

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21)	Anmeldenummer:	A 50618/2021	(51)	Int. Cl.:	B29C 45/76	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	23.07.2021			B29C 45/77	(2006.01)
(43)	Veröffentlicht am:	15.02.2023			G06F 30/20	(2020.01)
					G06F 113/22	(2020.01)

(56)	Entgegenhaltungen: DE 102017131025 A1 DE 60214696 T2 WO 2019113166 A1 US 2017015040 A1	(71)	Patentanmelder: ENGEL AUSTRIA GmbH 4311 Schwertberg (AT)
		(72)	Erfinder: Kleindel Stefan Dipl.-Ing. Dr. 1110 Wien (AT) Wagner Paul Joachim Dipl.-Ing. 4481 Asten (AT) Angerer Alfred Dipl.-Ing. 4320 Perg (AT)
		(74)	Vertreter: Torggler & Hofmann Patentanwälte GmbH & Co KG 6020 Innsbruck (AT)

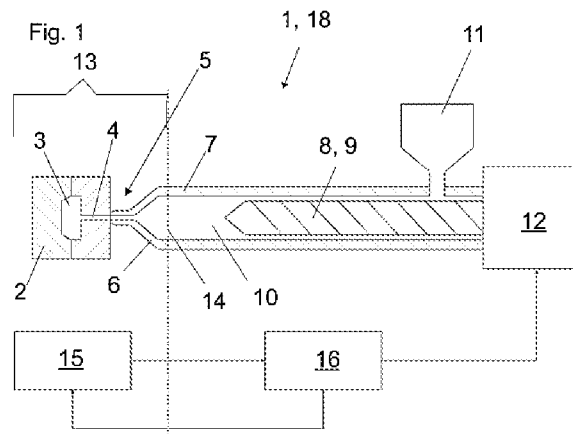
(54) **Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für die Bewegung eines Einspritzaktuators einer Formgebungsmaschine und/oder Simulieren des Einspritzens der Formmasse in eine Kavität**

(57) Computerimplementiertes Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8) einer Formgebungsmaschine (1), wobei

- ein Simulationsgebiet (13) definiert wird, wobei das Simulationsgebiet (13) mindestens eine Kavität (3) eines an der Formgebungsmaschine (1) montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
- zumindest eine Simulation (15) im Simulationsgebiet (13) ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse (10) in die mindestens eine Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils (19) durch eine Eintrittsfläche (14) am Rand des Simulationsgebiets (13) und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird,
- ein mit der Simulation (15) berechnetes Volumenstromprofil und/oder das zumindest eine Volumenstromprofil (19) in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8), insbesondere einer Plastifizierschnecke (9), umgerechnet wird,

wobei

- bei der Umrechnung (16) eine Kompressibilität der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berücksichtigt wird.



Zusammenfassung:

Computerimplementiertes Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8) einer Formgebungsmaschine (1), wobei

- ein Simulationsgebiet (13) definiert wird, wobei das Simulationsgebiet (13) mindestens eine Kavität (3) eines an der Formgebungsmaschine (1) montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
- zumindest eine Simulation (15) im Simulationsgebiet (13) ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse (10) in die mindestens eine Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils (19) durch eine Eintrittsfläche (14) am Rand des Simulationsgebiets (13) und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird,
- ein mit der Simulation (15) berechnetes Volumenstromprofil und/oder das zumindest eine Volumenstromprofil (19) in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8), insbesondere einer Plastifizierschnecke (9), umgerechnet wird,

wobei

- bei der Umrechnung (16) eine Kompressibilität der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berücksichtigt wird.

(Fig. 1)

Die Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für einen Einspritzaktor einer Formgebungsmaschine und ein computerimplementiertes Verfahren zum Simulieren des Einspritzens der Formmasse in eine Kavität. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine nach Anspruch 12 und ein Verfahren zum Übertragen und Anpassen von einem Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors nach Anspruch 13. Auch betrifft die Erfindung eine Formgebungsmaschine nach Anspruch 14 und ein Computerprogrammprodukt nach Anspruch 15 oder 16.

Computerimplementierte Verfahren der genannten Art und Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine sind bereits aus dem Stand der Technik bekannt.

Die Schrift US 10,960,592 B2 offenbart ein Verfahren zum Betreiben einer Spritzgießmaschine, wobei unter anderem ein Simulationsgebiet definiert wird, welches die Kavität des Formgebungswerkzeugs, den Zylinder der Spritzgießmaschine und den Einspritzaktor der Spritzgießmaschine umfasst. Auf diesem Simulationsgebiet wird zumindest eine Simulation auf einem definierten Gitter ausgeführt. Es werden Randbedingungen im Zylinder unter Berücksichtigung der Bewegung des Einspritzaktors bestimmt. Damit wird das Einspritzen einer Formmasse vom Zylinder in die Kavität des Formgebungswerkzeugs mittels numerischer Methoden simuliert. Daraus gewonnene Einstellparameter können leicht auf die Spritzgießmaschine übertragen werden, wobei dann ein realer Spritzgießprozess ausgeführt werden kann. Es kann damit beispielsweise das Füllverhalten der Kavität simuliert werden.

Nachteilig an diesem Stand der Technik ist, dass maschinenspezifisches Wissen wie Schneckendurchmesser, Dosierhub, usw. eines Bedieners notwendig ist, um die Simulation richtig durchzuführen, unter anderem da die Bewegung des Einspritzaktors mitsimuliert werden muss. Zudem sind bei solchen komplexen Simulationen, welche den gesamten Einspritzvorgang simulieren, Optimierungen nur schwer durchführbar.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein computerimplementiertes Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für einen Einspritzaktor einer Formgebungsmaschine und ein computerimplementiertes Verfahren zum Simulieren des Einspritzens der Formmasse in die Kavität zu schaffen, welche leicht und/oder ohne tiefgehendes Wissen über die Formgebungsmaschine von einem Bediener aufsetzbar sind und welche leicht optimierbar sind.

Beim erfindungsgemäßen computerimplementierten Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für einen Einspritzaktor einer Formgebungsmaschine und beim erfindungsgemäßen computerimplementierten Verfahren zum Simulieren des Einspritzens der Formmasse in die Kavität ist vorgesehen, dass ein Simulationsgebiet definiert wird, wobei das Simulationsgebiet mindestens eine Kavität eines an der Formgebungsmaschine montierten Formwerkzeugs umfasst. Auch ist vorgesehen, dass zumindest eine Simulation im Simulationsgebiet ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse in die mindestens eine Kavität des Formgebungswerkzeugs unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils durch eine Eintrittsfläche am Rand des Simulationsgebiets und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird.

Gemäß der Erfindung muss im Simulationsgebiet lediglich die mindestens eine Kavität des Formgebungswerkzeugs abgebildet werden und beispielsweise die Plastifizierschnecke, oder allgemein ein Einspritzaktor zum Einspritzen, kann außen vor bleiben.

Die Bewegung des Einspritzaktors muss deshalb nicht aufwendig mitsimuliert werden. Die Simulation ist damit auch schneller und mit weniger Speicherressourcen durchführbar, womit eine Optimierung effizienter durchgeführt werden kann.

Außerdem müssen die Randbedingungen (Volumenstromprofil und/oder Druckprofil) nicht in Absolutwerten vorgegeben werden, sondern kann beispielsweise über eine gewünschte Einspritzzeit parametrisiert werden. Die Simulation wird dadurch vorteilhafterweise maschinenunabhängig.

Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass ein mit der Simulation berechnetes Volumenstromprofil und/oder das zumindest eine Volumenstromprofil in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators, insbesondere einer Plastifizierschnecke, umgerechnet wird.

Durch die Umrechnung des zumindest einen Volumenstromprofils durch die Eintrittsfläche in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators kann ein Soll-Profil für den Einspritzaktor trotz Verwendung einer vereinfachten Simulation am Simulationsgebiet ohne Berücksichtigung der Formmasse zwischen dem Einspritzaktor und der Eintrittsfläche berechnet werden. Dieses Soll-Profil kann dann zum Betreiben der Formgebungsmaschine und/oder für weitere Simulationen verwendet werden. Es wird kein tiefgehendes maschinenspezifisches Wissen benötigt und das Soll-Profil kann dennoch problemlos auf die Formgebungsmaschine übertragen werden, womit das Verfahren deutlich effektiver als bekannte Verfahren einsetzbar ist.

Der Erfindung liegt also die Erkenntnis zugrunde, dass mit Hilfe einer maschinenunabhängigen Simulation und einer anschließenden Umrechnung, welche die Kompressibilität der Formmasse zwischen dem Einspritzaktor und der Eintrittsfläche berücksichtigt, eine im Vergleich zum Stand der Technik schnellere Simulation mit adäquater Präzision erzielt werden kann.

Beim erfindungsgemäßen computerimplementierten Verfahren kann es in diesem Sinne vorgesehen sein, dass bei der Umrechnung ein mathematisches Modell zum Berechnen der Masse der Formmasse zwischen dem Einspritzaktor und der Eintrittsfläche unter Berücksichtigung dessen Kompressibilität verwendet wird.

Wie erwähnt, muss damit die Formmasse zwischen dem Einspritzaktor und der Eintrittsfläche nicht mitsimuliert werden und es kann dennoch ein akkurates Soll-Profil des Einspritzaktuators unter Berücksichtigung der Kompressibilität erlangt werden.

Beim erfindungsgemäßen computerimplementierten Verfahren nach Anspruch 2 ist zudem vorgesehen, dass eine Gesamtsimulation durchgeführt wird, wobei die Gesamtsimulation das Einspritzen der Formmasse in die Kavität des

Formgebungswerkzeugs und die Formmasse in einem Zylinder der Formgebungsmaschine unter Berücksichtigung der Bewegung des Einspritzaktuator gemäß dem Soll-Profil simuliert (maschinenabhängige Simulation).

So kann die Simulation, welche ohne Berücksichtigung der Formmasse zwischen dem Einspritzaktor und der Eintrittsfläche leicht und effizient durchführbar ist, ein geeignetes Soll-Profil für eine Gesamtsimulation, welche die Formmasse zwischen dem Einspritzaktor und der Eintrittsfläche mitsimuliert, liefern oder verbessern.

Damit kann beispielweise eine Optimierung bezüglich eines gewünschten Simulationsergebnisses leicht mittels der ersten Simulation durchgeführt werden, wobei das Soll-Profil des Einspritzaktuator dann in der Gesamtsimulation verwendet wird (Kombination der Ansprüche 1 und 2). Folglich kann beispielsweise eine weitere Optimierung auf der Ebene der Gesamtsimulation durchgeführt werden, wobei das Soll-Profil aus der ersten Simulation einen geeigneten Anfangswert liefert.

