

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 51183/2016
 (22) Anmeldetag: 23.12.2016
 (43) Veröffentlicht am: 15.04.2018

(51) Int. Cl.: **B29C 45/76** (2006.01)
G05B 19/418 (2006.01)
G06F 17/50 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 AT 507593 A1
 DE 10360530 A1
 WO 0167193 A2

(71) Patentanmelder:
 ENGEL AUSTRIA GmbH
 4311 Schwertberg (AT)

(72) Erfinder:
 Mag. Stöhr Anton Frederik PhD
 4300 St. Valentin (AT)
 Dipl.Ing. Gießauf Josef
 4320 Perg (AT)

(74) Vertreter:
 Mag. Dr. Paul N. Torggler, Dipl.-Ing. Dr. Stephan
 Hofinger, Mag. Dr. Markus Gangl, MMag. Dr.
 Christoph Maschler, Dipl.-Ing. (FH) Dr. Bernhard
 Hechenleitner, Dipl.-Phys. Dr. Almar Lercher
 6020 Innsbruck (AT)

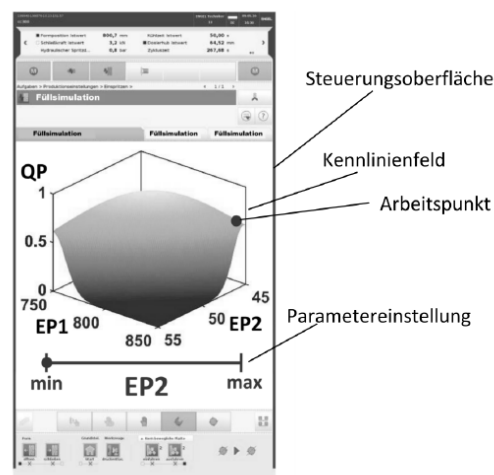
(54) Verfahren zum Einstellen einer Formgebungsmaschine

(57) Verfahren zum Einstellen einer Formgebungsmaschine, mittels welcher ein zyklisch ablaufender Formgebungsprozess durchgeführt wird, durch Auffinden von Werten für Einstellparameter, welche Einstellparameter eine Ansteuerung von ansteuerbaren Komponenten der Formgebungsmaschine während des Formgebungsprozesses zumindest teilweise festlegen, unter Durchführung mehrerer Simulationen des Formgebungsprozesses auf Basis zumindest eines ersten Parameters und zumindest eines zweiten Parameters, wobei

- der zumindest eine erste Parameter physikalische Gegebenheiten des Formgebungsprozesses beschreibt,
- der zumindest eine zweite Parameter als Basis für zumindest einen der Einstellparameter der Formgebungsmaschine geeignet ist,
- die Simulationen auf Basis von verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters durchgeführt werden und

(d) aus Ergebnissen der Simulationen für die verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters Werte von zumindest einem Qualitätsparameter berechnet werden.

Fig. 1



Zusammenfassung

Verfahren zum Einstellen einer Formgebungsmaschine, mittels welcher ein zyklisch ablaufender Formgebungsprozess durchgeführt wird, durch Auffinden von Werten für Einstellparameter, welche Einstellparameter eine Ansteuerung von ansteuerbaren Komponenten der Formgebungsmaschine während des Formgebungsprozesses zumindest teilweise festlegen, unter Durchführung mehrerer Simulationen des Formgebungsprozesses auf Basis zumindest eines ersten Parameters und zumindest eines zweiten Parameters, wobei

- (a) der zumindest eine erste Parameter physikalische Gegebenheiten des Formgebungsprozesses beschreibt,
- (b) der zumindest eine zweite Parameter als Basis für zumindest einen der Einstellparameter der Formgebungsmaschine geeignet ist,
- (c) die Simulationen auf Basis von verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters durchgeführt werden und
- (d) aus Ergebnissen der Simulationen für die verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters Werte von zumindest einem Qualitätsparameter berechnet werden.

(Fig. 1)

Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zum Einstellen einer Formgebungsmaschine, mittels welcher ein zyklisch ablaufender Formgebungsprozess durchgeführt wird.

Insbesondere betrifft die Erfindung Verfahren, bei denen Werte für Einstellparameter, welche Einstellparameter eine Ansteuerung von ansteuerbaren Komponenten, wie zum Beispiel Antrieben der Formgebungsmaschine, während des Formgebungsprozesses zumindest teilweise festlegen, aufgefunden werden, unter Durchführung mehrerer Simulationen des Formgebungsprozesses auf Basis zumindest eines ersten Parameters und zumindest eines zweiten Parameters, wobei

- (a) der zumindest eine erste Parameter physikalische Gegebenheiten des Formgebungsprozesses beschreibt,
- (b) der zumindest eine zweite Parameter als Basis für zumindest einen der Einstellparameter der Formgebungsmaschine geeignet ist,
- (c) die Simulationen auf Basis von verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters durchgeführt werden,
- (d) aus Ergebnissen der Simulationen für die verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters Werte von zumindest einem Qualitätsparameter berechnet werden, und
- (e) die Formgebungsmaschine bereitgestellt wird.

Formgebungsmaschinen können dabei beispielsweise Spritzgießmaschinen, Spritzpressen, Pressen und dergleichen sein. Formgebungsprozesse folgen dieser Terminologie analog.

Im Folgenden wird der Stand der Technik in Bezug auf Spritzgießmaschinen (kurz „SGM“) und Spritzgießprozesse (kurz „SG-Prozesse“) dargelegt. Die Schlussfolgerungen gelten aber allgemeiner für Formgebungsmaschinen und -prozesse.

Experimentelles Vorgehen zur Maschineneinstellung

Die Einstellung der Spritzgießmaschine erfolgt heute wie auch vor 30 Jahren mittels Einstellen einzelner Einstellparameter per Hand in der Maschinensteuerung. Manche Assistenzsysteme sind im Gebrauch, um den Bediener während des Einstellvorganges zu unterstützen. Generell ist das schrittweise Vorgehen gemäß eines Trial-and-Fail- oder eines One-Parameter-At-A-Time-Ansatzes immer noch gang und gäbe. Der Erfolg dieses Vorgehens ist stark von der Erfahrung und der Kunst des jeweiligen Bedieners abhängig. Expertenwissen, welches in Software implementierter Form oder in gedruckten Ratgebern erhältlich ist, kann bei der Findung eines Arbeitspunktes, welcher zu Kunststoffprodukten ausreichender Qualität führt, hilfreich sein. Eine Optimierung des Spritzgießprozesses kann ebenfalls durch die Kunst einer statistischen Versuchsplanung unterstützt werden. Ein rein experimentelles Verfahren führt zu akzeptablen Prozessen. Jedoch sind diese oft nicht besonders robust gegenüber Störeinflüssen und bilden bestenfalls eines von vielen lokalen Optima in einem verhältnismäßig großen Parameterraum.

Simulationen zur Maschineneinstellung

Das pure Simulieren von Spritzgießprozessen sowie die Durchführung von mittels Versuchsplanung durchgeführten Prozessoptimierungen mit anschließender Übernahme von Einstellparametern in die SGM Steuerung sind Stand der Technik. Ebenfalls ist es Stand der Technik, mittels Simulationen Bereiche von Einstellparametern zu finden (Prozessfenster), innerhalb derer ein Prozess Produkte mit Eigenschaften innerhalb vorgegebener Toleranzen liefert. Begriffe wie „Virtual Moulding“ oder „Virtuelle Werkzeugabmusterung“ sind im Umlauf.

