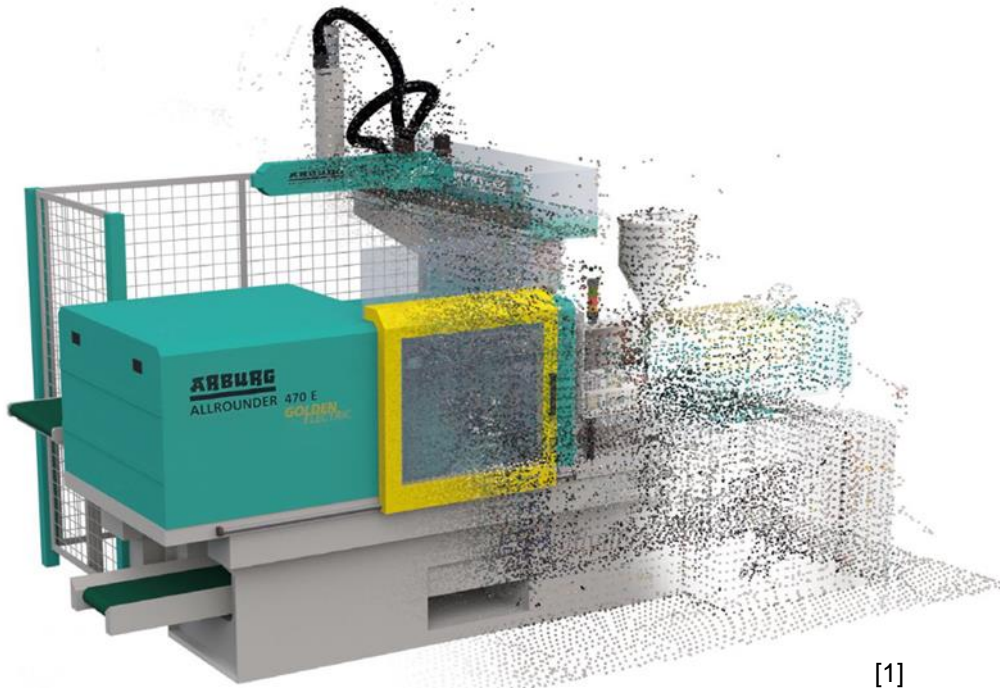


Digital Twin of Injection Molding



[1]

Leitfaden

Prozess- und Störgrößen

Marco Klute

Universität Kassel

Fachgebiet Kunststofftechnik

Prozesskette

Soll ein Digitaler Zwilling gebildet werden, müssen zunächst die Grenzen der Prozesskette abgesteckt werden, innerhalb derer die dem Zwilling zugrundeliegenden Modelle den Realprozess abbilden sollen. Bei kunststoffverarbeitenden Prozessen, wie bspw. dem Spritzgießprozess, gibt es entlang der gesamten Wertschöpfungskette Einflussfaktoren, die sich maßgeblich auf die finalen Bauteileigenschaften auswirken können. Während bei der Polymersynthese die grundlegenden Werkstoffeigenschaften, wie bspw. die Kettenlänge, eingestellt werden, werden die so hergestellten Kunststoffe vor der formgebenden Verarbeitung üblicherweise bei der Aufbereitung mit Additiven und Verstärkungstoffen versehen. Hierbei kann es zu prozessinduzierten Chargenschwankungen kommen, die bspw. in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen oder Inhomogenitäten resultieren können.

Da die Aufbereitung und die Weiterverarbeitung üblicherweise in getrennten Unternehmen durchgeführt werden, ist es kaum möglich sämtliche für die Modellierung notwendige prozessübergreifende Daten zu sammeln. Deshalb bietet es sich hierbei an, die Chargenschwankungen aus vorangegangenen Verarbeitungsschritten als Störgröße zu betrachten.

Für die Entwicklung eines Digitalen Zwillings eines Spritzgießprozesses beginnt die Prozesskette demnach mit der Granulatlagerung, -vortrocknung und -zuführung in die Spritzgießmaschine und endet mit der Qualitätsprüfung der fertigen Bauteile (Nachbearbeitungsschritte sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt).