Das in der Simulation berechnete Volumenstromprofil kann besonders bevorzugt am Rand des Simulationsgebiets, insbesondere an der Eintrittsfläche, gelten. Es ist zu erwähnen, dass sich im Regelfall ein Unterschied zwischen dem als Randbedingung vorgegebenen Volumenstromprofil und dem in der Simulation berechneten Volumenstromprofil ergibt, das eine in der Simulation durchgeführte Optimierung widerspiegeln kann. Dies stellt eine Funktionalität erhältlicher Software zum Simulieren von Formgebungsprozessen, insbesondere Spritzgießprozessen, dar.

Unter Formgebungsmaschinen können Spritzgießmaschinen, Spritzpressen, Pressen und dergleichen verstanden werden.

In einem Ausführungsbeispiel ist es vorgesehen, dass eine Optimierung der Randbedingungen durchgeführt wird. Dabei werden vorzugsweise iterativ mehrere Simulationen mit unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt. Besonders bevorzugt kann vorgesehen sein, dass die Randbedingungen abhängig vom Simulationsergebnis mindestens einer vorher ausgeführten Simulation angepasst werden. Damit kann auf ein gewünschtes Simulationsergebnis hin optimiert werden.

Beispielsweise kann eine möglichst konstante Fließfrontgeschwindigkeit in der Kavität gewünscht sein.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass das Simulationsgebiet mindestens ein Angussbereich umfasst. Bei der Simulation wird daher die Formmasse im Angussbereich und in der Kavität mitsimuliert.

Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass das Simulationsgebiet mindestens eine Maschinendüse umfasst. Bei der Simulation wird hier beispielsweise die Formmasse im Angussbereich, der Maschinendüse und in der Kavität mitsimuliert.

Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass das Simulationsgebiet mindestens einen Zylinderflansch umfasst. Bei der Simulation wird hier beispielsweise die Formmasse im Angussbereich, der Maschinendüse, dem Zylinderflansch und in der Kavität mitsimuliert.

In allen genannten Beispielen für das Simulationsgebiet muss nicht die Bewegung des Einspritzaktuators berücksichtigt werden. Daher ist die Simulation leicht durchführbar.

Ebenso kann alternativ oder zusätzlich ein Heißkanal mitsimuliert werden. Wenn der Heißkanal nicht mitsimuliert wird, kann eine Näherungsberechnung bezüglich des Heißkanals verwendet werden.

In einem Ausführungsbeispiel ist die Simulation und/oder die Gesamtsimulation eine CFD-Simulation. CFD steht hier für „Computational Fluid Dynamics“, also numerische Strömungsdynamik. Dazu wird typischerweise ein Gitter im Simulationsbereich eingeführt.

Als Randbedingung kann ein Volumenstromprofil durch die Eintrittsfläche am Rand des Simulationsgebiets vorgegeben werden.

Alternativ oder zusätzlich kann die zumindest eine Simulation unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung durchgeführt werden.

Aus dem Volumenstromprofil kann ein Druckprofil berechnet werden und aus dem Druckprofil kann ein Volumenstromprofil berechnet werden. Damit sind an der Eintrittsfläche zumindest ein Volumenstromprofil oder zumindest ein Druckprofil, beispielsweise zu festen Zeitpunkten, als Randbedingungen vorgegeben.

Grundsätzlich sind auch Mischformen aus einem Volumenstromprofil und einem Druckprofil (zu verschiedenen Zeitpunkten) als Randbedingung vorstellbar.

Es kann vorgesehen sein, dass aus dem Volumenstromprofil und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche ein Dichteprofil an der Eintrittsfläche berechnet wird. Dazu kann vorzugsweise ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet wird/werden. Damit wird die Kompressibilität der Formmasse an der Eintrittsfläche berücksichtigt, unabhängig davon, dass die Kompressibilität auch in anderen Bereichen berücksichtigt werden kann. Zusammen mit dem Volumenstromprofil an der Eintrittsfläche kann somit ein Massenprofil der Masse, welche durch die Eintrittsfläche fließt, berechnet werden. Natürlich kann auch, wie oft üblich, das spezifische Volumen statt der Dichte verwendet werden.

Es sei hier angemerkt, dass das erwähnte mathematische Modell zum Berechnen der Masse der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche in diesem Ausführungsbeispiel in einem Schritt also ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte beinhaltet. Die Kompressibilität der Formmasse wird also bei der Umrechnung insbesondere mittels des physikalischen Modells berücksichtigt.

Die verschiedenen erwähnten Ansätze (Tait, Renner, IKV) sind an sich unter Fachleuten prinzipiell bekannt. Zusätzlich wird auf den am 9. Juni 2020 in der Zeitschrift „Kunststoffe“ erschienen Artikel „Schmelzekompression praxisnah berechnen“ verwiesen.

Hinsichtlich des IKV-Ansatzes kann zusätzlich auf die bei der Montan Universität (Leoben) eingereichte Masterarbeit von Hans-Jürgen Luger mit dem Titel „Reale und virtuelle Prozessoptimierung einer Spiegelantriebskomponente“ verwiesen (August 2013).

In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche ein Zylinderdruckprofil und/oder ein räumliches Druckverteilungsprofil unter Verwendung des zumindest einen Druckprofils an der Eintrittsfläche zugeordnet wird. Damit wird ein Wert des Drucks auch außerhalb des Simulationsbereichs erlangt.

Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, dass das Zylinderdruckprofil oder das Druckverteilungsprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche als räumlich uniform und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche entsprechend angenommen wird. Der Druck wird also auf den Bereich außerhalb des Simulationsbereich verallgemeinert. Es kann auch vorgesehen sein, dass das Druckprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche als mit einem Gradienten ansteigend oder absteigend angenommen wird. So können möglicherweise noch realistischere Resultate erzielt werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird aus dem Zylinderdruckprofil und/oder dem räumlichen Druckverteilungsprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche ein Dichteprofil und/oder ein räumliches Dichteverteilungsprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche berechnet. Wieder kann hier vorzugsweise ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet werden. Damit wird die Kompressibilität der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche berücksichtigt. Damit kann eine Masse der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche in Abhängigkeit eines bekannten Volumens berechnet werden. Auch kann damit ein Volumen der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche in Abhängigkeit einer bekannten Masse berechnet werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass das Masseprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche, insbesondere iterativ, über eine Massenbilanz bestimmt wird. Dabei ist vorzugsweise vorgesehen, dass eine in das Simulationsgebiet abfließende Masse der Formmasse aus dem zumindest einen Volumenstromprofil durch die Eintrittsfläche und dem zumindest einen Zylinderdruckprofil an der Eintrittsfläche berechnet wird und besonders bevorzugt iterativ von der Masse im Zylinder abgezogen wird. Zur Berechnung wird besonders bevorzugt ein genanntes physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte angewendet. Die in das Simulationsgebiet abfließende Masse kann aus dem Produkt von Volumenstrom an der Eintrittsfläche, Dichte an der Eintrittsfläche und Zeitintervall berechnet werden.

Zudem kann vorgesehen sein, dass eine über eine Rückstromsperre des Einspritzactuators abfließende Masse der Formmasse berücksichtigt wird. Damit kann die Umrechnung noch realistischer durchgeführt werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird aus dem Masseprofil ein Soll-Volumenstromprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche berechnet. Das Soll-Volumenstromprofil beschreibt die Änderung des Volumens der Formmasse zu verschiedenen Zeitpunkten. Vorzugsweise wird bei der Berechnung das Dichteprofil und/oder das Dichteverteilungsprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche verwendet.

Aus dem Soll-Volumenstromprofil kann ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzactuators berechnet werden. Hier werden besonders bevorzugt die geometrischen Gegebenheiten des Einspritzactuators und des Zylinders berücksichtigt werden.

Es kann vorgesehen sein, dass die Anzahl der Punkte des Soll-Profiles für die Bewegung des Einspritzactuators mittels eines Reduktionsalgorithmus auf ein für die Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine geeignetes Maß reduziert wird. Dies kann notwendig sein, um das Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzactuators auf die Formgebungsmaschine zu übertragen.

Ein Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine umfasst die folgenden Schritte:

- ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors der Formgebungsmaschine wird erfindungsgemäß berechnet,
- das Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors wird auf die Formgebungsmaschine übertragen,
- ein Formgebungsprozess wird unter Verwendung des Soll-Profiles für die Bewegung des Einspritzaktors auf der Formgebungsmaschine ausgeführt.

Das Soll-Profil mit den vorteilhaften Eigenschaften aus der Simulation kann damit in einem realen Formgebungsprozess verwendet werden.

Alternativ kann das Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktors auf eine Software, zum Beispiel eine virtuelle Formgebungsmaschine (beispielsweise VirtMould), übertragen werden.

In der Praxis kann sich die Notwendigkeit ergeben, ein Formwerkzeug, welches auf einer weiteren Formgebungsmaschine montiert ist, auf die Formgebungsmaschine zu übertragen, d.h. von der weiteren Formgebungsmaschine zu demontieren und auf der Formgebungsmaschine zu montieren. Anders formuliert kann sich die Notwendigkeit ergeben den mit dem Formgebungswerkzeug durchgeführten Formgebungsprozess von einer weiteren Formgebungsmaschine auf die Formgebungsmaschine zu übertragen.

Daraus ergibt sich ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung, nämlich dass das erfindungsgemäße Verfahren mit der erfindungsgemäßen Umrechnung auch dazu verwendet werden kann, aus einem bereits eingerichteten Formgebungsprozess, der auf der weiteren Formgebungsmaschine läuft, ein Soll Profil für die Bewegung des Einspritzaktors der Formgebungsmaschine, zu berechnen.

Ein entsprechendes Verfahren zum Übertragen und Anpassen von einem Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktors von einer weiteren Formgebungsmaschine auf

die mindestens eine Formgebungsmaschine gemäß Anspruch 13 umfasst die folgenden Verfahrensschritte:

In einem ersten Verfahrensschritt wird mindestens ein Formgebungsprozess mit einem Soll-Profil für die Bewegung eines ersten Einspritzaktuators auf mindestens einer weiteren Formgebungsmaschine ausgeführt.

In einem zweiten Verfahrensschritt wird mindestens eine weitere Gesamtsimulation des mindestens einen Formgebungsprozesses auf der weiteren Formgebungsmaschine durchgeführt. Damit können simulierte Prozessgrößen des mindestens einen Formgebungsprozesses gespeichert werden.

In einem dritten Verfahrensschritt wird ein weiteres Simulationsgebiet definiert, wobei das weitere Simulationsgebiet die mindestens eine Kavität des an der weiteren Formgebungsmaschine montierten Formwerkzeugs umfasst.

In einem vierten Verfahrensschritt wird das Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuators der weiteren Formgebungsmaschine in ein Volumenstromprofil durch eine Eintrittsfläche und/oder zumindest ein Druckprofil an der Eintrittsfläche am Rand des weiteren Simulationsgebiets umgerechnet.

In einem fünften Verfahrensschritt wird anschließend mit dem Volumenstromprofil und/oder dem Druckprofil das erfindungsgemäße computerimplementierte Verfahren durchgeführt.