Aufgrund des damit verbundenen Aufwands, der Verfügbarkeit geeigneter Software und geschultem Personal scheinen sich Simulationen zum Zweck und im Vorfeld von Werkzeugabmusterungen in der Praxis jedoch noch nicht etabliert zu haben. Softwareanbieter bewerben jedoch die Vorteile eines holistischen Ansatzes vom

Bauteildesign über die Werkzeugkonstruktion bis zur Serienproduktion. Neben den reinen Kavitäten wird dabei auch der Rest des SG-Prozesses inklusive Angussystem und Temperierung erfasst. Somit sollen zumindest die notwendige Maschinenfähigkeit bestimmt, ein grober Arbeitspunkt abgeschätzt und Einflüsse bzw. Tendenzen von diversen Parametern vorab analysiert werden können. Das reale Maschinenverhalten samt Spielen und Reaktionszeiten findet in der Regel keine Berücksichtigung, jedoch werden in manchen Fällen diverse Parameter nur innerhalb bestimmter enger Grenzen eines jeweiligen SGM-Modells variiert.

Aufgrund der anhaltenden Entwicklungen von leistungsfähigen Rechnern, Verbesserungen der Rechenmethoden, wie z.B. der Finite-Elemente-Methode, und Verfeinerungen der zugrunde liegenden Prozessmodelle, können Prozesssimulationen mittlerweile prinzipiell realitätsgetreue Ergebnisse liefern, vorausgesetzt die Randbedingungen in der Simulation wurden richtig gewählt. In der Realität weichen die simulativ gewonnenen Ergebnisse und damit durchgeführten „offline“-Optimierungen regelmäßig deutlich und prozessbestimmend von der Realität ab.

Die Nichtidealität von Umgebung, Maschine, Werkzeug, Regelung oder Material erschwert in der Regel das Bestimmen eines robusten Prozessfensters des Spritzgießprozesses oder gar eines entsprechenden optimalen Arbeitspunktes.

In der EP 1 253 492 A2 wird ein Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines spritzgegossenen Teils offengelegt, wobei neuronale Netzwerke und mathematisch analytische Methoden eingesetzt werden.

Die EP 2 539 785 A1 offenbart ein Verfahren zur Regelung eines Spritzgießprozesses, wobei Daten aus vorhergehenden Zyklen verwendet werden, um Prozesseinstellgrößen so zu verändern, dass sich verbesserte Qualitätsmerkmale der produzierten Teile ergeben.

Die US 2006 282 186 A1 offenbart ein Verfahren zum Optimieren eines Prozesses, wobei durch Simulationen mehrere Lösungen für den Prozess errechnet werden und in einem separaten Verfahrensschritt solche Lösungen gewählt werden, die am nächsten an einem optimalen Wert für gewisse Parameter liegen.

In der EP 0 747 198 A2 wird die Optimierung eines Spritzgießprozesses behandelt, wobei unter Zuhilfenahme von Datenbanken jeweils schließseitige und einspritzseitige Einstellungen separat optimiert werden.

Die US 2002 188 375 A1 offenbart ein Verfahren, bei dem „computer assisted engineering“ (CAE) verwendet wird, um iterativ Prozesseinstellungen zu optimieren.

Die EP 0 368 300 A2 offenbart ein Verfahren, bei dem abwechselnd eine Simulation eines Formgebungsprozesses und ein realer Formgebungsprozess durchgeführt wird, wobei die Simulation jeweils mittels Ergebnissen aus dem realen Versuch angepasst wird.

Die DE 10 2015 107 024 B3 offenbart ein Verfahren, wobei ein Einspritzvorgang eines Spritzgießprozesses simuliert wird und virtuelle Ereignisse mit real gemessenen Ereignismustern abgeglichen werden.

Die US 4 816 197 A offenbart ein Verfahren zum Steuern eines Spritzgießprozesses, wobei eine sogenannte PVT Optimierung unter Beobachtung der Viskosität durchgeführt wird.

Die DE 10 2013 008 245 A1 offenbart ein Verfahren zum Betrieb einer Spritzgießmaschine mit einer Steuerung, in welcher ein Expertenwissen über den Betrieb der Spritzgießmaschine und ihre eventuell vorhandenen Peripheriegeräte sowie über die Herstellung von Spritzteilen in der Spritzgießtechnik hinterlegt ist.

In der EP 2 679 376 ist ein Verfahren offenbart, wobei Simulationen von Spritzgießprozessen in einem Cloud-Server durchgeführt werden und in einem Cloud-Speicher gespeichert werden.

Es werden daher Methoden benötigt, welche es erlauben, die durch Simulation gewonnenen Informationen im realen Formgebungsprozess brauchbar zu machen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Dies geschieht, indem

- (f) ein an der Formgebungsmaschine realisierter Wert des zumindest einen ersten Parameters durch Messung ermittelt wird,
- (g) aus dem nach (f) gemessenen Wert des zumindest einen ersten Parameters ein Wert des zumindest einen zweiten Parameters so bestimmt wird, dass sich ein im Wesentlichen optimaler Wert des zumindest einen Qualitätsparameters ergibt, und
- (h) für den zumindest einen Einstellparameter ein Einstellwert an der Formgebungsmaschine eingestellt wird, welcher Einstellwert der nach (g) bestimmte Wert des zumindest einen zweiten Parameters ist und/oder aus dem nach (g) bestimmten Wert des zumindest einen zweiten Parameters bestimmt wird.

Es kann also das Problem behoben werden, dass Ergebnisse von Simulationen oft nicht mit der Realität übereinstimmen, weil Simulationen mitunter entscheidend von den angenommenen Randbedingungen, den gemessenen Materialdaten, den zu Grunde liegenden physikalischen Modellen und Berechnungsverfahren abhängen.

Letztendlich schlägt sich dies in einer verbesserten Regelung/Steuerung der Formgebungsmaschine sowie in einem wirtschaftlicheren und robusteren Formgebungsprozess nieder. Resultat sind außerdem Gutteile mit ausreichender und konstanter Qualität.

Differenzen zwischen Theorie/Idealisierung und Praxis/Realität können dabei von abweichenden Materialeigenschaften, Materialschwankungen, Chargenschwankungen, Umwelteinflüssen, Dimensionen von Maschinenkomponenten, Dimensionen von Werkzeugkomponenten, Maschinenverhalten herrühren. Alle diese Quellen für von der Realität abweichende Simulationsergebnisse können mittels der vorliegenden Erfindung behandelt werden.

Die Erfindung kann als ein auf FEM-Simulationen basierendes Prozedere implementiert werden, welches unter Berücksichtigung von nicht exakt bekannten Randbedingungen Kennlinienfelder, bestehend aus Maschinen- und Qualitätsparametern, liefert, und basierend auf diesem Kennlinienfeld gemeinsam mit real ermittelten Randbedingungen an der Spritzgießmaschine eine Maschineneinstellung gefunden wird, mit welcher Produkte ausreichender Qualität hergestellt werden können.