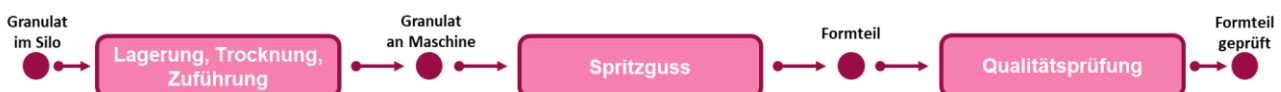


Abbildung 1: Vereinfachte Prozesskette innerhalb eines Spritzgießunternehmens

Je nach Art der eingesetzten Vortrocknungsmethode und Materialzuführung (zentralisierte Vortrocknung in Silos, Einzeltrockner an Maschine, etc.) kann es auch hier schwierig sein, entsprechende Prozesskennwerte aufzuzeichnen. Die Materialrestfeuchte und -temperatur des zugeführten Granulats sollte demnach möglichst konstant gehalten werden und Schwankungen dieser Kenngrößen als Störgrößen betrachtet werden, die den Modellen nicht als Eingangsgrößen zugeführt werden können. In diesem Fall bildet der Digitale Zwilling lediglich den eigentlichen Spritzgießprozess ab. Sämtliche Einflussfaktoren auf die anderen Prozessschritte gelten demnach als Störgröße.

Maschinenelemente und Einstellgrößen

Eine Spritzgießmaschine besteht aus einer Vielzahl an einzelnen Maschinenelementen, die während des Verarbeitungsprozesses unterschiedliche Aufgaben ausführen und separat gesteuert bzw. geregelt werden. Um diesen Leitfaden allgemein zu halten, wird hier die Spritzgießmaschine auf ihre wesentlichen Maschinenelemente (Einspritzeinheit, Formwerkzeug, Schließeinheit) reduziert. Auf zusätzliche Einspritzeinheiten, Handlingsysteme und weitere Peripherie wird nicht eingegangen, diese können aber bei der Entwicklung von Digitalen Zwillingen ebenfalls berücksichtigt werden.

Bei den einzelnen Maschinenelementen ist ein umfassendes Wissen über die möglichen Einstellgrößen und Einflussfaktoren wichtig, um die für den Zwillling relevanten Parameter zu ermitteln. Relevant sind hierbei sämtliche Parameter, die einen Einfluss auf die resultierenden Prozessgrößen und Bauteileigenschaften haben.

Wird der in Abbildung 1 vereinfacht dargestellte Prozessschritt des Spritzgießens nun im Detail betrachtet, muss die Grafik um die Prozessschritte, die den Spritzgießzyklus bilden, erweitert werden. Der dadurch resultierende Verlauf ist in Abbildung 2 dargestellt. Auch hier wurde der Prozess wieder auf die wesentlichen Schritte reduziert. Je nach verwendeter Anlagenkonfiguration und/oder Peripherie müssen weitere Schritte berücksichtigt werden.

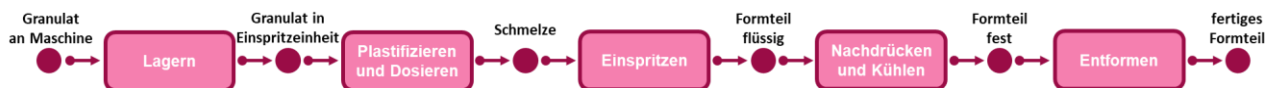


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung eines Spritzgießzyklus

An jedem Schritt sind unterschiedliche Maschinenelemente beteiligt und es können unterschiedliche Maschinenparameter eingestellt werden. Je nach Art der Prozessführung können die einzelnen Parameter hierbei andere Auswirkungen auf die resultierenden Prozessgrößen und Bauteilqualitäten haben. Es ist demnach bei jedem zu fertigendem Bauteil erneut abzuwägen, welche Maschinenparameter für den Digitalen Zwillling relevant sind. Die gängigen Parameter sind beispielhaft in Abbildung 3 aufgelistet und den entsprechenden Maschinenelementen zugeordnet.