Insbesondere wird daher also ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuators der Formgebungsmaschine berechnet. Somit wurde das Soll-Profil von der weiteren Formgebungsmaschine auf die Formgebungsmaschine übertragen und an die Formgebungsmaschine angepasst. Dies ist insbesondere nützlich, wenn das gleiche Formwerkzeug auf der Formgebungsmaschine und auf der weiteren Formgebungsmaschine verwendet wird.

Das Simulationsgebiet und das weitere Simulationsgebiet ist das gleiche wenn das Simulationsgebiet nur das Formwerkzeug umfasst. Anderenfalls wird ein entsprechendes weiteres Simulationsgebiet gewählt, welches dem Simulationsgebiet ähnelt.

Vorgesehen ist auch eine Formgebungsmaschine, welche geeignet ist, das Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine und das Verfahren zum Übertragen und Anpassen von einem Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors von einer weiteren Formgebungsmaschine auf die mindestens eine Formgebungsmaschine auszuführen.

Auch vorgesehen ist ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bewirken, dass die Formgebungsmaschine das Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine und das Verfahren zum Übertragen von einem Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors von einer weiteren Formgebungsmaschine auf die mindestens eine Formgebungsmaschine ausführt.

Letztlich wird auch Schutz für ein Computerprogramm begehrt, welches Befehle beinhaltet, die einen ausführenden Computer dazu veranlassen, mit dem vorgegebenem Simulationsgebiet ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen.

Die computerimplementierten Verfahren können auf einer Recheneinheit der Formgebungsmaschine ausgeführt werden. Bevorzugt kann das computerimplementierte Verfahren jedoch auf einem externen Computer (beispielsweise mit einer Datenfernübertragungsverbindung mit der Formgebungsmaschine verbunden) und/oder einer Cloud (beispielsweise implementiert als ein Kundenportal des Herstellers der Formgebungsmaschine) ausgeführt werden. Dieser kann mit der Formgebungsmaschine in Datenverbindung stehen.

Mit dem Zusatz „-profil“ wird in diesem Dokument ein zeitlicher Verlauf einer Prozessgröße mit gewissen Zeitpunkten bezeichnet. Es kann auch ein Verlauf einer Prozessgröße in Abhängigkeit einer anderen, fortlaufenden Prozessgröße gemeint sein. Ein Volumenstromprofil kann beispielsweise ein Volumen über Zeit oder Volumen über

den Füllgrad der Kavität sein. Vorzugsweise ist damit der Verlauf über einen Teil eines Zyklus des Formgebungsprozesses gemeint.

Das zumindest eine Volumenstromprofil und/oder das zumindest eine Druckprofil wird im vorliegenden Dokument mitunter einfach als Volumenstromprofil und/oder Druckprofil benannt, weil in den meisten Fällen ein einziges Volumenstromprofil und/oder Druckprofil verwendet wird. Für Fachleute ist es aber klar, dass auch mehrere Volumenstromprofile und/oder Druckprofile verwendet werden können.

Weitere Ausführungsbeispiel und Details sind den Figuren zu entnehmen. Dabei zeigen:

- Fig. 1 Schematische Darstellung einer Einspritzeinheit und eines Formwerkzeugs einer Formgebungsmaschine
- Fig. 2 Kavität, Angussbereich, Maschinendüse und Zylinderflansch
- Fig. 3a Fließfronten in einer Kavität eines Formwerkzeugs vor einer Optimierung
- Fig. 3b Fließfronten in einer Kavität nach einer Optimierung
- Fig. 4a Volumenstromprofil an der Eintrittsfläche als Funktion des Füllgrads der Kavität des Formwerkzeugs als Randbedingung einer Simulation
- Fig. 4b In der Simulation berechnetes Volumenstromprofil über die Zeit
- Fig. 4c In der Simulation berechnetes Druckprofil über die Zeit
- Fig. 4d Soll-Volumenstromprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche als Funktion der Zeit
- Fig. 5 Soll-Volumenstromprofil der Formmasse zwischen dem Einspritzaktuator und der Eintrittsfläche als Funktion der Zeit mit reduzierter Anzahl an Punkten
- Fig. 6 Fließfronten in einer Kavität unter Verwendung des Soll-Profiles für die Bewegung des Einspritzaktuators

Die Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Einspritzeinheit 18 einer Formgebungsmaschine 1 mit einem darauf montierten Formwerkzeug 2. Die Formgebungsmaschine umfasst einen Einspritzaktuator 8 in Form einer Plastifizierschnecke 9. Über einen Einfülltrichter 11 kann thermoplastischer Kunststoff in

Form vom Granulat in den Zylinder 7 eingefüllt werden, welcher von der Plastifizierschnecke 9 plastifiziert wird. Die so entstehende Formmasse wird vor der Plastifizierschnecke 9 aufdosiert.

Beim Einspritzvorgang wird die Formmasse über die Maschinendüse 5 und über den Angussbereich 4 und eine Kavität 3 des Formwerkzeugs 2 eingespritzt.

Die Fig. 2 zeigt eine Detailansicht des Angussbereichs 4, der Maschinendüse 5 und des Zylinderflansches 6 mit der Eintrittsfläche 14. Durch die Eintrittsfläche 14 tritt zum Zeitpunkt t_i ein Volumenstrom $\dot{V}_i$, wobei dort ein Druck p_i vorherrscht.

Die vorliegende Erfindung befasst sich mit dem Simulieren des Einspritzvorgangs. Damit lässt sich beispielsweise das Füllverhalten einer Kavität 3 eines Formwerkzeugs 2 vorhersagen. Damit lassen sich auch relativ einfach Optimierungen durchführen, wobei mindestens eine bestimmte Prozessgröße optimiert werden kann, welche auf experimentellem Weg nicht zugänglich ist. Beispielsweise kann auf eine konstante Fließfrontgeschwindigkeit hin optimiert werden.

Beim erfindungsgemäßen computerimplementierten Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für die Bewegung des Einspritzaktuators 8 der Formgebungsmaschine 1 und beim computerimplementierten Verfahren zum Simulieren des Einspritzens der Formmasse 10 in eine Kavität 3 wird ein Simulationsgebiet 13 definiert, wobei das Simulationsgebiet 13 mindestens eine Kavität 3 eines an der Formgebungsmaschine 1 montierten Formwerkzeugs 2 umfasst. Im Ausführungsbeispiel in der Fig. 1 umfasst das Simulationsgebiet 13 auch den Angussbereich 4, die Maschinendüse 5 und den Zylinderflansch 6.

Die als strichlierte, vertikale Linie visualisierte Grenze des Simulationsgebiets 13 ist in diesem Ausführungsbeispiel so weit rechts in der Abbildung, dass es prinzipiell sein kann, dass die Plastifizierschnecke 9 in das Simulationsgebiet 13 eindringt, was aber in der Regel nicht der Fall sein wird. In der Simulation 15 wird der Einspritzaktor 8 nicht berücksichtigt. Es ist nicht davon auszugehen, dass dadurch eine Verringerung der Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens eintritt.

Erfindungsgemäß könnte der Rand des Simulationsgebiets 13 darüber hinaus auch weiter links festgelegt werden, sodass beispielsweise nur die Kavität 3 oder die Kavität 3 mit dem Angussbereich 4 und/oder der Maschinendüse 5 mit erfasst wird.

Auf dem Simulationsgebiet 13 wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel zumindest eine Simulation 15 ausgeführt, wobei das Einspritzen einer Formmasse 10 in die mindestens eine Kavität 3 des Formgebungswerkzeugs 2 unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils 19 durch eine Eintrittsfläche 14 am Rand des Simulationsgebiets 13 als Randbedingung simuliert wird. Die Simulation 13 kann beispielsweise als CFD-Simulation ausgeführt werden. Die Kompression der Formmasse 10 im Simulationsgebiet 13 wird dabei mitberücksichtigt.

Mittels einer Simulation 15 in einem eingeschränkten Simulationsgebiet 13 kann relativ leicht eine Optimierung der Randbedingungen durchgeführt werden, wobei vorzugsweise iterativ mehrere Simulationen 15 mit unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt werden und besonders bevorzugt wobei die Randbedingungen abhängig vom Simulationsergebnis mindestens einer vorher ausgeführten Simulation 15 angepasst werden.

Als Optimierungsziel kann beispielsweise eine Optimierung der Fließfrontgeschwindigkeit definiert werden. Fig. 3a zeigt die Fließfronten 17 in festen Zeitintervallen bei konstantem Volumenstromprofil in das Simulationsgebiet 13. Sind die Fließfronten 17 nahe beieinander, ist die Fließgeschwindigkeit klein. Sind die Fließfronten 17 weit auseinander, sind die Fließgeschwindigkeiten groß. Zu große und zu kleine Fließfrontgeschwindigkeiten können unter anderem zu Oberflächendefekten am Bauteil führen. Das Ziel ist daher eine möglichst konstante Fließfrontgeschwindigkeit. Die Fließfronten 17 sollten also möglichst konstante Abstände voneinander aufweisen.

Mittels der Simulation 15 im eingeschränkten Simulationsgebiet 13 kann dies relativ leicht erreicht werden, indem die Randbedingungen variiert werden. Die Fig. 3b zeigt

das Resultat einer Optimierung: Die Fließfronten 17 weisen einen relativ konstanten Abstand zueinander auf.

Das Simulationsgebiet 13 der genannten optimierten Simulation umfasst die Kavität 3, den Angussbereich 4, die Maschinendüse 5 und den Zylinderflansch 6. In diesem Simulationsgebiet 13 wird auch die Kompression der Formmasse 10 berücksichtigt.

Das Volumenstromprofil 19, welches das erwähnte optimale Resultat zur Folge hat, ist in Fig. 4a dargestellt. Das Volumenstromprofil 19 ist in relativen Einheiten, dem Füllgrad der Kavität 3 in Prozent, angegeben.

Ein jeweils in der Simulation 15 berechnetes Volumenstromprofil und analog ein Druck (jeweils durch beziehungsweise an der Eintrittsfläche) sind in Fig. 4b beziehungsweise 4c dargestellt, wobei diese Größen jeweils über die Zeit aufgetragen sind (absoluter Volumenstrom und absoluter Druck).

Es ist zu erwähnen, dass das Volumenstromprofil 19 als Randbedingung ebenfalls leicht in Absolutwerte umgerechnet werden kann, beispielsweise indem eine zu erreichende Einspritzzeit vorgegeben wird.

Es ist des Weiteren zu erwähnen, dass das Volumenstromprofil 19 als Randbedingung, welches in Absolutwerte umgerechnet wurde, sich vom in der Simulation berechneten Volumenstrom (Fig. 4b) leicht unterscheiden kann. Das kann zum einen an der Umrechnung selbst, beispielsweise weil in der Simulation die vorgegebene Einspritzzeit nicht genau erreicht wurde, oder zum anderen an der numerischen Natur der Simulation liegen. Für die nachfolgend beschriebene Umrechnung kann sowohl das Simulationsergebnis (Volumenstromprofil aus Fig. 4b) als auch die optimierte Randbedingung (Volumenstromprofil aus Fig. 4a) verwendet werden. Analoges kann für den Druck an der Eintrittsfläche gelten.