Zur Bestimmung des zweiten Wertes, aus welchen sich ein im Wesentlichen optimaler Wert eines Qualitätsparameters ergibt, kann als Kriterium herangezogen werden, dass eine möglichst gute Anpassung eines Ist-Wertes an einen Zielwert oder einen Zielbereich durchgeführt wird. Der Zielwert kann sich als Extremum eines berechneten Zusammenhangs oder als Vorgabe durch einen Bediener ergeben.

Es kann sich bei der angesprochenen Anpassung um eine Optimierung eines Qualitätsparameters oder um eine sogenannte multikriterielle Optimierung (also wenn mehrere Qualitätsparameter verarbeitet werden) handeln.

Sowohl der zumindest eine erste als auch der zumindest eine zweite Parameter können Funktionen, bspw. zeit- und/oder wegabhängig, sein.

Bei der Messung des zumindest einen ersten Parameters kann die Messung direkt oder indirekt erfolgen. D.h. bei indirekter Messung kann ein gemessener Wert beispielsweise durch Rechenoperationen so verwandelt werden, dass der tatsächlich gemessene Wert zum zumindest einen ersten Parameter passt.

Bei der Bestimmung der Qualitätsparameter nach Verfahrensschritt (d), in welchem aus Ergebnissen der Simulationen Werte zumindest eines Qualitätsparameters berechnet werden, kann insbesondere für im Wesentlichen jede der Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters zumindest ein Wert zumindest eines Qualitätsparameters berechnet werden. Für gewisse Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters kann die Berechnung der Werte des zumindest einen Qualitätsparameters ausgelassen werden, wenn zum Beispiel aus dem Verlauf der Simulation klar ist, dass in diesen Fällen keine verwertbaren Einstellparameter/Einstellwerte herauskommen.

Die Qualitätsparameter können für die verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters gleiche, ähnliche oder verschiedene physikalische Größen sein.

Anpassung von Kennlinienfeldern

Ein mittels der Simulationen generiertes Kennlinienfeld (Qualitätsparameter vs. zumindest einem ersten Parameter und zumindest einem zweiten Parameter) kann aufgrund von an der Formgebungsmaschine identifizierten materialbezogenen Randbedingungen so modifiziert werden, dass ein aus den Simulationen abgeleitetes theoretisches Optimum in ein reales Optimum übergeführt wird. Das heißt, dass sich die Simulationsergebnisse an die realen Randbedingungen anpassen lassen. Im Speziellen kann dies eine Anpassung der Kennlinienfelder an sich, (leicht) variierende Werte für die Kompressibilität und die Viskosität, d.h. die Druckübertragung und die Fließeigenschaften, betreffen.

Die jeweilig notwendige Modifikation, d.h. die Weise der Modifikation (bspw. linearer Offset, Multiplikation) oder deren Ausprägung (in welche Richtung und wie stark), kann vorab bekannt sein. Die jeweilig notwendige Modifikation kann z.B. per

Simulation unter der Verwendung von variierenden materialbezogenen Randbedingungen bestimmt werden.

Die notwendigen Modifikationen können für verschiedene Typen von Kunststoffen und für verschiedene Bauteilgruppen ähnlich sein. Demnach müsste nicht für jeden Einzelfall eine Berechnung der notwendigen Modifikationen durchgeführt werden, sondern es könnte auf eine bestehende Datenbank mit notwendigen Modifikationen für die jeweiligen Kunststoff/Bauteil-Kombinationen zurückgegriffen werden.

Mehrstufige Optimierung

Eine mehrstufige Verwendung und Anpassung des Kennlinienfeldes kann durch ein Wechselspiel zwischen Simulationen und real durchgeführten Experimenten stattfinden. Das heißt, dass die Verfahrensschritte (d) und (e) wiederholt werden können, nachdem die Verfahrensschritte (f), (g) und (h) schon einmal durchgeführt wurden. Natürlich können dabei andere Parameter bzw. Werte für den zumindest einen ersten Parameter und den zumindest einen zweiten Parameter gewählt werden.

Die generelle Idee bei der mehrstufigen Optimierung ist eine Rückführung von experimentell ermittelten Daten (bezogen auf das Material, das Maschinenverhalten, den Prozess, das Produkt) in die Simulation. Der Zweck dieser Rückführung ist die Simulation an die realen Randbedingungen anzupassen. Basierend auf n Iterationen von abwechselnden Simulationen-Messungen-Rückführungen-Anpassungen soll so eine Maschineneinstellung gefunden werden, welche in zufriedenstellenden Produkten resultiert.

Zunächst werden Simulationen durchgeführt, in denen als materialbezogene Randbedingungen solche verwendet werden, wie sie in der Literatur oder in Datenbanken angegeben sind oder im Labor gemessen wurden. Prozess- bzw. Maschinenparameter (Einstellparameter) werden in den einzelnen Simulationen variiert und somit ein vorbestimmter Parameterraum abgedeckt. Aus diesen

schrittweise berechneten Datenpunkten werden mittels Regressionsanalyse Kennlinienfelder generiert, welche auf das Produkt und den Gesamtprozess bezogene Qualitätsparameter in Relationen zu den Prozess- bzw. Maschinenparameter (Einstellparameter) setzen.

Aus den Kennlinienfeldern lässt sich ein vorläufiges Prozessoptimum bestimmen, welches allerdings (wie bereits oben näher erläutert) nicht notwendigerweise einem realen Optimum entsprechen muss. Nichtsdestotrotz wurde eine auf das jeweilige Spritzgießwerkzeug bezogene Information betreffend den Produkten bzw. Kavitäten, dem Angussystem, etc. gewonnen. Trends oder Abhängigkeiten innerhalb dieser Information behalten ihre Gültigkeit, auch wenn sich die materialbezogenen Randbedingungen ändern.

Das vorläufige Optimum wird verwendet, um erste Prozessinformationen in Form von Produkten oder Messdaten zu erhalten. Die Produkte werden auf deren Qualität mittels Sichtkontrolle, Wiegen oder Vermessen bewertet. Prozessmessdaten können z.B. Verläufen des realen Maschinenverhaltens wie spezifischen Spritzdrucks oder der realen Einspritzgeschwindigkeit entsprechen. Zusätzlich können mittels geeigneter Tests materialbezogene Eigenschaften (Viskosität, Kompressibilität, etc.) bestimmt werden.

Die experimentell ermittelten Informationen werden in einem weiteren Schritt verwendet, um neue Simulationen mit an die Realität angepassten Randbedingungen durchzuführen. Diese neuen Simulationen generieren ein neues Kennlinienfeld oder modifizieren das bestehende, um anschließend eine Maschineneinstellung bereitzustellen, welche in Produkte mit Eigenschaften innerhalb vorgegebener Toleranzen resultiert.

Durch Anwendung der Erfindung auf Spritzgießprozesse kann eine digitale Spritzgießmaschine (D-SGM) realisiert werden, welche den Spritzgießprozess unter Berücksichtigung des Maschinenverhaltens, des Werkzeugs und des Kunststoffes simulierbar macht.

