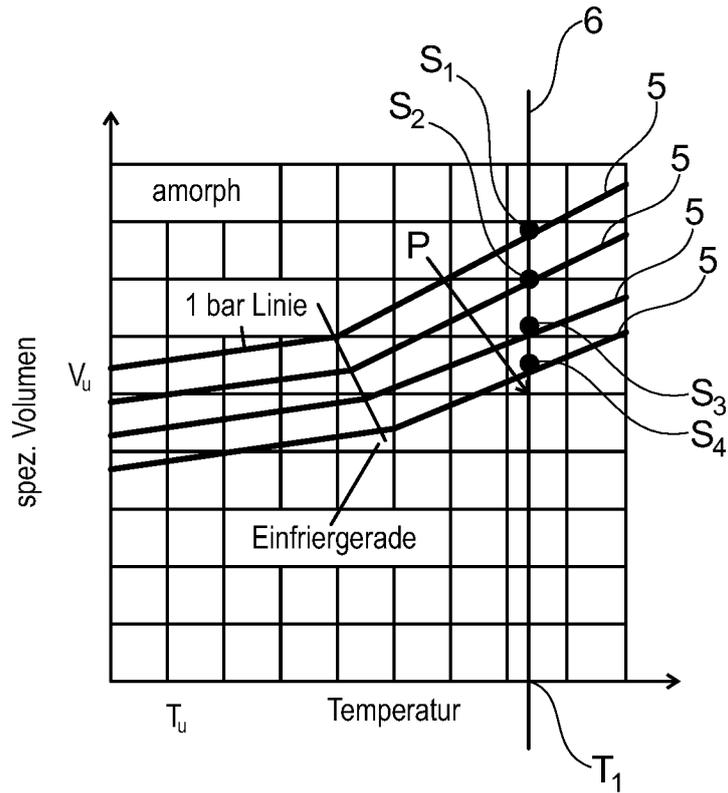


Fig. 3a

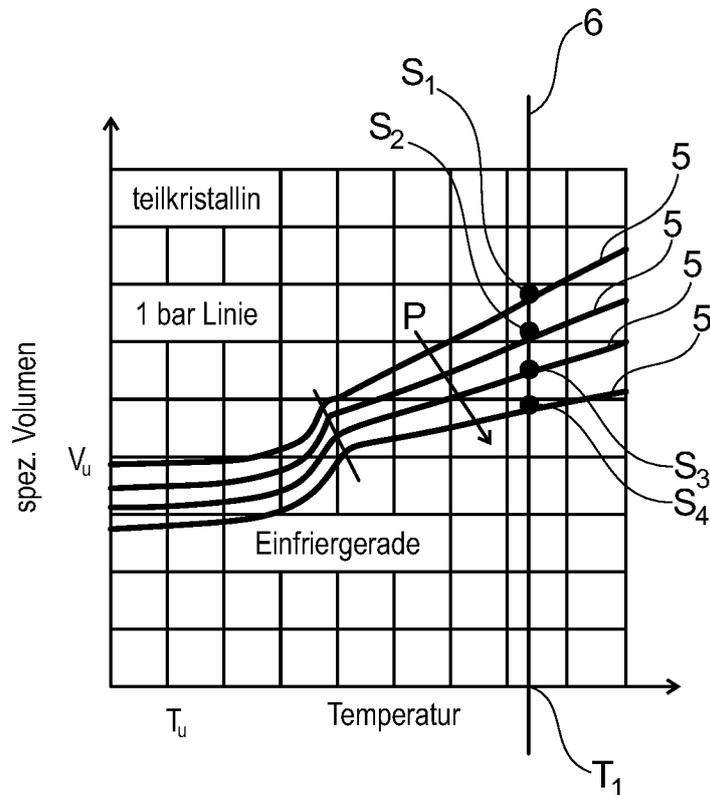