In der Folge soll das zumindest eine Volumenstromprofil (in diesem Ausführungsbeispiel das in der Simulation berechnete Volumenstromprofil) in ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuators 8 umgerechnet werden (siehe Umrechnung 16 in Fig. 1). Mit dem Soll-Profil kann dann eine Formgebungsmaschine 1

parametriert werden oder weitere Simulationen in einem größeren Bereich durchgeführt werden. Beispielsweise kann das Ergebnis an einen Antrieb 12 des Einspritzaktuator 8 weitergeleitet werden, wie in der Fig. 1 dargestellt.

Eine Simulation in einem größeren Bereich wird in dieser Anmeldung Gesamtsimulation 20 genannt, wobei die Gesamtsimulation 20 das Einspritzen der Formmasse 10 in die Kavität 3 des Formgebungswerkzeugs 2 und die Formmasse 10 in einem Zylinder 7 der Formgebungsmaschine 1 unter Berücksichtigung der Bewegung des Einspritzaktuator 8 gemäß dem Soll-Profil aus der Umrechnung 16 simuliert.

Diese Umrechnung 16 wird mittels eines mathematischen Modells zum Berechnen der Masse der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 bewerkstelligt, wobei bei der Umrechnung 16 eine Kompressibilität der Formmasse 10 berücksichtigt wird.

Aus der Simulation 15 ist an der Eintrittsfläche 14 am Rand des Simulationsgebiets 13 mindestens ein Volumenstromprofil 19 und mindestens ein Druckprofil bekannt (entweder als in der Simulation berechnetes Volumenstromprofil oder als Randbedingung der Simulation). In anderen Worten ist zu bestimmten Zeitpunkten t_i der Druck p_i und der Volumenstrom $\dot{V}_i$ an der Eintrittsfläche 14 bekannt.

Als erster Schritt der Umrechnung 16 wird ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte verwendet. Aus dem Druckprofil an der Eintrittsfläche 14 kann damit ein Dichteprofil an der Eintrittsfläche 14 berechnet werden.

Als ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte kann beispielsweise ein Tait-Ansatz verwendet werden. Schreibt man die Dichte als spezifisches Volumen

$$\rho = v^{-1}$$

kann der Tait-Ansatz folgendermaßen mathematisch geschrieben werden:

$$\nu(T, p) = (b_{1m} + b_{2m}(T - b_5)) \left[1 - C \ln \left(1 + \frac{p}{b_{3m} e^{[-b_{4m}(T - b_5)]}} \right) \right]$$

wobei T die absolute Temperatur, p der Druck und C eine Konstante ist. Die Koeffizienten b1m bis b4m und b5 sind auf Messdaten gefittete Modellparameter.

Es kann natürlich auch jeder andere physikalische Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte verwendet werden, beispielsweise ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz.

Durch die Verwendung des physikalischen Modells für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte wird die Kompressibilität berücksichtigt.

In einem weiteren Schritt wird ein mathematisches Modell zum Berechnen der Masse der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 verwendet. Insbesondere wird das Masseprofil der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 iterativ über eine Massenbilanz bestimmt. Demnach kann die Masse der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 zum Zeitpunkt t_i aus der folgenden Formel errechnet werden:

$$m_i = m_{i-1} - \dot{V}_i \rho_i \Delta t$$

Hierbei bezeichnen m_i die iterativ berechneten Massen, $\dot{V}_i$ den Volumenstrom, ρ_i die Dichte und Δt die Länge der mit dem Index i indizierten Zeitschritte.

Es wird also eine in das Simulationsgebiet 13 abfließende Masse der Formmasse 10 aus dem zumindest einen Volumenstromprofil 19 durch die Eintrittsfläche 14 und dem zumindest einen Dichteprofil an der Eintrittsfläche 14 berechnet und iterativ abgezogen. Das Dichteprofil kann, wie oben beschrieben, mittels eines physikalischen Modells für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte aus einem Druckprofil berechnet werden, welches wieder aus den Randbedingungen der Simulation 15 bekannt ist. Δt ist hierbei die Schrittweite zwischen zwei Zeitschritten.

Die Anfangsmasse m_0 kann mittels des für die Simulation 15 notwendigen Dosiervolumens V_0 und der Dichte ρ_0 der Formmasse bei Massetemperatur und Umgebungsdruck mittels

$$m_0 = V_0 \rho_0$$

berechnet werden. Wird beispielsweise ein Heißkanal nicht mitmodelliert, kann es nötig sein, ein anderes Anfangsvolumen V_0 zu wählen.

In einem weiteren Schritt der Umrechnung 16 wird der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 ein Druckprofil und/oder ein räumliches Druckverteilungsprofil unter Verwendung des zumindest einen Druckprofils an der Eintrittsfläche 14 zugeordnet. Es wird also ein Druck über das Simulationsgebiet 13 hinaus angenommen.

Aus dem Druckprofil und/oder dem räumlichen Druckverteilungsprofil der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 kann ein Dichteprofil und/oder ein räumliches Dichteverteilungsprofil der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 berechnet werden, vorzugsweise wobei ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet wird.

In dem vorgestellten Ausführungsbeispiel wird das Druckprofil und damit das Dichteprofil der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktuator 8 und der Eintrittsfläche 14 als räumlich uniform und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche 14 entsprechend angenommen. Ebenso wird eine konstante Temperatur angenommen.

Alternativ kann auch ein Druck- und oder Temperaturgradient angenommen werden, was in einer Dichteverteilung resultieren würde.

Mit der zugeordneten Dichte kann aus einer berechneten Masse m_i ein Volumen $V_i^Z = m_i/\rho_i$ der Formmasse zwischen Einspritzaktuator 8 und Eintrittsfläche 14 berechnet

werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel entspricht dies der Formmasse im Zylinder 7.

Eine Volumenänderung $(V_{i-1}^Z - V_i^Z)/\Delta t$ der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktor 8 und der Eintrittsfläche 14, hier insbesondere also im Zylinder 7, in einem Zeitschritt Δt kann demnach ebenfalls berechnet werden. Dieses Profil der Volumenänderung kann als Soll-Volumenstromprofil 21 aufgefasst werden.

Die Fig. 4d zeigt das resultierende Soll-Volumenstromprofil 21 im Zylinder 7 als Funktion der Zeit.

Aus einem so berechneten Soll-Volumenstromprofil 21 kann dann ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors 8 berechnet werden. Dazu müssen lediglich geometrische Daten wie der Zylinderdurchmesser bekannt sein. Eine solche Berechnung kann auch automatisch auf der Formgebungsmaschine 1 erfolgen. Daher kann an der Formgebungsmaschine 1 auch direkt das Soll-Volumenstromprofil 21 eingegeben werden.

Vor dem Übertragen auf eine Formgebungsmaschine 1 kann die Anzahl der Punkte des Soll-Profils für die Bewegung des Einspritzaktors 8 mittels eines Reduktionsalgorithmus auf ein für die Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine 1 geeignetes Maß reduziert werden.

Fig. 5 zeigt dementsprechend ein Soll-Volumenstromprofil 21 der Formmasse 10 zwischen dem Einspritzaktor 8 und der Eintrittsfläche 14 als Funktion der Zeit mit reduzierter Anzahl an Punkten, welches an der Formgebungsmaschine 1 in ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktors 8 mit reduzierter Punktezahl umgerechnet werden kann.

Vor oder nach dem Reduzieren der Anzahl der Punkte des Soll-Profils kann außerdem eine weitere Optimierung durchgeführt werden, indem das errechnete Soll-Volumenstromprofil 21 erneut als Randbedingung für die Simulation 15 verwendet wird,

sodass sich eine Feedback-Schleife ergibt. Dies ist in Fig. 1 durch einen Pfeil von der Umrechnung 16 auf die Simulation 15 angedeutet.

In weiterer Folge kann eine Gesamtsimulation 20 durchgeführt werden, wobei die Gesamtsimulation 20 das Einspritzen der Formmasse 10 in die Kavität 3 des Formgebungswerkzeugs 2 und die Formmasse 10 in einem Zylinder 7 der Formgebungsmaschine 1 unter Berücksichtigung der Bewegung des Einspritzaktuators 8 gemäß dem Soll-Profil aus der Umrechnung 16 simuliert.

In Fig. 6 ist ein Füllbild wie in den Figuren 3a und 3b gezeigt, welches mit einer Gesamtsimulation 20 und dem aus der Umrechnung 16 erhaltenen Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuators 8 erstellt wurde. Die Fließfronten sind immer noch konstant voneinander beabstandet, es zeigt sich nur ein geringer Unterschied zur Fig. 3b. Die einfach durchzuführende Optimierung, welche für die Simulation 15 am Simulationsbereich 13 durchgeführt wurde, ist also immer noch in den Resultaten der Gesamtsimulation 20 ersichtlich.

Es kann wieder eine Optimierung auf der Ebene der Gesamtsimulation 20 durchgeführt werden. Das berechnete Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuators 8 liefert hierzu einen geeigneten Anfangswert.

Bezugszeichenliste:

- | | |
|----|-------------------------|
| 1 | Formgebungsmaschine |
| 2 | Formwerkzeug |
| 3 | Kavität |
| 4 | Angussbereich |
| 5 | Maschinendüse |
| 6 | Zylinderflansch |
| 7 | Zylinder |
| 8 | Einspritzaktuator |
| 9 | Plastifizierschnecke |
| 10 | Formmasse |
| 11 | Einfülltrichter |
| 12 | Antrieb |
| 13 | Simulationsgebiet |
| 14 | Eintrittsfläche |
| 15 | Simulation |
| 16 | Umrechnung |
| 17 | Fließfront |
| 18 | Einspritzeinheit |
| 19 | Volumenstromprofil |
| 20 | Gesamtsimulation |
| 21 | Soll-Volumenstromprofil |

Innsbruck, am 23. Juli 2021

Patentansprüche:

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8) einer Formgebungsmaschine (1), wobei
 - ein Simulationsgebiet (13) definiert wird, wobei das Simulationsgebiet (13) mindestens eine Kavität (3) eines an der Formgebungsmaschine (1) montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
 - zumindest eine Simulation (15) im Simulationsgebiet (13) ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse (10) in die mindestens eine Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils (19) durch eine Eintrittsfläche (14) am Rand des Simulationsgebiets (13) und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird,
 - ein mit der Simulation (15) berechnetes Volumenstromprofil und/oder das zumindest eine Volumenstromprofil (19) in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8), insbesondere einer Plastifizierschnecke (9), umgerechnet wird,dadurch gekennzeichnet, dass
 - dass bei der Umrechnung (16) eine Kompressibilität der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berücksichtigt wird.
2. Computerimplementiertes Verfahren zum Simulieren des Einspritzens der Formmasse (10) in eine Kavität (3), insbesondere nach Anspruch 1, wobei
 - ein Simulationsgebiet (13) definiert wird, wobei das Simulationsgebiet (13) mindestens eine Kavität (3) eines an der Formgebungsmaschine (1) montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
 - zumindest eine Simulation im Simulationsgebiet (13) ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse (10) in die mindestens eine Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils (19) durch eine Eintrittsfläche am Rand des