Durch die Erfindung kann ein Tool bereitgestellt werden, mittels welchem möglichst unabhängig von einer realen Formgebungsmaschine eine funktionierende Maschineneinstellung gefunden werden kann. Idealerweise käme eine so ermittelte Maschineneinstellung einem realen Optimum möglichst nahe, bzw. ließe sich an der realen Formgebungsmaschine relativ einfach an ein Optimum heranzuführen. Der Vorteil für Bediener wäre erstens ein Zeitersparnis während der Abmusterung, zweitens ein zusätzliches Prozessverständnis, welches auch z.B. direkt an der Formgebungsmaschine verfügbar wäre, drittens ein Prozess deutlich innerhalb eines robusten Prozessfensters und viertens ein effizienter Prozess in Hinblick auf Energie und Zeit. Die während der Simulation gewonnenen Daten könnten bei laufendem Formgebungsprozess zum Nachregeln dienen und so auch in der weiteren Produktion Stabilität garantieren.

Ein wichtiger Aspekt der Erfindung ist der nachträgliche Abgleich von Simulation und Experiment, d.h. eine Anpassung des unter idealisierten Annahmen gefundenen Einstellsatzes an die realen Randbedingungen des Spritzgießprozesses. Rechnerunterstützte Simulationen können auch parallel, abwechselnd oder im Anschluss an einen realen Einstellvorgang oder der Produktion stattfinden.

Als Ziele gelten jeweils ein erfolgreicher, stabiler und effizienter Formgebungsprozess. Numerische Berechnungen können dem Prozessverständnis dienen, indem der Formgebungsprozess mit seinen diversen Prozessvariablen zeitlich diskretisiert visualisiert werden kann, d.h. in Form von virtuellen und interaktiven, sich an die jeweiligen Eingaben in der Maschine anpassenden Füllstudien. Ein Prozesstechniker wird so bei der Lösung von Problemen im Formgebungsprozess, im Formgebungswerkzeug, in der Formgebungsmaschine oder dem Produkt mit zusätzlichen Informationen unterstützt.

Mit zunehmender Sensorik, Rechenleistung, Vernetzung und Datenspeicherung ergeben sich neue Möglichkeiten. So kann z.B. gesammelte Information dazu dienen, die der Simulation zugrundeliegende Modelle stetig zu verbessern.

Randbedingungen in Simulationen

Numerische Simulationen liefern Ergebnisse aufbauend auf Modellen und Randbedingungen. Die Randbedingungen umfassen Materialeigenschaften wie z.B. Schmelze-Viskosität oder p v T -Verhalten bei Kunststoffen. Andere Randbedingungen betreffen Maschinenparameter wie z.B. Zylinder- und Düsentemperaturen, werkzeugbezogene Parameter wie z.B. die Werkzeugwandtemperatur sowie angussbezogene Parameter wie z.B. Kanaldurchmesser und Temperaturen. Ebenso ist denkbar, dass die exakte Geometrie von Kavitäten variiert, nämlich in dem Sinn, dass während der Abmusterung noch leichte Modifikationen vorgenommen werden oder dass während der Produktion Verschleiß eintritt. Besonders in Bezug auf das Gesamtvolumen der Kavität, die Dimensionen von Anschnitten oder die genaue Textur der Oberflächen der Kavitäten können sich erhebliche Unterschiede im Prozess ergeben.

Materialbezogene Randbedingungen

Materialbezogene Randbedingungen sind z.B. die Viskosität, die Kompressibilität, das p v T -Verhalten, die spezifische Wärmekapazität, Wärmeübergangskoeffizienten, Wärmeleitfähigkeit, das Kristallisationsverhalten, eine kritische Temperatur unter welcher essentiell kein Materialfluss mehr stattfindet (Gefrierpunkt, no-flow temperature), oder die spezifische Wärmekapazität. Generell können Materialeigenschaften von physikalischen Größen wie der Temperatur, dem Druck, der Scherung, etc. abhängen.

Materialbezogene Randbedingungen können beispielsweise vorab im Labor mittels verschiedener Verfahren gemessen oder vom Hersteller erfragt werden. Bekanntlich sind Materialeigenschaften abhängig vom jeweiligen Arbeitspunkt und variieren demnach mit herrschendem Druck, Temperatur oder der Schergeschwindigkeit. Ein im Labor gemessenes Verhalten eines Kunststoffes entspricht nicht notwendigerweise dem Verhalten unter realen Bedingungen in der

Formgebungsmaschine. Letzteres ist beispielsweise auf vergleichsweise hohe Drücke und Fließgeschwindigkeiten im Spritzgießprozess zurückzuführen. Ebenfalls ist es bekannt, dass es chargenabhängige Schwankungen der Materialeigenschaften gibt, welches auf den ursprünglichen Herstellprozess des Kunststoffgranulats zurückzuführen ist. Ebenfalls kann eine nachträgliche Zugabe von Additiven wie z.B. Farbstoffen (Masterbatch) das Fließverhalten von Kunststoffen maßgeblich beeinflussen.

Materialbezogene Randbedingungen hängen ebenfalls von den konkreten Verarbeitungsbedingungen, z.B. diversen im Prozess auftretenden Temperaturen ab. Es können zwar Werte betreffend die Werkzeug- oder Düsentemperaturen in der Steuerung der SGM vorgegeben und geregelt werden, jedoch entsprechen diese Werte oft nicht den eigentlich relevanten Werten der Temperatur bzw. der Temperaturverteilung der Schmelze oder der Oberflächentemperaturen der Kavitäten des Werkzeugs. Vielmehr sind hier gewisse Offsets oder Verschiebungen anzunehmen, welche durch die Konstruktion der Regler und der verbauten Sensorik bedingt sind.

Durch die Erfindung wird es möglich, die aus Simulationen gewonnenen und optimierten Prozessabläufe als Einstellsätze in die reale Formgebungsmaschine zu übernehmen, wobei Variationen der Randbedingungen berücksichtigt werden können und eventuell Korrekturen am realen Formgebungsprozess vorgenommen werden können.

Die Erfindung kann insbesondere zur möglichst optimalen Einstellung einer kunststoffverarbeitenden Maschine eingesetzt werden.

(Weitere) vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Es kann vorgesehen sein, dass der zumindest eine erste Parameter zumindest eines der folgenden beinhaltet:

- Parameter betreffend Kinematik, Dynamik, Regler aller Arten, Verschleißzustand und/oder
- Parameter betreffend ein Formwerkzeug, insbesondere Kavitätengeometrie, Angussgeometrie, Heißkanalgeometrie, Düsengeometrie, Werkzeugmaterialeigenschaften, Kavitätentextur, Entlüftung, Verschleiß, Wärmekapazität, und/oder
- Parameter betreffend die Formgebungsmaschine, insbesondere Spritzaggregat, Dynamik, Kinematik, Regler, Zylinderdurchmesser, Verhalten der Rückstromsperre, Schneckengeometrie, Düsengeometrie, Schließseite, Steifigkeit, Reibung, und/oder
- Parameter betreffend ein beim Formgebungsprozess verwendetes Material, insbesondere Füllstoffkomposition, Füllstoffanteil, Masterbatch, Additive, Feuchtigkeit, Viskosität, pvT-Verhalten, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Ausdehnungskoeffizient, Elastizitätsmodul, Schubmodul, Wärmeausdehnungskoeffizient, und/oder
- Parameter betreffend beim Formgebungsprozess eingesetzter Peripheriegeräte, insbesondere, Vortrocknung, Materialzufuhr, Temperierung, Umlaufpumpen, Materialmischer, und/oder
- Parameter betreffend Umwelteinflüsse, insbesondere Luftfeuchtigkeit, Umgebungstemperatur.