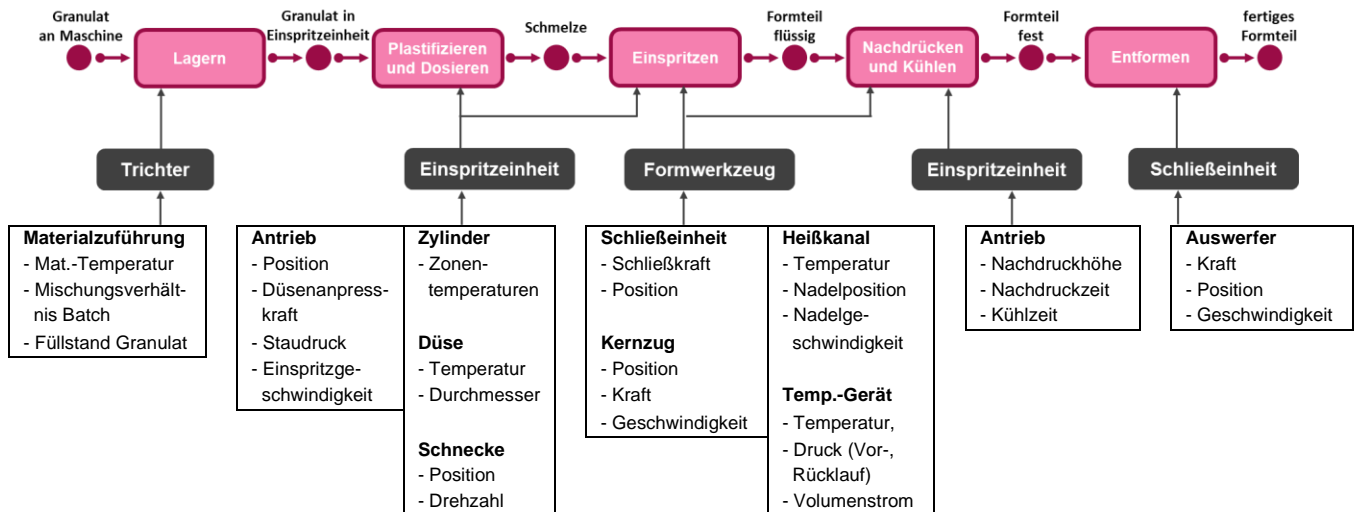


Abbildung 3: Maschinenparameter des beispielhaften Spritzgießprozesses

Resultierende Prozessgrößen

Neben den an der Maschine einstellbaren Parametern, gibt es auch Prozessgrößen, die aus den eingestellten Parametern resultieren. Diese Größen sind nicht einstellbar und können indirekt mit der Bauteilqualität verbunden sein. Insbesondere die Prozessgrößen innerhalb der Kavität dienen häufig als Qualitätsmerkmal für den Spritzgießprozess. Diese Größen, wie bspw. der Forminnendruckverlauf oder die Werkzeugwandtemperatur, lassen sich über entsprechende Sensoren, die im Werkzeugverbaut sind, erfassen. Insbesondere bei Anfahrprozessen oder nach Verzögerungen ändern sich diese Verläufe von Zyklus zu Zyklus und geben dadurch Aufschluss darüber, ob der Prozess einen stabilen Betriebspunkt erreicht hat. So dauert es bspw. mehrere Zyklen, bis sich die Werkzeugtemperatur eingependelt hat, da hierbei die heiße Schmelze das Werkzeug aufheizt, während die Temperierung des Werkzeugs einen Teil der eingebrachten Wärmeenergie abführt. Der Temperaturverlauf, der während eines Spritzgießzyklus innerhalb der Kavität entsteht, hängt maßgeblich von der eingestellten Temperatur des Temperiermediums, dessen Durchflussrate, der Temperatur der eingespritzten Schmelze, der Einspritzgeschwindigkeit, der Nachdruckzeit und der Kühlzeit ab. Je nach eingestellter Parameterkombination verhält sich der resultierende Temperaturverlauf unterschiedlich und trotz gleichbleibender eingestellter Temperatur am Temperieraggregat können unterschiedliche tatsächliche Werkzeugtemperaturen vorliegen. Über die Maschinenparameter hinaus liefern demnach die resultierenden Prozessgrößen zusätzliche Informationen, die bei der Bildung von Modellen zur Prädiktion von Bauteilqualitäten hilfreich sein können.

In Abbildung 4 sind beispielhaft einige Prozessgrößen aufgelistet, die je nach vorliegendem Szenario relevant für die Modelle sein können. Einige davon lassen sich über die

Maschinensteuerung oder Sensoren in der Kavität erfassen, für andere sind zusätzliche Messsysteme notwendig.