Simulationsgebiets (13) und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird,

- ein mit der Simulation (15) berechnetes Volumenstromprofil und/oder das Volumenstromprofil (19) in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuator (8), insbesondere einer Plastifizierschnecke (9), umgerechnet wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- anschließend eine Gesamtsimulation (20) durchgeführt wird, wobei die Gesamtsimulation (20) das Einspritzen der Formmasse (10) in die Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) und die Formmasse (10) in einem Zylinder (7) der Formgebungsmaschine (1) unter Berücksichtigung der Bewegung des Einspritzaktuator (8) gemäß dem Soll-Profil aus der Umrechnung (16) simuliert.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Optimierung der Randbedingungen durchgeführt wird, vorzugsweise wobei iterativ mehrere Simulationen (15) mit unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt werden, besonders bevorzugt wobei die Randbedingungen abhängig vom Simulationsergebnis mindestens einer vorher ausgeführten Simulation (15) angepasst werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Simulationsgebiet (13)
 - mindestens einen Angussbereich (4), und/oder
 - mindestens ein Heißkanalsystem, und/oder
 - mindestens eine Maschinendüse (5), und/oder
 - mindestens einen Zylinderflansch (6)umfasst.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Simulation (13) und/oder die Gesamtsimulation (20) eine CFD-Simulation ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei aus dem Volumenstromprofil und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche (14) ein Dichteprofil an der Eintrittsfläche (14) berechnet wird, vorzugsweise wobei ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet wird/werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) ein Zylinderdruckprofil und/oder ein räumliches Druckverteilungsprofil unter Verwendung des zumindest einen Druckprofils an der Eintrittsfläche (14) zugeordnet wird, vorzugsweise wobei das Zylinderdruckprofil oder das Druckverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14)
 - als räumlich uniform und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche (14) entsprechend angenommen wird, und/oder
 - als mit einem Gradienten ansteigend oder absteigend angenommen wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei aus dem Zylinderdruckprofil und/oder dem räumlichen Druckverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) ein Dichteprofil und/oder ein räumliches Dichteverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berechnet wird, vorzugsweise wobei ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Masseprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14), insbesondere iterativ, über eine Massenbilanz bestimmt wird, vorzugsweise wobei
 - eine in das Simulationsgebiet (13) abfließende Masse der Formmasse (10) aus dem zumindest einen Volumenstromprofil (19) durch die Eintrittsfläche (14) und dem zumindest einen Zylinderdruckprofil an der

Eintrittsfläche (14) berechnet wird und besonders bevorzugt iterativ abgezogen wird, und/oder

- eine über eine Rückstromsperre des Einspritzaktuator (8) abfließende Masse der Formmasse (10) berücksichtigt wird.

10. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei aus dem Masseprofil ein Soll-Volumenstromprofil (21) der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berechnet wird, vorzugsweise wobei dabei das Dichteprofil und/oder das Dichteverteilstungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) verwendet wird, und wobei aus dem Soll-Volumenstromprofil (21) ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) berechnet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anzahl der Punkte des Soll-Volumenstromprofils für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) mittels eines Reduktionsalgorithmus auf ein für die Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine (1) geeignetes Maß reduziert wird.

12. Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine (1), wobei

- ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) der Formgebungsmaschine (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche berechnet wird,
- das Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) auf die Formgebungsmaschine (1) übertragen wird,
- ein Formgebungsprozess auf der Formgebungsmaschine (1) unter Verwendung des Soll-Profiles für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) ausgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum Übertragen und Anpassen von einem Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuator von einer weiteren Formgebungsmaschine auf die mindestens eine Formgebungsmaschine (1), wobei

- mindestens ein Formgebungsprozess mit einem Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuators auf mindestens einer weiteren Formgebungsmaschine ausgeführt wird,
- mindestens eine weitere Gesamtsimulation (20) des mindestens einen Formgebungsprozesses auf der weiteren Formgebungsmaschine durchgeführt wird,
- ein weiteres Simulationsgebiet definiert wird, wobei das weitere Simulationsgebiet (13) die mindestens eine Kavität (3) des an der weiteren Formgebungsmaschine montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
- das Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuators der weiteren Formgebungsmaschine in ein Volumenstromprofil (19) durch eine Eintrittsfläche und/oder zumindest ein Druckprofil an der Eintrittsfläche am Rand des weiteren Simulationsgebiets umgerechnet wird, und
- mit dem Volumenstromprofil (19) und/oder dem Druckprofil das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 durchgeführt wird.

14. Formgebungsmaschine (1), welche dazu ausgebildet ist, das Verfahren nach Anspruch 12 und/oder Anspruch 13 auszuführen.

15. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bewirken, dass die Formgebungsmaschine (1) aus dem vorhergehenden Anspruch das Verfahren nach Anspruch 12 und/oder Anspruch 13 ausführt.

16. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die einen ausführenden Computer dazu veranlassen, mit dem vorgegebenen Simulationsgebiet ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 oder 13 auszuführen.