Es kann vorgesehen sein, dass der zumindest eine zweite Parameter zumindest eines der folgenden betrifft: Dosierdrehzahlprofil, Staudruckprofil, Zylindertemperaturprofil, Werkzeugöffnungsprofil und -schließprofil, Schließkraftprofil, Dosiervolumen, Heißkanaltemperaturen, Einspritzgeschwindigkeitsprofil, Nachdruckprofil, Nachdruckzeit, Umschaltzeitpunkt, Spritzdruckgrenze, Kompressionsentlastungshübe, Auswerferbewegungsprofil, Werkzeugkernbewegungen, Temperiermitteltemperaturen, Kühlzeit, Entnahmevorrichtungsbewegungsprofil.

Es kann vorgesehen sein, dass bei der Auswahl des zumindest einen ersten Parameters und/oder des zumindest einen zweiten Parameters ein Expertensystem

verwendet wird, wobei vorzugsweise Wertebereiche für den zumindest einen ersten Parameter und/oder den zumindest einen zweiten Parameter vorgegeben werden. (Natürlich können auch mehrere erste Parameter und mehrere zweite Parameter ausgewählt und beim erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden.)

Ein Expertensystem im hier verstandenen Sinn kann als eine in ein Rechensystem integrierte, intelligente Datenbank verstanden werden (siehe bspw. Krishnamoorthy, C.S. und S. Rajeev (1996): *Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers*, Boca Raton: CRC Press, Seiten 29-88). Es beinhaltet systematisiertes und einprogrammiertes Grundwissen über die Regeln des Formgebungsprozesses, so wie es z.B. aus einschlägiger Literatur entnommen werden kann (vgl. Schötz, A. (2013): *Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen*, München: Karl Hanser Verlag. Seiten 31-220; Jaroschek, C. (2013): *Spritzgießen für Praktiker*, 3. Auflage. München: Karl Hanser Verlag. Seiten 31-98; Fein, B. (2013): *Optimierung von Kunststoff-Spritzgießprozessen*, 2. Auflage. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Seiten 65-120; Kunststoff-Institut Lüdenscheid (2013): *Störungsratgeber*, 12. Auflage. Unna: Horschler Verlagsgesellschaft GmbH. Seiten 6-178). Darüber hinaus können in einem Expertensystem Regeln einprogrammiert sein, welche Verallgemeinerungen von Vorgehensweisen zur Maschineneinstellung, Fehlererkennung oder Fehlervermeidung von erfahrenen Prozesstechnikern und Fachkräften zur Einstellung von Formgebungsmaschinen darstellen. Solch ein Regelwerk oder Grundwissen kann z.B. in der Form von Wahrheitswertefunktionen oder Umsetzungstabellen vorliegen. Ein Expertensystem kann bei bekannten Formteilgeometrien, Materialien, Maschinen und Qualitätsanforderungen auf Basis des einprogrammierten Wissens und der Regeln grobe Abschätzungen über Wertebereiche von Prozessparameter machen, welche in erfolgreiche Maschineneinstellungen münden.

Es kann vorgesehen sein, dass im Rahmen der Auswahl des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters bekannte Daten über zumindest eines der folgenden berücksichtigt werden: Formgebungsmaschine,

Formwerkzeug, Angussystem, beim Formgebungsprozess verarbeitetes Material, Qualitätskriterien, frühere Maschineneinstellungen.

Es kann vorgesehen sein, dass die Daten durch eine Datenbank bereitgestellt werden. Durch eine Datenbank können die Informationen, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gewonnen werden, zentral verwaltet und bereitgestellt werden.

Es kann vorgesehen sein, dass der zumindest eine Qualitätsparameter zumindest eines der folgenden betrifft:

- Prozesseigenschaften, insbesondere einzelne Prozesszeiten, Gesamtzykluszeit, Robustheit, Werkzeugbeanspruchung, Energieverbrauch, notwendige Schließkraft, Schmelze-Temperatur, maximaler Einspritzdruck, Umweltbeeinflussung, Temperierbedarf, Wirtschaftlichkeit, Maschinenbeanspruchung, notwendige Maschinengröße, und/oder
- Bauteileigenschaften, insbesondere Einfallstellen, Maßhaltigkeit, Farbschlieren, Luftschlieren, Rillen, Bindenähte, Grat, Schwindung, Abmessungen/Dimensionen, Entformungstemperatur, eingefrorene Randschichtdicke, Temperierbedarf, Materialhomogenität, Verbrennungen, Verzug, Materialschädigung, Farbhomogenität, Masse, mechanische Stabilität, thermische Stabilität.

Es kann vorgesehen sein, dass je Kombination von Werten aus dem zumindest einem ersten Parameter und dem zumindest einem zweiten Parameter Werte von zumindest zwei Qualitätsparametern berechnet werden, wobei eine Gewichtung der zumindest zwei Qualitätsparameter verwendet wird. Durch eine solche Gewichtung können wichtigeren Qualitätsparametern mehr Einfluss auf die Einstellung der Formgebungsmaschine verliehen werden.

Es kann vorgesehen sein, dass die Gewichtung der einzelnen Qualitätsparameter anhand eines globalen Qualitätskriteriums gewählt wird (multikriterielles Optimieren). Als Qualitätskriterien können zum Beispiel herangezogen werden: verkleinerter

Verzug oder größere Maßhaltigkeit der hergestellten Formteile, größere Robustheit des Formgebungsprozesses, kleinere Mengen an Ausschuss, weniger bzw. kleinere Oberflächendefekte, verkürzte Zykluszeit.

Es kann vorgesehen sein, dass aus den Ergebnissen der Simulationen zumindest eine der folgenden Prozessvariablen berechnet wird und zumindest teilweise als Grundlage der Berechnung der Werte des zumindest einen Qualitätsparameters verwendet wird: Prozessvariablen, insbesondere Masstemperatur, Scherrate, Scherspannung, Füllgrad, Werkzeugwandtemperatur, Dichte, Druck, Viskosität, Geschwindigkeit, Volumens-Schwindung, Füllstoffverteilung und -ausrichtung, Massehomogenität.

Es kann vorgesehen sein, dass die Simulationen zumindest eines – vorzugsweise alle – der folgenden beinhalten:

- Prozesssimulation entsprechend eines Prozessmodells, insbesondere eine Simulation der Plastifizierung, des Füllvorgangs, der Nachdruckphase, der Kühlphase, der Entformung, und/oder
- Materialsimulation entsprechend eines Materialmodells, insbesondere eine Simulation des Fließverhaltens, des thermischen Verhaltens, des elastischen Verhaltens, und/oder
- Steuerungssimulation entsprechend eines Steuerungsmodells, insbesondere eine Simulation der Steuerung, der Regler einzelner ansteuerbarer Komponenten, des Maschinenablaufs, und/oder
- Maschinensimulation entsprechend eines Maschinenmodells, insbesondere eine Simulation des Spritzaggregats, des Schließmechanismus, der Robotik, und/oder
- Temperiersimulation entsprechend eines Temperiermodells, insbesondere eine Simulation des Wärmetransports, des Wärmeübergangs, der Fließeigenschaften.

