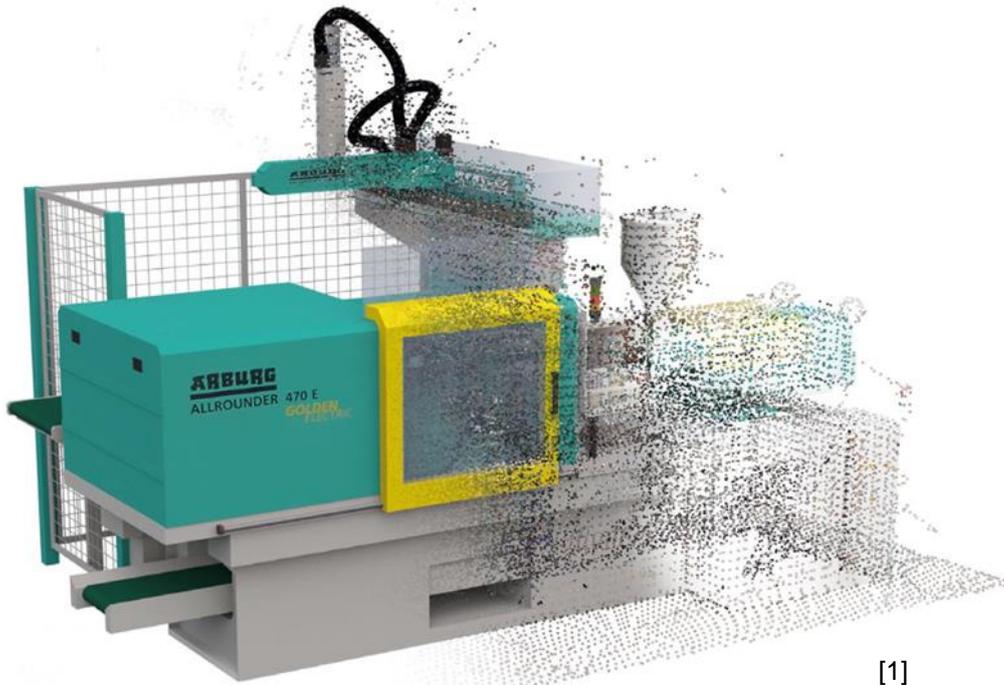


Digital Twin of Injection Molding



[1]

Leitfaden

Erfassung von Qualitätsgrößen im Prozesstakt

Marco Klute

Universität Kassel

Fachgebiet Kunststofftechnik

Übersicht über mögliche Qualitätsgrößen

Auch heute noch wird davon ausgegangen, dass ein gut abgemustertes Spritzgießbauteil bei einem stabilen Herstellungsprozess konstante Bauteilqualitäten aufweist. Es ist zwar bekannt, dass sämtliche Qualitätsgrößen stochastischen Schwankungen unterliegen, dass diese jedoch innerhalb einer festgelegten Toleranz liegen, was bspw. durch Prozessregelkarten überprüft wird. Hierzu werden üblicherweise regelmäßige Stichproben entnommen und vermessen, oder qualitätsbeeinflussende Prozessparameter überwacht. Dass die Schwankungen jedoch stets innerhalb der Toleranzen liegen, gilt nur dann, wenn der Prozess selbst keine gravierenden Schwankungen aufweist und er nicht durch unbeeinflussbare und/oder äußere Einflussfaktoren manipuliert wird (vgl. Leitfaden „Prozess- und Störgrößen“). Insbesondere bei Bauteilen mit hohen Anforderungen an die Qualität reicht eine stichprobenartige Qualitätskontrolle oftmals nicht aus. Deshalb wird eine Qualitätskontrolle jedes produzierten Bauteils immer relevanter. Das setzt natürlich voraus, dass die zu überprüfenden Qualitätsmerkmale sowohl im Prozesstakt als auch zerstörungsfrei ermittelt werden können.

Außerdem ist im Sinne des Konzepts der Industrie 4.0 eine Erhebung möglichst vieler Qualitätsgrößen an jedem Bauteil unabdingbar. Basierend auf möglichst vielen Prozess- und Qualitätsdaten sollen durch Modelle der Künstlichen Intelligenz (bspw. Digitale Zwillinge) Prognosen errechnet werden, die den realen Prozess möglichst gut beschreiben und ihn ggf. anpassen, um eine konstante Qualität zu gewährleisten. Im Folgenden sollen hierfür mögliche Qualitätsmerkmale vorgestellt werden. Tabelle 1 listet diese unterteilt in die Kategorien „Maße und Gestalt“ sowie „Oberfläche“ auf.