Innsbruck, am 23. Juli 2021

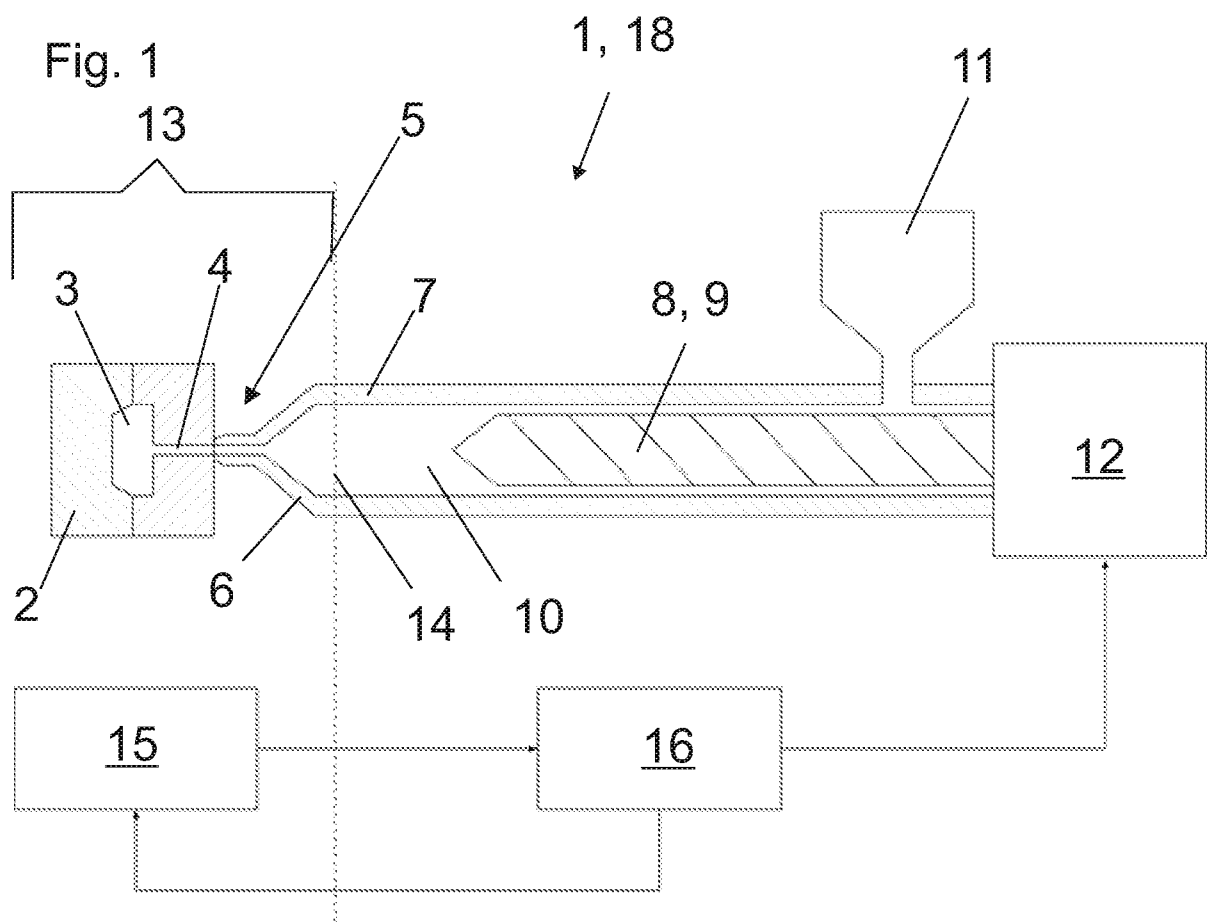


Fig. 2

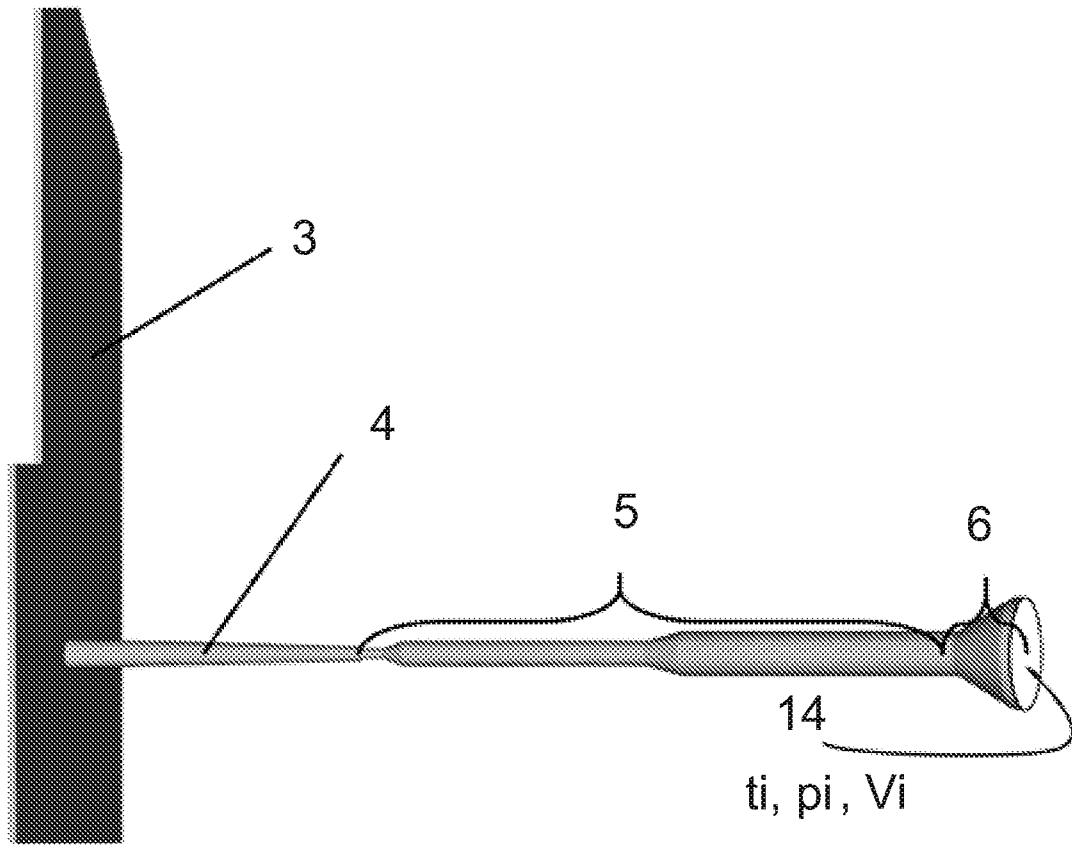


Fig. 3a

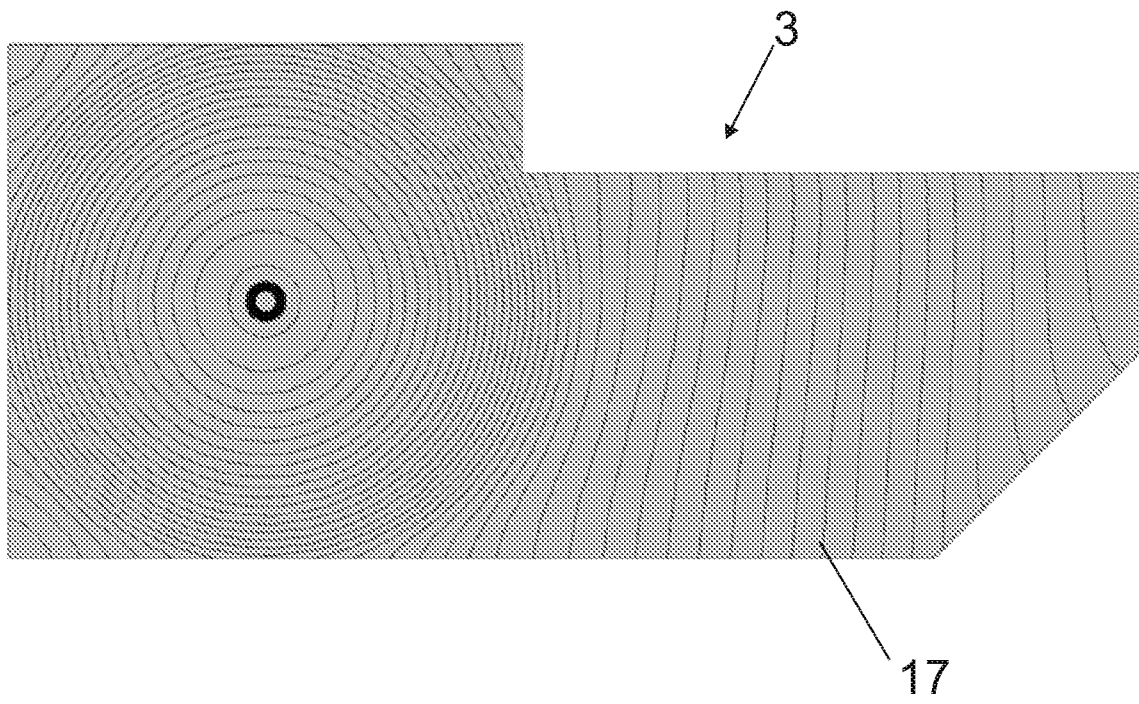


Fig. 3b

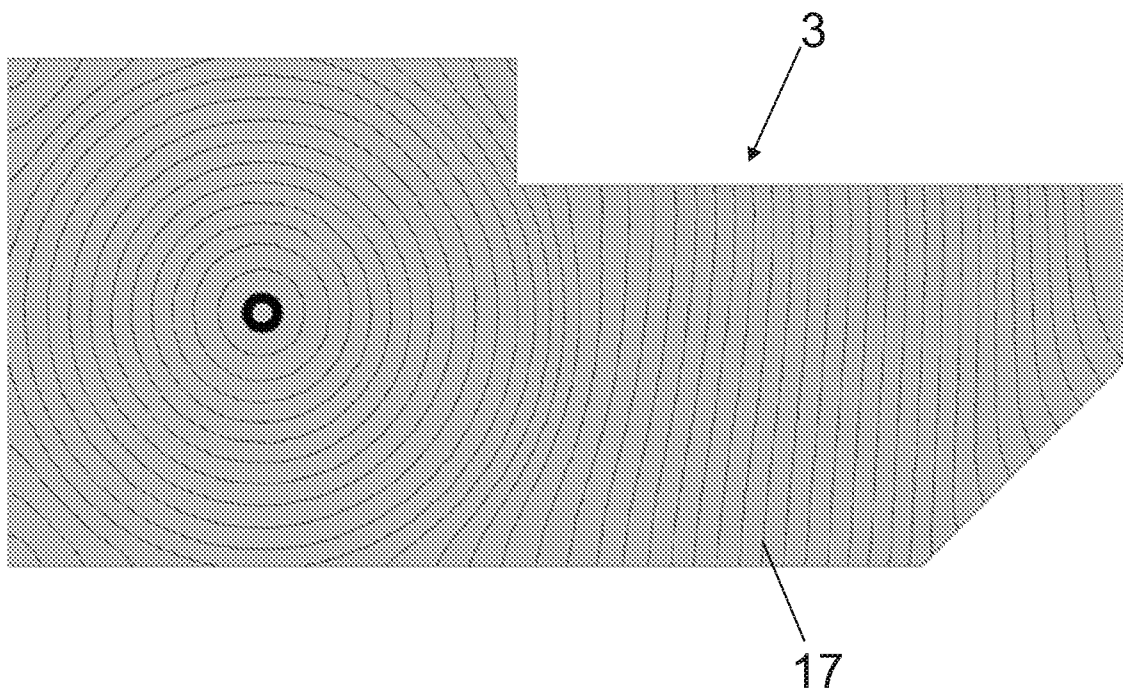


Fig. 4a

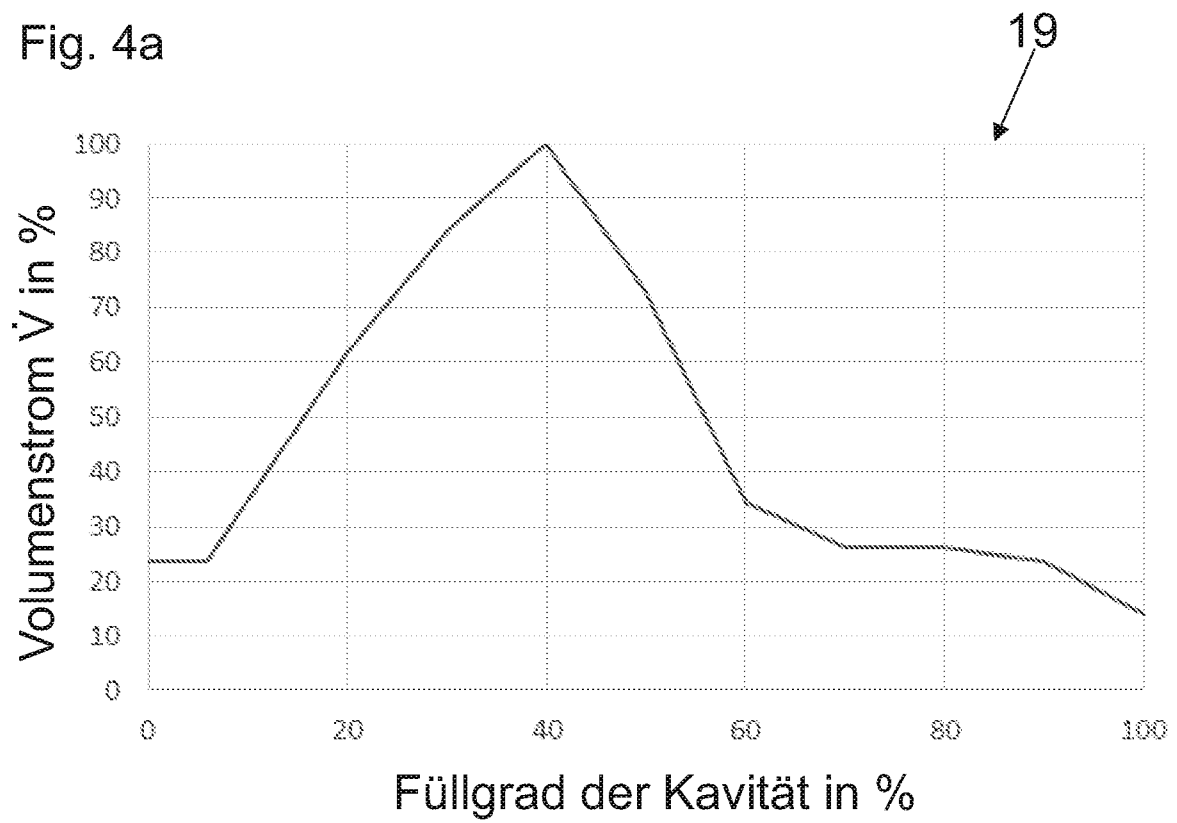