Es kann vorgesehen sein, dass im Rahmen der Simulationen ein mathematisch analytisches Modell und/oder ein numerisches Modell der Formgebungsmaschine

und/oder des Formgebungsprozesses verwendet werden. Die Simulationen/numerische Modelle können unter Verwendung der bekannten Methoden (beispielsweise Finite-Elemente-Methode, Finite-Volumen-Methode, Finite-Differenzen-Methode) durchgeführt werden.

Es kann vorgesehen sein, dass eine Auswahl von Werten für den zumindest einen ersten Parameter und den zumindest einen zweiten Parameter mittels statistischer Versuchsplanung durchgeführt wird. Durch geschicktes Weglassen gewisser Parameterkombinationen können Simulationen (und die entsprechenden Ressourcen) eingespart werden (vgl. Montgomery, D.C (2013): Design and Analysis of Experiments, 8. Auflage. Wiley. Seiten 1-23).

Es kann vorgesehen sein, dass Ergebnisse der Simulationen und/oder aus den Ergebnissen der Simulationen abgeleitete Zusammenhänge zwischen dem zumindest einen ersten Parameter, dem zumindest einen zweiten Parameter und dem zumindest einen Qualitätsparameter zur Formgebungsmaschine übertragen werden und vorzugsweise in einer zentralen Maschinensteuerung gespeichert werden. Dadurch, dass die so ermittelten Zusammenhänge an der Formgebungsmaschine bekannt sind, kann schnell und einfach auf Änderungen in der Umgebung (des zumindest einen ersten Parameters) reagiert werden.

Es kann vorgesehen sein, dass im Rahmen der Durchführung des Verfahrensschrittes (f) zumindest eines der folgenden durchgeführt wird: Messen zumindest einer Länge (beispielsweise von Maschinenkomponenten, beispielsweise mittels Schiebelehre), Durchführung einer Viskositätsmessung (beispielsweise mittels einer Rheometerdüse oder einem Rheometerwerkzeug), Ermittlung des an der Formgebungsmaschine realisierten Wertes des zumindest einen Parameters durch an der Formgebungsmaschine vorliegenden Signalen, insbesondere Kraftverläufen und/oder Druckverläufen, manuelle Eingaben durch einen Bediener, Ultraschallanalyseverfahren, Massenspektroskopie, Röntgenspektroskopie, Computertomographie, optische Profilometrie, Verwendung eines

Koordinatenmessgerätes, Feuchtigkeitsmesser, Durchführung einer Temperaturmessung und andere Laborgeräte bzw. Messgeräte.

Es kann vorgesehen sein, dass der im Verfahrensschritt (f) ermittelte Wert des zumindest einen Parameters an eine separate Recheneinheit übertragen wird, und von der separaten Recheneinheit der nach (g) ermittelte Wert des zumindest einen zweiten Parameters - vorzugsweise abgeleitet auf Basis von aus Ergebnissen der Simulationen modellierten Zusammenhängen - an die zentrale Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine übertragen wird. Dadurch können Rechenressourcen, die an der Formgebungsmaschine bereitgestellt werden müssen, eingespart werden. Wichtiger ist noch, dass durch diese Maßnahme gewisse Teile der Berechnungen im Rahmen der Simulationen unabhängig von der Formgebungsmaschine selbst durchgeführt werden können.

Es kann vorgesehen sein, dass vor der Durchführung des Verfahrensschrittes (h), also vor der Verwendung des bestimmten Wertes des zumindest einen zweiten Parameters, eine Überprüfung der Ergebnisse der Simulationen in Bezug auf Qualität und Machbarkeit stattfindet. Dies kann beispielsweise in Bezug auf die Maschinenfähigkeiten, den erreichbaren Materialdurchsatz (beispielsweise einer Plastifiziereinheit) und Materialbelastungsgrenzen überprüft werden. Dies kann besonders dann eingesetzt werden, wenn gewisse Aspekte des Formgebungsprozesses in den Simulationen vereinfacht gehandhabt wurden. Wenn beispielsweise Maximaltemperaturen, die ein verarbeiteter Kunststoff ertragen kann, in der Simulation nicht berücksichtigt wurden, kann im Nachhinein überprüft werden, ob diese in der entsprechenden Lösung eingehalten wurden. Entsprechendes gilt für die Maschinenfähigkeiten und den erreichbaren Materialdurchsatz.

Visualisierung in der Steuerung

Bisher war es während einer Abmusterung üblich, dass ein Bediener Spritzgießversuche durchführt und die Produkte auf gewohnte Weise (bzgl. Füllgrad, Verzug, etc.) beurteilt. Im Normalfall justiert der Bediener Maschinenparameter so

lange nach, bis die resultierenden Spritzlinge Qualitäten innerhalb vorgegebener Toleranzen aufweisen. Eine optische Begutachtung der Bauteile kann durch eine Betrachtung von Signalverläufen vorhandener Sensorik, Ausmessen kritischer Bauteildimensionen oder Wiegen der Bauteilmassen ergänzt werden.

Es ist bisher gängige Praxis, dass ein Bediener vorwiegend seine Erfahrung im Umgang mit Formgebungsmaschinen (bspw. SGMs) verwendet, um auftretende Probleme zu lösen. Das Hinzuziehen von Fachliteratur und Ratgebern kann dabei hilfreich sein. Diese Hilfsmittel beinhalten häufig auftretende Fehler, listen mögliche Ursachen auf und schlagen Vorgehensweisen für deren Beseitigung vor.

Oft wäre es hilfreich, den Prozessverlauf nachvollziehen zu können bzw. während des Füllvorgangs in die Form hineinsehen zu können. Aufgrund der Natur des Prozesses ist dies in der Regel nicht möglich. Lediglich fertige Produkte außerhalb des Werkzeugs können begutachtet werden. Druck und Temperatursensoren können nur lokal begrenzte Informationen über den Prozess liefern. Messungen sind aufgrund der angewandten Methodik (systematische Fehler) oft verfälscht. Bezüglich Füllproblemen ließen sich Teilfüllungen und sogenannte Füllstudien durchführen, welche jedoch (besonders bei massigen Bauteilen) zeitintensiv und teuer sein können. Oft sind Teilfüllungen auch mit Problemen z.B. bezüglich der Entformbarkeit verbunden.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die abgeleiteten Zusammenhänge an der Formgebungsmaschine dargestellt werden, vorzugsweise in Form von Kennlinienfeldern. Die vormals simulativ gewonnenen Prozessinformationen können so zusätzlich aufbereitet und beispielsweise in einer zentralen Steuerung der Formgebungsmaschine visualisiert werden. So kann das weitere manuelle Einstellen, Optimieren und Feinjustieren der Maschine erleichtert werden.

Alternativ oder zusätzlich zu einem Kennlinienfeld kann es vorgesehen sein, dass ein zu einer Kombination von Werten des zumindest einen ersten und des zumindest

einen zweiten Parameters gehöriger Wert des zumindest einen Qualitätsparameters an der Formgebungsmaschine dargestellt wird.