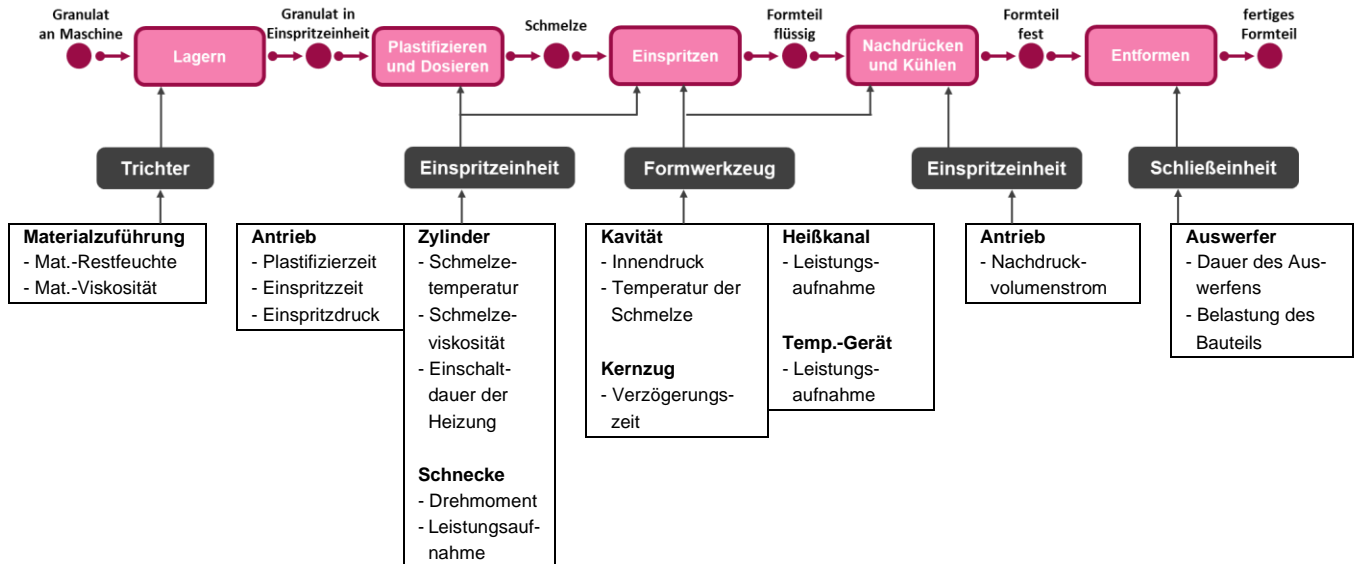


Abbildung 4: Resultierende Prozessgrößen

Störgrößen

Im Kontext des in diesem Leitfaden beschriebenen Szenario eines zu modellierenden Spritzgießprozesses, werden unter Störgrößen die Einflussgrößen verstanden, die entweder nicht bekannt, nicht messbar und/oder nicht kontrollierbar sind. Neben typischen Störgrößen, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Produktionshalle, können beim Spritzgießen bspw. zusätzliche Einflüsse durch Verschleiß von Maschinenkomponenten, Ablagerungen in der Kavität, Chargenschwankungen des Granulats oder abweichende Bedingungen der Werkzeugtemperierung auftreten. Hierbei ist zu beachten, dass sich diese Störgrößen nicht nur auf den eigentlichen Spritzgießprozess auswirken können, sondern auch auf weitere für die Modellierung relevante Prozessschritte, wie bspw. die Qualitätsdatenerfassung.

Insbesondere bei der Erzeugung von Trainingsdaten, die üblicherweise durch ein Design of Experiment erhoben werden, sollte darauf geachtet werden, möglichst viele dieser nicht bzw. nur schwer kontrollierbaren Störgrößen konstant zu halten oder zumindest aufzuzeichnen (bspw. Temperaturen und Luftfechtigkeiten).



Fazit

Für die Entwicklung eines Digitalen Zwillings eines Spritzgießprozess können in Abhängigkeit des zu fertigenden Bauteiles und dessen Qualitätsmerkmalen unterschiedliche Maschineneinstellgrößen für die Modellierung relevant sein. Um möglichst effiziente Modelle zu erhalten, sollte die Anzahl an Parametern vor der eigentlichen Modellbildung reduziert werden, indem Parameter, die keinen Einfluss haben identifiziert werden. Der Einfluss der relevanten Parameter kann bspw. durch ein Design of Experiment ermittelt werden, jedoch ist der damit verbundene Versuchsaufwand je nach Anzahl der untersuchten Parameter sehr hoch. Die bei der Ermittlung der Einflüsse aufgezeichneten Prozessdaten können jedoch ebenfalls als Trainingsdaten für die Modellierung dienen. Wichtig ist, dass dabei möglichst keine durch Störgrößen verursachten Einflüsse auftreten.

Resultierende Prozessgrößen sollten ebenfalls aufgezeichnet werden, da diese entscheidende qualitätsrelevante Informationen für die Modelle bereitstellen können. Insbesondere bei dynamischen Modellen ist es entscheidend, dass diese Größen als Trajektorie aufgezeichnet werden. Deshalb empfiehlt sich die Verwendung von zusätzlichen Sensoren innerhalb der Werkzeugkavität.

Quellen:

- [1] <https://hmq-3d.ch/galerie/40/3d-modell-spritzgiessmaschine-arburg.html>
zuletzt aufgerufen am: 21.02.2023