Fig. 4b

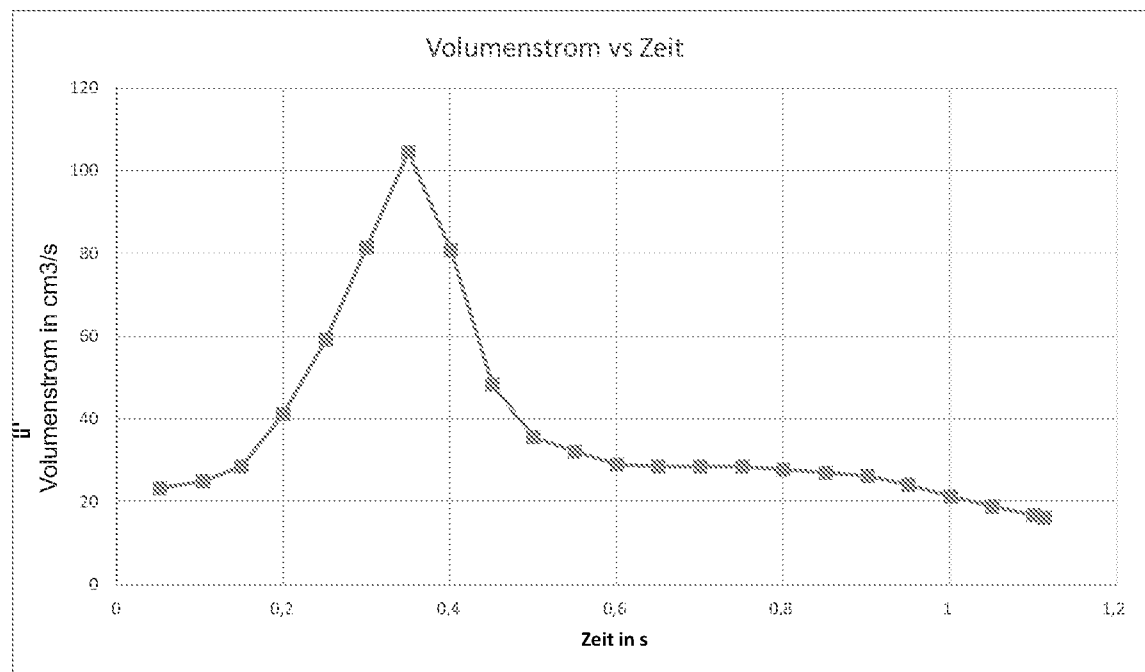


Fig. 4c

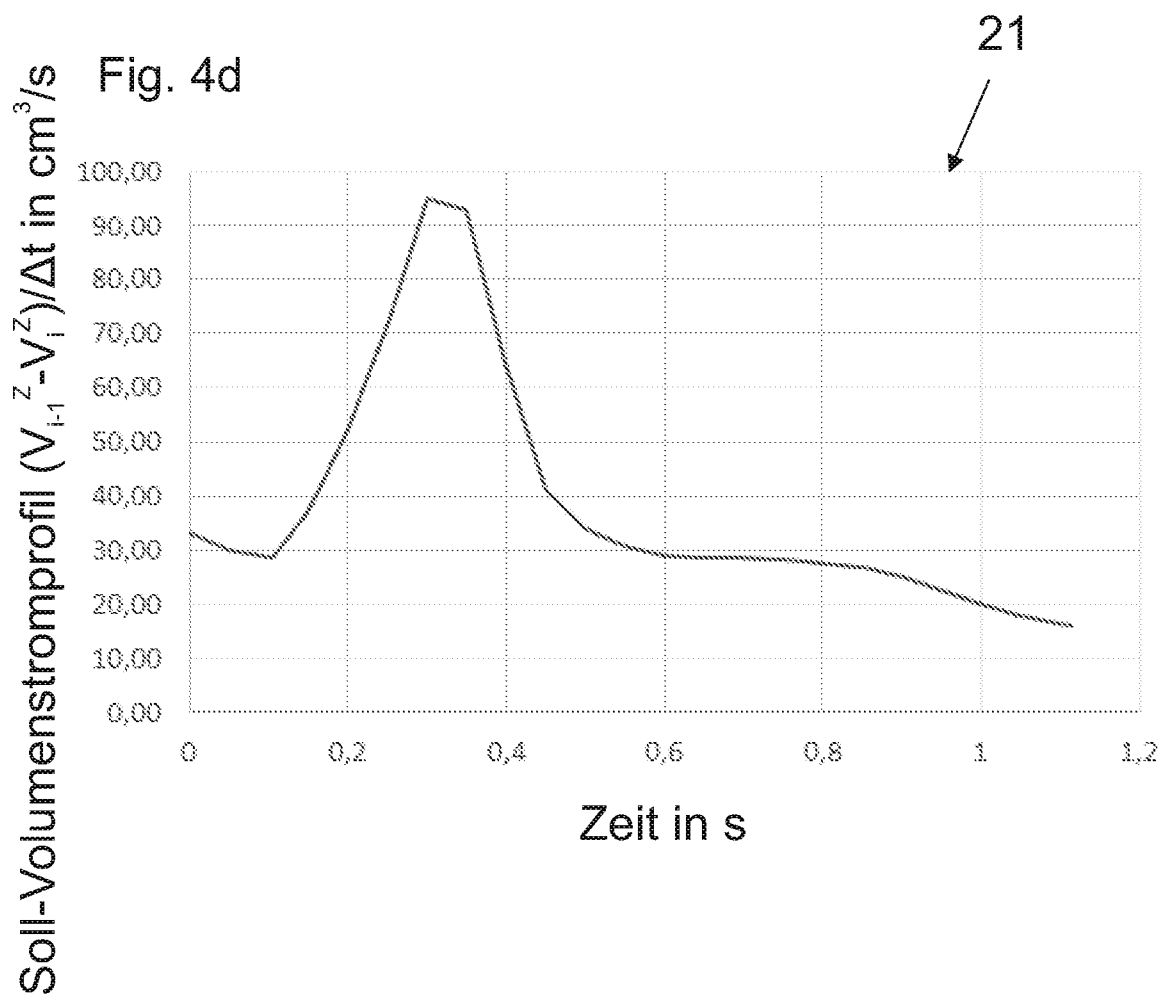
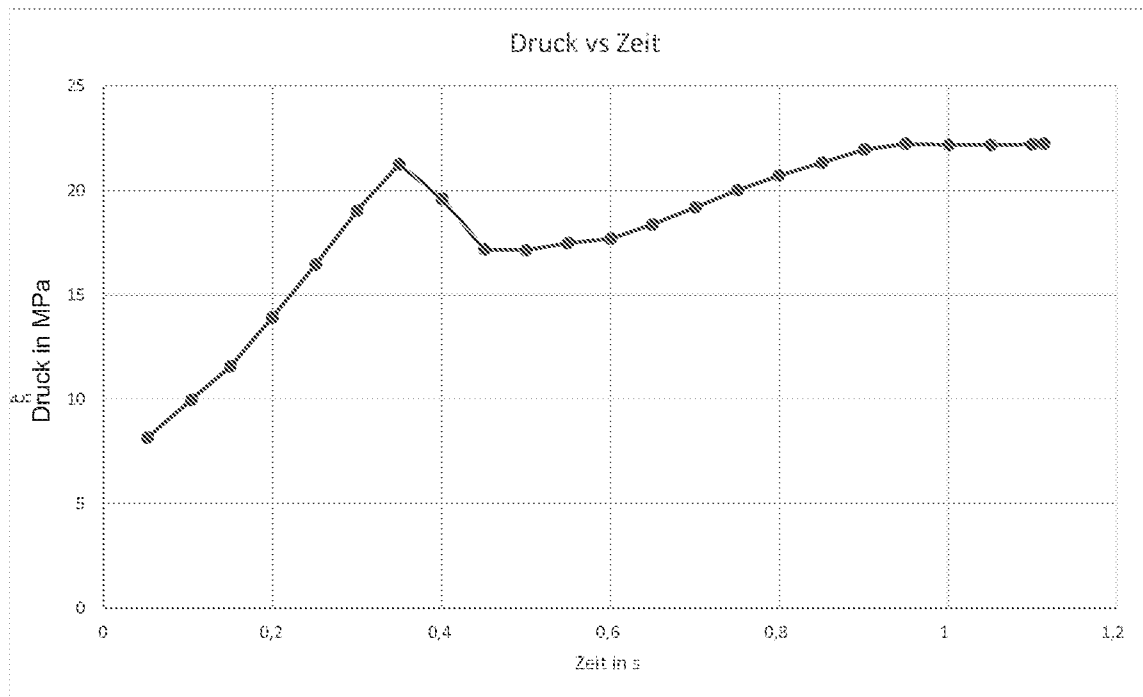


Fig. 5

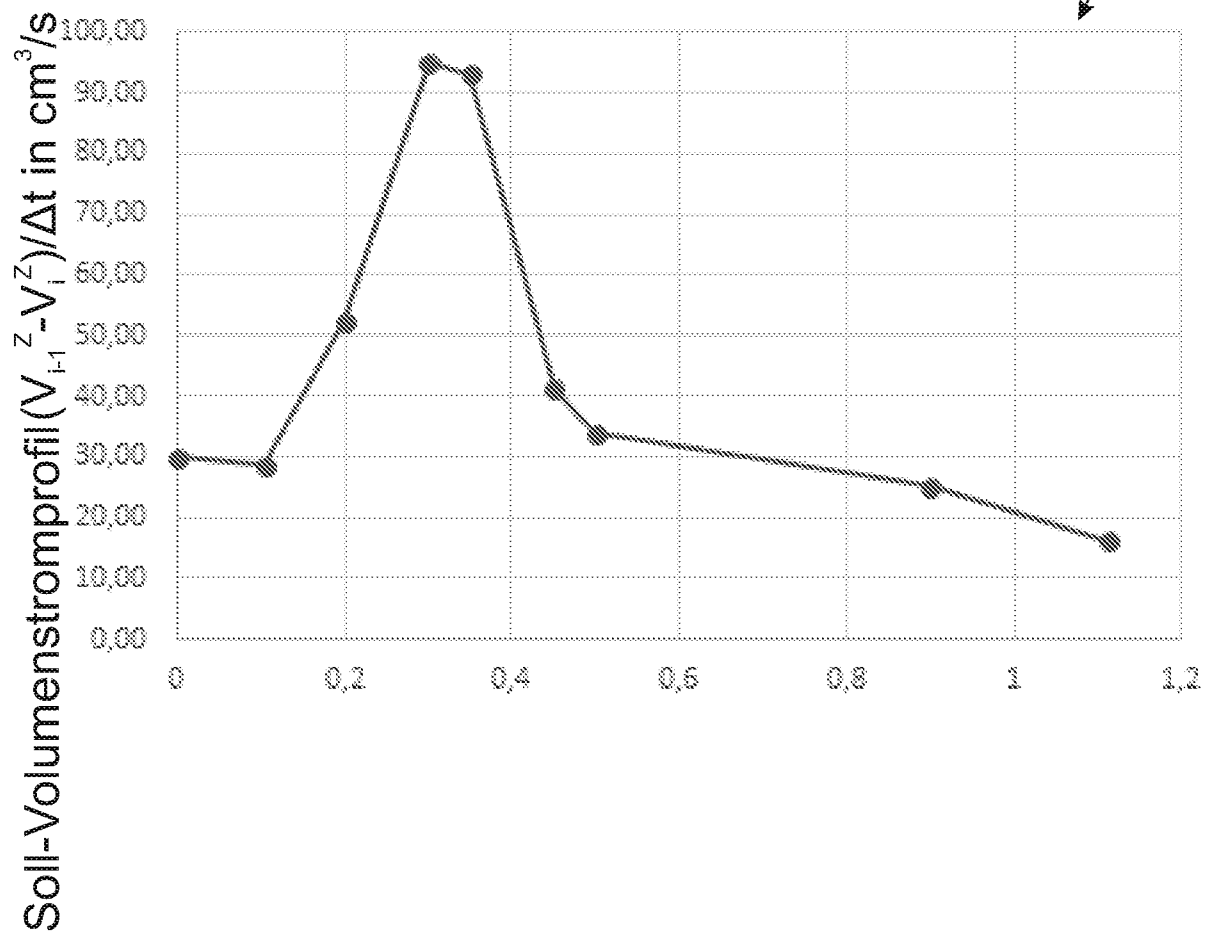
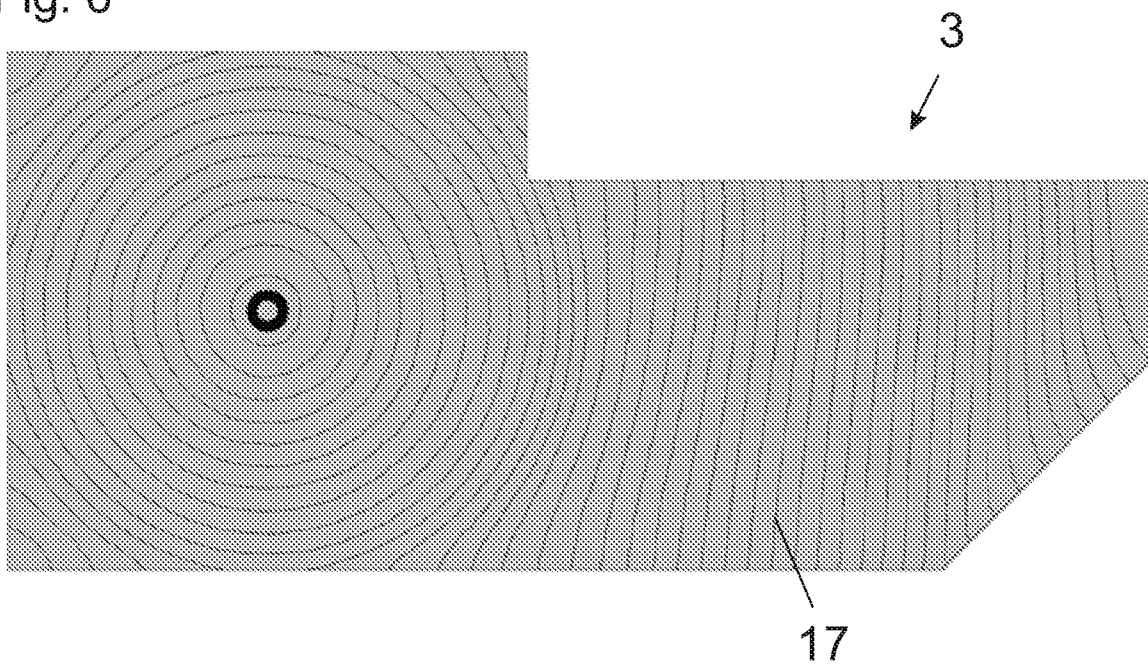