Tabelle 1: Mögliche Qualitätsgrößen, die die Maßhaltigkeit, Gestalt und Oberflächeneigenschaften spritzgessener Bauteile beschreiben [2]

Maße und Gestalt	Oberfläche
Gewicht	Schlieren
Form- und Lagetoleranzen	Brenner
Schwindung und Verzug	Einfallstellen
Spannungen	Porositäten
Faserorientierung und -verteilung	Bindenähte
Agglomerierung	Narbung, Textur
Entmischung	Gelbfärbung, Oberflächenabzeichnung
Gratbildung	Farbunterschiede
Unterfüllung	Farbqualität, Transparenz
Dichtigkeit	
Haftung bei Mehrkomponentenbauteilen	

Messmethoden zur Qualitätsbestimmung im Prozesstakt

Viele der in Tabelle 1 aufgelisteten Qualitätsmerkmale werden üblicherweise durch Sichtprüfungen, die sich teilweise durch entsprechende Kamerasysteme automatisieren lassen, durchgeführt und stellen Ausschusskriterien dar. So kann bspw. das Vorhandensein von Brennern, Schlieren oder Bindenähten schnell erkannt werden und führt zu einer Aussortierung des betroffenen Bauteils. Die auf diese Qualitätsmerkmale überprüften Bauteile werden demnach in die Kategorien „in Ordnung“ (iO) und „nicht in Ordnung“ (niO) eingestuft. Für Machine Learning-Modelle kann diese Kategorisierung zwar auch verwendet werden, jedoch stellt sie keine quantifizierbare Zielgröße dar. Hierzu eignen sich insbesondere im Prozesstakt messbare Qualitätsmerkmale. Idealerweise werden mehrere Qualitätsmerkmale überwacht, sodass auch die Einstufung in iO/niO berücksichtigt werden kann. Besonders geeignet sind hier die Qualitätsmerkmale, die die Maßhaltigkeit und Gestalt der Bauteile beschreiben.

Während das Bauteilgewicht sehr einfach über eine Laborwaage bestimmt werden kann, lassen sich viele der anderen in Tabelle 1 aufgeführten Qualitätsmerkmale berührungslos durch eine optische Vermessung bestimmen. Durch einen digitalen Messprojekt mit automatischer Geometrieerkennung kann bspw. simultan eine Vielzahl an geometrischen Größen, wie Abstände oder Durchmesser, gemessen werden. Je nach Bauteil- und Messfeldgröße können auch mehrere Bauteile gleichzeitig vermessen werden. Außerdem können auf diese Weise zusätzliche Informationen, wie bspw. eine Gratbildung oder Bauteilverzug, erfasst werden.

Ein weiteres zerstörungsfreies Messprinzip, das im Prozesstakt Qualitätsmerkmale erfassen kann, ist die Terahertz-Technologie. Hierbei werden ultrakurze elektromagnetische Pulse, deren Wellenlänge im Terahertz-Bereich liegen durch das Bauteil geleitet, um Rückschlüsse auf Maßhaltigkeiten zu erhalten und Qualitätsmerkmale im Bauteilinneren zu analysieren. Auf diese Weise können bspw. Faserverteilungen und -orientierungen oder die Morphologie geschäumter Bauteile abgebildet werden.

Aufbau einer Qualitätsmesszelle

Bei den zu analysierenden Qualitätsmerkmalen muss darauf geachtet werden, dass diese teilweise temperaturabhängig sein können. Dadurch, dass die hergestellten Bauteile möglichst im Prozesstakt und ohne lange Wartezeiten vermessen werden sollen, spielt der Messzeitpunkt (Zeitdifferenz zwischen Entformung und Vermessung) eine entscheidende Rolle. Hier von sind insbesondere Maßhaltigkeiten, Schwindung und Verzug betroffen. Deshalb empfiehlt sich die Verwendung von Handling- oder Transportsystemen, die die Messungen automatisiert durchführen, um ein gleichbleibende Messzeitpunkte zu gewährleisten. Außerdem wird auf



diese Weise gewährleistet, dass die Positionierung der Bauteile im Messfeld optischer Messverfahren konstant ist.

Darüber hinaus muss für jedes eingesetzte Messverfahren die Messmittelfähigkeit (Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Vergleichspräzision, Stabilität, Linearität) nachgewiesen und der Einfluss möglicher Störgrößen minimiert werden. Hierbei sind konstante Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten sowie Lichteinstrahlungen zu gewährleisten und Luftzüge oder Vibrationen zu vermeiden.

Die durch die Messmittel erhobenen Qualitätsdaten sollten direkt im Anschluss an die Messung in eine Datenbank gespeichert werden, damit sie den Machine Learning-Modellen unmittelbar zur Verfügung stehen. Außerdem muss auf eine eindeutige Kennzeichnung der Qualitätsmerkmale geachtet werden, damit diese den entsprechenden Prozessgrößen zugeordnet werden. Dies ist aus dem Grund wichtig, da es immer einen zeitlichen Versatz zwischen der Erhebung der zyklusbezogenen Prozessgrößen und der Vermessung des in diesem Zyklus hergestellten Bauteils gibt.

Quellen:

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

- [2] VDI-Statusreport (2019). Industrie 4.0 in Spritzgießunternehmen
(<https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-statusreport-industrie-40-in-spritzgiessunternehmen>)
zuletzt aufgerufen am 21.02.2023