Es kann vorgesehen sein, dass es Bedienern ermöglicht wird auszuwählen, welche abhängigen und unabhängigen Parameter aus der Menge des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters dargestellt werden.

Dabei kann eine automatische Einschränkung der Anzeigebereiche der Kennlinienfelder anhand vorher definierten Kriterien vorgesehen werden.

Eine Darstellung eines aktuellen Betriebspunktes/Arbeitspunktes und/oder eines prognostizierten Betriebspunktes/Arbeitspunktes auf Grundlage einer provisorischen Änderung von Einstellparametern in den Kennlinienfeldern kann ebenfalls vorgesehen sein. Eine Darstellung von Qualitätsprognosen kann ebenfalls vorgesehen sein.

Des Weiteren kann eine zumindest teilweise Darstellung der CAD-Daten von Werkzeug, Angussystem, Düsen und Spritzaggregat vorgesehen sein.

Dies kann auch eine Darstellung eines Füllbildes und zeitabhängigen Prozessdaten beinhalten.

Insgesamt soll es dem Bediener der Formgebungsmaschine durch zeitaufgelöste Darstellung („Scrollen in der Zeit“) ermöglicht werden, den Prozessverlauf graphisch veranschaulicht zu bekommen.

Dies kann beispielsweise Zustände des Prozesses wie lokale Materialdichten, Drücke oder Temperaturen betreffen, welche erfindungsgemäß für diskrete Zeitschritte angezeigt werden können. Virtuell lassen sich Schnitte durch das Volumen machen und so Einsichten über das „Innere“ des Bauteils gewinnen. Durch ein gefördertes Prozessverständnis könnte so bei einer Fehlerbehebung geholfen werden.

Simulationen sind im Detail nur für eine bestimmte Prozesseinstellung gültig. Es kann daher hilfreich sein, gleichzeitig mit Änderungen der Maschineneinstellungen die Simulation zu aktualisieren und deren Ergebnisse visuell sichtbar zu machen (mehrstufige Optimierung).

Gleichzeitig kann es für den Bediener hilfreich sein, anschaulich dargestellt zu bekommen, wo im Parameterraum sich der Prozess gerade befindet und welche Änderung in der Maschineneinstellung welche Konsequenzen haben bzw. hätten.

Im Laufe dieser Simulationen werden große Mengen an Daten erzeugt. Ein Einstellassistent kann diese Daten analysieren (Modellierung) und daraus Kennlinienfelder, in welchen Qualitätsmerkmale als eine Funktion von Maschinenparametern angezeigt werden, generieren. Beispielsweise mittels Regressionsverfahren kann ein Optimum ermittelt werden, welches in Form eines Maschineneinstellsatzes an die Formgebungsmaschine bzw. an den Bediener übergeben wird. Optional können Kennlinienfelder an die Formgebungsmaschine übergeben werden und mittels experimenteller Verfahren eine Anpassung an die realen material- oder maschinenbezogenen Randbedingungen vorgenommen werden.

Um auch während des realen Einstellvorgangs bestmöglich von den generierten Daten zu profitieren, können diese in geeigneter Weise aufbereitet, an die Formgebungsmaschine übergeben und auf komfortable und übersichtliche Weise dem Bediener zugänglich gemacht werden.

Die hier beschriebenen Arten der Darstellung beziehen sich vorwiegend auf einen Bildschirm, der an der Formgebungsmaschine angeordnet ist und meist mit einer zentralen Steuerung der Formgebungsmaschine verbunden ist. Es ist aber auch möglich, diese Darstellungen nicht direkt an der Formgebungsmaschine durchzuführen, sondern beispielsweise über eine Datenverbindung (LAN, Internet usw.) an einem anderen Rechner.

Ein Beispiel für eine entsprechende Visualisierung ist in Figur 1 dargestellt, welche eine Bildschirmseite der Steuerung in welcher ein Kennlinienfeld angezeigt wird, darstellt. Qualitätsparameter QP werden über den Einstellparameter EP1 und EP2 dargestellt. Je nach der aktuellen Wahl der Werte für EP1 und EP2 wird ein Arbeitspunkt im Kennlinienfeld eingezeichnet. Dessen numerischer Wert könnte zusätzlich gesondert angezeigt werden. Ebenfalls ist ein Schieberegler eingezeichnet, mittels dessen der Wert eines Parameters geändert werden kann. Dieser Wert kann sich direkt oder anschließend auf einen eigenen Befehl auf die Funktion der Maschine auswirken. Optional kann sich abhängig von der Eingabe eines Wertes für einen ersten Einstellparameter der Wert eines zweiten Parameters ändern, sodass gemäß den Kennlinienfeldern der Wert eines Qualitätsparameters maximiert wird.

Innsbruck, am 23. Dezember 2016

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen einer Formgebungsmaschine, mittels welcher ein zyklisch ablaufender Formgebungsprozess durchgeführt wird, durch Auffinden von Werten für Einstellparameter, welche Einstellparameter eine Ansteuerung von ansteuerbaren Komponenten der Formgebungsmaschine während des Formgebungsprozesses zumindest teilweise festlegen, unter Durchführung mehrerer Simulationen des Formgebungsprozesses auf Basis zumindest eines ersten Parameters und zumindest eines zweiten Parameters, wobei
 - (a) der zumindest eine erste Parameter physikalische Gegebenheiten des Formgebungsprozesses beschreibt,
 - (b) der zumindest eine zweite Parameter als Basis für zumindest einen der Einstellparameter der Formgebungsmaschine geeignet ist,
 - (c) die Simulationen auf Basis von verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters durchgeführt werden,
 - (d) aus Ergebnissen der Simulationen für die verschiedenen Kombinationen von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters Werte von zumindest einem Qualitätsparameter berechnet werden, und
 - (e) die Formgebungsmaschine bereitgestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
 - (f) ein an der Formgebungsmaschine realisierter Wert des zumindest einen ersten Parameters durch Messung ermittelt wird,
 - (g) aus dem nach (f) gemessenen Wert des zumindest einen ersten Parameters ein Wert des zumindest einen zweiten Parameters so bestimmt wird, dass sich ein im Wesentlichen optimaler Wert des zumindest einen Qualitätsparameters ergibt, und
 - (h) für den zumindest einen Einstellparameter ein Einstellwert an der Formgebungsmaschine eingestellt wird, welcher Einstellwert der nach (g) bestimmte Wert des zumindest einen zweiten Parameters ist und/oder aus dem nach (g) bestimmten Wert des zumindest einen zweiten Parameters bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine erste Parameter zumindest eines der folgenden beinhaltet:
 - Parameter betreffend Kinematik, Dynamik, Regler aller Arten, Verschleißzustand und/oder
 - Parameter betreffend ein Formwerkzeug, insbesondere Kavitätengeometrie, Angussgeometrie, Heißkanalgeometrie, Düsengeometrie, Werkzeugmaterialeigenschaften, Kavitätentextur, Entlüftung, Verschleiß, Wärmekapazität, und/oder
 - Parameter betreffend die Formgebungsmaschine, insbesondere Spritzaggregat, Dynamik, Kinematik, Regler, Zylinderdurchmesser, Verhalten der Rückstromsperre, Schneckengeometrie, Düsengeometrie, Schließseite, Steifigkeit, Reibung, und/oder
 - Parameter betreffend ein beim Formgebungsprozess verwendetes Material, insbesondere Füllstoffkomposition, Füllstoffanteil, Masterbatch, Additive, Feuchtigkeit, Viskosität, pVT-Verhalten, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Ausdehnungskoeffizient, Elastizitätsmodul, Schubmodul, Wärmeausdehnungskoeffizient, und/oder
 - Parameter betreffend beim Formgebungsprozess eingesetzter Peripheriegeräte, insbesondere, Vortrocknung, Materialzufuhr, Temperierung, Umlaufpumpen, Materialmischer, und/oder
 - Parameter betreffend Umwelteinflüsse, insbesondere Luftfeuchtigkeit, Umgebungstemperatur.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine zweite Parameter zumindest eines der folgenden betrifft: Dosierdrehzahlprofil, Staudruckprofil, Zylindertemperaturprofil, Werkzeugöffnungsprofil und –schließprofil, Schließkraftprofil, Dosiervolumen, Heißkanaltemperaturen, Einspritzgeschwindigkeitsprofil, Nachdruckprofil, Nachdruckzeit, Umschaltzeitpunkt, Spritzdruckgrenze, Kompressionsentlastungshübe, Auswerferbewegungsprofil, Werkzeugkernbewegungen, Temperiermitteltemperaturen, Kühlzeit, Entnahmevorrichtungsbewegungsprofil.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Auswahl des zumindest einen ersten Parameters