Fig. 6



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

B29C 45/76 (2006.01); B29C 45/77 (2006.01); G06F 30/20 (2020.01); G06F 113/22 (2020.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

B29C 45/7693 (2017.01); B29C 45/77 (2013.01); G06F 30/20 (2020.01); G06F 2113/22 (2020.01); B29C 2945/7606 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

B29C, G06F

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 23.07.2021 eingereichten Ansprüchen 1-16 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 102017131025 A1 (ENGEL AUSTRIA GMBH) 28. Juni 2018 (28.06.2018) ganzes Dokument	1, 14, 15-16
A	DE 60214696 T2 (SIMCON KUNSTSTOFFTECHNISCHE SO) 06. September 2007 (06.09.2007) ganzes Dokument	1-16
A	WO 2019113166 A1 (RJG INC) 13. Juni 2019 (13.06.2019) ganzes Dokument	1-16
A	US 2017015040 A1 (CHANG YUING et al.) 19. Januar 2017 (19.01.2017) ganzes Dokument	1-16

Datum der Beendigung der Recherche:

28.04.2022

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

SCHMELZER Peter

*) Kategorien der angeführten Dokumente:

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

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

Geänderte Patentansprüche:

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Berechnen eines Soll-Profiles für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8) einer Formgebungsmaschine (1), wobei
 - ein Simulationsgebiet (13) definiert wird, wobei das Simulationsgebiet (13) mindestens eine Kavität (3) eines an der Formgebungsmaschine (1) montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
 - zumindest eine Simulation (15) im Simulationsgebiet (13) ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse (10) in die mindestens eine Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils (19) durch eine Eintrittsfläche (14) am Rand des Simulationsgebiets (13) und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird,
 - ein mit der Simulation (15) berechnetes Volumenstromprofil und/oder das zumindest eine Volumenstromprofil (19) in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8), insbesondere einer Plastifizierschnecke (9), umgerechnet wird,
 dadurch gekennzeichnet, dass
 - dass bei der Umrechnung (16) eine Kompressibilität der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berücksichtigt wird.

2. Computerimplementiertes Verfahren zum Simulieren des Einspritzens der Formmasse (10) in eine Kavität (3), insbesondere nach Anspruch 1, wobei
 - ein Simulationsgebiet (13) definiert wird, wobei das Simulationsgebiet (13) mindestens eine Kavität (3) eines an der Formgebungsmaschine (1) montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
 - zumindest eine Simulation im Simulationsgebiet (13) ausgeführt wird, wobei das Einspritzen einer Formmasse (10) in die mindestens eine Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) unter Vorgabe zumindest eines Volumenstromprofils (19) durch eine Eintrittsfläche am Rand des Simulationsgebiets (13) und/oder unter Vorgabe zumindest eines Druckprofils an der Eintrittsfläche als Randbedingung simuliert wird,

- ein mit der Simulation (15) berechnetes Volumenstromprofil und/oder das Volumenstromprofil (19) in ein Soll-Profil für die Bewegung eines Einspritzaktuators (8), insbesondere einer Plastifizierschnecke (9), umgerechnet wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - anschließend eine Gesamtsimulation (20) durchgeführt wird, wobei die Gesamtsimulation (20) das Einspritzen der Formmasse (10) in die Kavität (3) des Formgebungswerkzeugs (2) und die Formmasse (10) in einem Zylinder (7) der Formgebungsmaschine (1) unter Berücksichtigung der Bewegung des Einspritzaktuators (8) gemäß dem Soll-Profil aus der Umrechnung (16) simuliert.
- 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Optimierung der Randbedingungen durchgeführt wird, vorzugsweise wobei iterativ mehrere Simulationen (15) mit unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt werden, besonders bevorzugt wobei die Randbedingungen abhängig vom Simulationsergebnis mindestens einer vorher ausgeführten Simulation (15) angepasst werden.
- 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Simulationsgebiet (13)
 - mindestens einen Angussbereich (4), und/oder
 - mindestens ein Heißkanalsystem, und/oder
 - mindestens eine Maschinendüse (5), und/oder
 - mindestens einen Zylinderflansch (6)
 umfasst.
- 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Simulation (13) und/oder die Gesamtsimulation (20) eine CFD-Simulation ist.
- 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei aus dem Volumenstromprofil und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche (14) ein Dichteprofil an der Eintrittsfläche (14) berechnet wird, vorzugsweise wobei ein physikalisches Modell für den

Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet wird/werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktuator (8) und der Eintrittsfläche (14) ein Zylinderdruckprofil und/oder ein räumliches Druckverteilungsprofil unter Verwendung des zumindest einen Druckprofils an der Eintrittsfläche (14) zugeordnet wird, vorzugsweise wobei das Zylinderdruckprofil oder das Druckverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktuator (8) und der Eintrittsfläche (14)
 - als räumlich uniform und/oder dem Druckprofil an der Eintrittsfläche (14) entsprechend angenommen wird, und/oder
 - als mit einem Gradienten ansteigend oder absteigend angenommen wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei aus dem Zylinderdruckprofil und/oder dem räumlichen Druckverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktuator (8) und der Eintrittsfläche (14) ein Dichteprofil und/oder ein räumliches Dichteverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktuator (8) und der Eintrittsfläche (14) berechnet wird, vorzugsweise wobei ein physikalisches Modell für den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Dichte, besonders bevorzugt ein Tait-Ansatz, ein Renner-Ansatz und/oder ein IKV-Ansatz, angewendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Masseprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktuator (8) und der Eintrittsfläche (14), insbesondere iterativ, über eine Massenbilanz bestimmt wird, vorzugsweise wobei
 - eine in das Simulationsgebiet (13) abfließende Masse der Formmasse (10) aus dem zumindest einen Volumenstromprofil (19) durch die Eintrittsfläche (14) und dem zumindest einen Zylinderdruckprofil an der Eintrittsfläche (14) berechnet wird und besonders bevorzugt iterativ abgezogen wird, und/oder

- eine über eine Rückstromsperre des Einspritzaktuator (8) abfließende Masse der Formmasse (10) berücksichtigt wird.
10. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei aus dem Masseprofil ein Soll-Volumenstromprofil (21) der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) berechnet wird, vorzugsweise wobei dabei das Dichteprofil und/oder das Dichteverteilungsprofil der Formmasse (10) zwischen dem Einspritzaktor (8) und der Eintrittsfläche (14) verwendet wird, und wobei aus dem Soll-Volumenstromprofil (21) ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) berechnet wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anzahl der Punkte des Soll-Volumenstromprofils für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) mittels eines Reduktionsalgorithmus auf ein für die Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine (1) geeignetes Maß reduziert wird.
12. Verfahren zum Betreiben einer Formgebungsmaschine (1), wobei
- ein Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) der Formgebungsmaschine (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche berechnet wird,
 - das Soll-Profil für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) auf die Formgebungsmaschine (1) übertragen wird,
 - ein Formgebungsprozess auf der Formgebungsmaschine (1) unter Verwendung des Soll-Profils für die Bewegung des Einspritzaktuator (8) ausgeführt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum Übertragen und Anpassen von einem Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuator von einer weiteren Formgebungsmaschine auf die mindestens eine Formgebungsmaschine (1), wobei
- mindestens ein Formgebungsprozess mit einem Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuator auf mindestens einer weiteren Formgebungsmaschine ausgeführt wird,

- mindestens eine weitere Gesamtsimulation (20) des mindestens einen Formgebungsprozesses auf der weiteren Formgebungsmaschine durchgeführt wird,
- ein weiteres Simulationsgebiet definiert wird, wobei das weitere Simulationsgebiet (13) die mindestens eine Kavität (3) des an der weiteren Formgebungsmaschine montierten Formwerkzeugs (2) umfasst,
- das Soll-Profil für die Bewegung eines weiteren Einspritzaktuators der weiteren Formgebungsmaschine in ein Volumenstromprofil (19) durch eine Eintrittsfläche und/oder zumindest ein Druckprofil an der Eintrittsfläche am Rand des weiteren Simulationsgebiets umgerechnet wird, und
- mit dem Volumenstromprofil (19) und/oder dem Druckprofil das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 durchgeführt wird.

14. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bewirken, dass eine Formgebungsmaschine (1) das Verfahren nach Anspruch 12 und/oder Anspruch 13 ausführt.

15. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die einen ausführenden Computer dazu veranlassen, mit dem vorgegebenen Simulationsgebiet ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 oder 13 auszuführen.

Innsbruck, am 26. August 2022