Fig. 3b

T_u = Umgebungstemperatur

V_u = spez. Volumen bei Umgebungsbedingungen

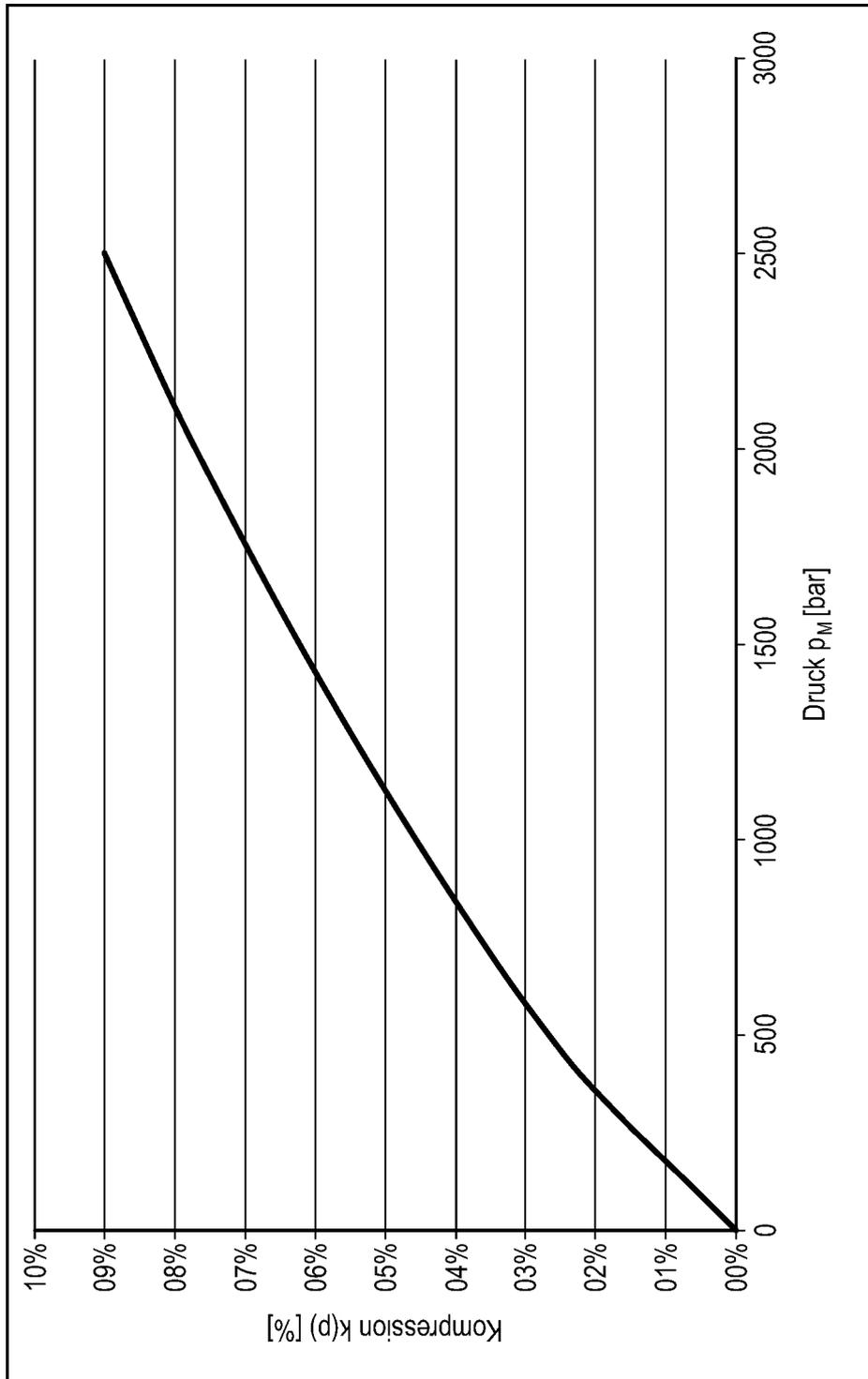


Fig. 4

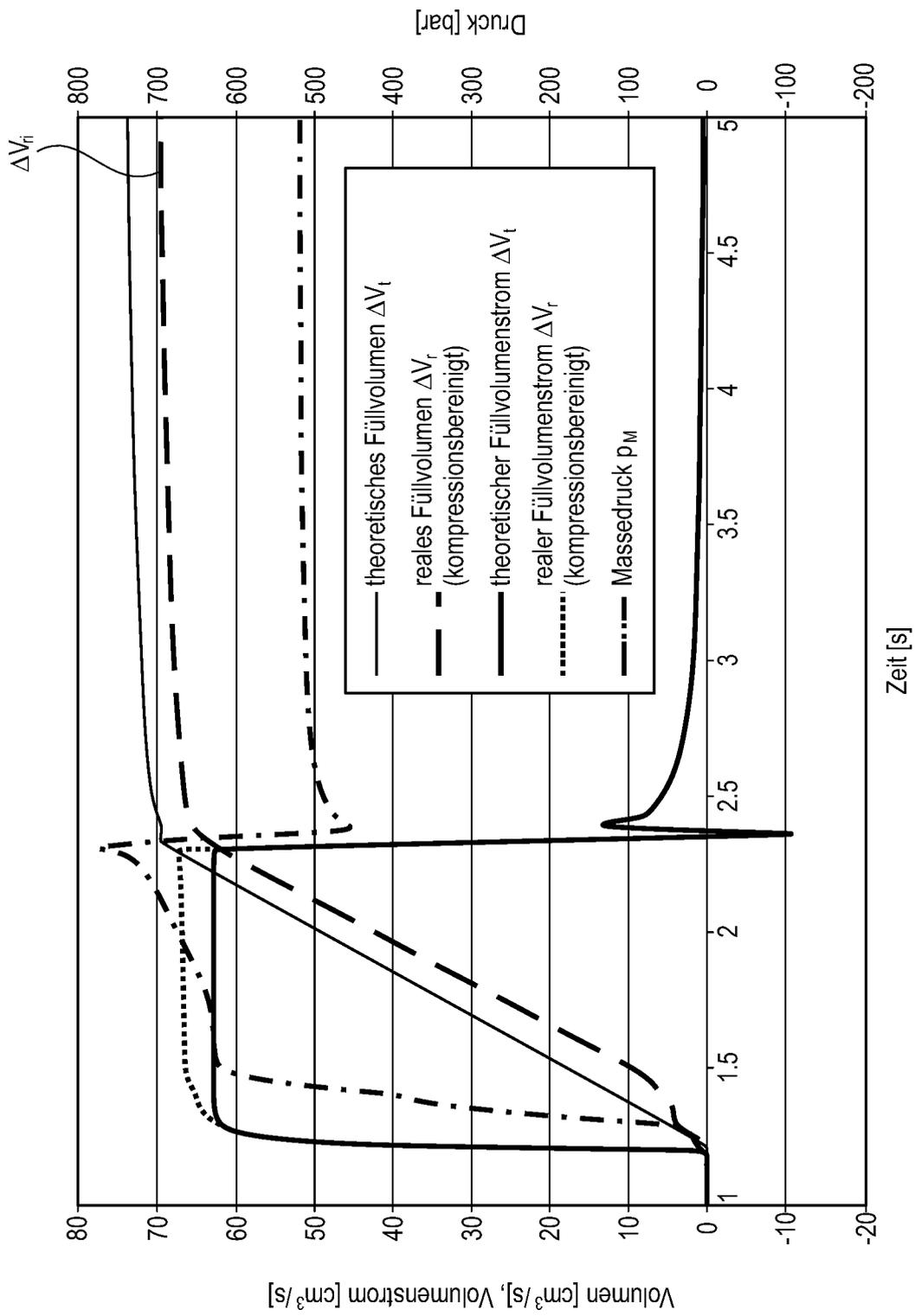


Fig. 5