und/oder des zumindest einen zweiten Parameters ein Expertensystem verwendet wird, wobei vorzugsweise Wertebereiche für den zumindest einen ersten Parameter und/oder den zumindest einen zweiten Parameter vorgegeben werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen der Auswahl des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters bekannte Daten über zumindest eines der folgenden berücksichtigt werden: Formgebungsmaschine, Formwerkzeug, Angussystem, beim Formgebungsprozess verarbeitetes Material, Qualitätskriterien, frühere Maschineneinstellungen.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten durch eine Datenbank bereitgestellt werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Qualitätsparameter zumindest eines der folgenden betrifft:
 - Prozesseigenschaften, insbesondere einzelne Prozesszeiten, Gesamtzykluszeit, Robustheit, Werkzeugbeanspruchung, Energieverbrauch, notwendige Schließkraft, Schmelze-Temperatur, maximaler Einspritzdruck, Umweltbeeinflussung, Temperierbedarf, Wirtschaftlichkeit, Maschinenbeanspruchung, notwendige Maschinengröße, und/oder
 - Bauteileigenschaften, insbesondere Einfallstellen, Maßhaltigkeit, Farbschlieren, Luftschlieren, Rillen, Bindenähte, Grat, Schwindung, Abmessungen/Dimensionen, Entformungstemperatur, eingefrorene Randschichtdicke, Materialhomogenität, Verbrennungen, Verzug, Materialschädigung, Farbhomogenität, Masse, mechanische Stabilität, thermische Stabilität.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass je Kombination von Werten des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters Werte von zumindest

zwei Qualitätsparametern berechnet werden, wobei eine Gewichtung der zumindest zwei Qualitätsparameter verwendet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtung der zumindest zwei Qualitätsparameter anhand eines globalen Qualitätskriteriums gewählt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Ergebnissen der Simulationen zumindest eine der folgenden Prozessvariablen berechnet wird und zumindest teilweise als Grundlage der Berechnung der Werte des zumindest einen Qualitätsparameters verwendet wird: Prozessvariablen, insbesondere Massetemperatur, Scherrate, Scherspannung, Füllgrad, Werkzeugwandtemperatur, Dichte, Druck, Viskosität, Geschwindigkeit, Volumenschwindung, Füllstoffverteilung und – ausrichtung, Massehomogenität.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Simulationen zumindest eines – vorzugsweise alle – der folgenden beinhalten:
 - Prozesssimulation, insbesondere eine Simulation der Plastifizierung, des Füllvorgangs, der Nachdruckphase, der Kühlphase, der Entformung, und/oder
 - Materialsimulation, insbesondere eine Simulation des Fließverhaltens, des thermischen Verhaltens, des mechanischen Verhaltens, des elastischen Verhaltens, und/oder
 - Steuerungssimulation, insbesondere eine Simulation der Komponentenregler, des Maschinenablaufs, und/oder
 - Maschinensimulation, insbesondere eine Simulation des Spritzaggregats, des Schließmechanismus, der Robotik, und/oder
 - Temperiersimulation, insbesondere eine Simulation des Wärmetransports, des Wärmeübergangs, der Fließeigenschaften.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen der Simulationen ein mathematisch

analytisches Modell und/oder ein numerisches Modell der Formgebungsmaschine und/oder des Formgebungsprozesses verwendet wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Auswahl von Werten für den zumindest einen ersten Parameter und den zumindest einen zweiten Parameter mittels statistischer Versuchsplanung durchgeführt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Ergebnisse der Simulationen und/oder aus den Ergebnissen der Simulationen abgeleitete Zusammenhänge zwischen dem zumindest einen ersten Parameter, dem zumindest einen zweiten Parameter und dem zumindest einen Qualitätsparameter zur Formgebungsmaschine übertragen werden und vorzugsweise in einer zentralen Maschinensteuerung gespeichert werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die abgeleiteten Zusammenhänge an der Formgebungsmaschine dargestellt werden, vorzugsweise in Form von Kennlinienfeldern.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass es Bedienern ermöglicht wird, auszuwählen, welche abhängigen und unabhängigen Parameter aus der Menge des zumindest einen ersten Parameters und des zumindest einen zweiten Parameters dargestellt werden.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein zu einer Kombination von Werten des zumindest einen ersten und des zumindest einen zweiten Parameters gehöriger Wert des zumindest einen Qualitätsparameters an der Formgebungsmaschine dargestellt wird.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen der Durchführung des Verfahrensschrittes (f) zumindest eines der folgenden durchgeführt wird: Messen zumindest einer Länge, Durchführung einer Viskositätsmessung, Ermittlung des an der

Formgebungsmaschine realisierten Wertes des zumindest einen Parameters durch an der Formgebungsmaschine vorliegenden Signalen, insbesondere Kraftverläufen und/oder Druckverläufen, manuelle Eingaben durch einen Bediener, Ultraschallanalyseverfahren, Massenspektroskopie, Röntgenspektroskopie, Computertomographie, optische Profilometrie, Verwendung eines Koordinatenmessgerätes, Feuchtigkeitsmessung, Durchführung einer Temperaturmessung.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der im Verfahrensschritt (f) ermittelte Wert des zumindest einen ersten Parameters an eine separate Recheneinheit übertragen wird und von der separaten Recheneinheit der nach (g) ermittelte Wert des zumindest einen zweiten Parameters, vorzugsweise abgeleitet auf Basis von mittels Ergebnissen der Simulationen modellierten Zusammenhängen, an die zentrale Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine übertragen wird.

Innsbruck, am 23. Dezember 2016

Fig. 1

