

## Zusammenfassung

IGF-Nr.: 14364 N

### Qualitätsfähigkeit von Spritzgießsystemen

#### Forschungsziel

Oberste Zielsetzung des durchgeführten Forschungsvorhabens war die Verbesserung der Qualitätsfähigkeit von Spritzgießsystemen. Dabei sollte die Reproduzierbarkeit der Formteilqualität und die Verkürzung der Anlaufzeiten beim Anfahren neuer Fertigungslose im Vordergrund stehen. Dies gilt für ein und dasselbe, aber auch für unterschiedliche Spritzgießsysteme. Ein wichtiges Teilziel auf dem Weg zur Reproduzierbarkeit war die Festlegung von Toleranzen für die Systemparameter, die einerseits den Systemlieferanten ausreichend Spielraum lassen, andererseits aber auch den Verarbeitern das Erreichen der Sollqualität ermöglichen.

#### Lösungsweg

In Voruntersuchungen wurden zunächst die notwendigen messtechnischen und strategischen Voraussetzungen für die geplanten Industrie- und Laborversuche geschaffen. Ein erster Schwerpunkt war die Untersuchung der Fähigkeit von Spritzgießmaschinen nach der VDMA-Richtlinie 24470-1. Dazu wurden die Ist-Toleranzen von Spritzgießmaschinen und Peripheriegeräten im Vergleich zu den Soll-Toleranzen gemäß VDMA-Richtlinie und deren Auswirkung auf die Formteilqualität ermittelt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten lag in der Analyse und Bewertung von konkreten Problemen in sechs Spritzgießbetrieben. Die Untersuchungen erstreckten sich auf die drei Funktionsbereiche des Spritzgießsystems: Spritzeinheit, Schließeinheit mit Werkzeug und Peripherie.

Die Strategie der Prozessanalyse bestand darin, über die Standardmesseinrichtungen der Spritzgießsysteme hinausgehend die physikalischen Zustandsgrößen Druck, Temperatur und Volumen der Masse mess- und reproduzierbar zu machen. Solche Messgrößen sind Druck- und Temperatur der Masse im Schneckenorraum, der Forminnendruck und die Atmung des Werkzeugs als Repräsentant von Volumenänderungen der Kavität.

#### Fähigkeitsuntersuchungen nach VDMA

Die Fähigkeitsuntersuchung nach VDMA wurde im Rahmen des Forschungsprojekts auf Praxistauglichkeit überprüft und bewertet. Die erprobten Messmittel haben sich bewährt und können von der Industrie übernommen werden. Nicht alle Prüfverfahren nach VDMA sind praxistauglich. Funktionierende Prozeduren wurden beschrieben und zur Nachahmung empfohlen. Die Genauigkeit von 11 Maschinen wurde umfassend überprüft. Nur 3 von diesen 11 Maschinen lagen mit allen Parametern innerhalb der VDMA-Toleranzen. Die VDMA-Richtlinie enthält keinen Toleranzvorschlag für die Schneckenkraft, aus der sich der theoretische Massedruck bei vollelektrischen Maschinen berechnet. Es wird vorgeschlagen, dass die Richtlinie um diesen Punkt er-

gänzt wird, da sich herausstellte, dass gerade bei dieser Größe große Ungenauigkeiten auftraten.

### **Toleranzuntersuchungen**

Es konnte gezeigt werden, dass durch grenzwertige Kombinationen der VDMA-Toleranzen Maßtoleranzen nach DIN 16901 überschritten werden können. Die VDMA-Toleranzen sind für Formteile hoher Präzision eindeutig zu groß. Auf der anderen Seite wurde festgestellt, dass die Ist-Toleranzen der Maschinenparameter mehrheitlich deutlich kleiner als die VDMA-Toleranzen sind. Dies schließt nicht aus, dass einzelne Werte die VDMA-Toleranzen häufig überschreiten. Ursache sind dann meist Kalibrierfehler. Nach bisherigen Erfahrungen könnten die VDMA-Toleranzen problemlos um 30-50% reduziert werden. Zur Präzisierung sollten allerdings noch breiter angelegte Untersuchungen durchgeführt werden.

### **Analyse der Spritzeinheit**

Für die Messung der Zustandsgröße Druck im Schneckenorraum wurden alle auf dem Markt verfügbare Drucksensoren getestet. Ergebnis: Alle Aufnehmer sind ausreichend genau, Probleme ergaben sich in der Robustheit und Lebensdauer der Fühler. Bei der Messung der Masstemperatur im Schneckenorraum konnten nur mit einem IR-Sensor gute Ergebnisse erzielt werden. Für den Einbau der Schneckenorraumsensoren (Druck- und Temperaturfühler) wurde ein Messring mit quadratischer Querschnittserweiterung zur Vermeidung von Totzonen entwickelt. Unabdingbare Voraussetzungen für den störungsfreien Einbau der Sensoren sind Spezialwerkzeuge und Drehmomentschlüssel. Die Lebensdauer der Sensoren konnte im Rahmen des Projekts nicht abschließend erprobt werden. Erfahrungswerte der Hersteller und Anwender ergaben, dass die Aufnehmer keinesfalls die gewünschte Lebensdauer einer Maschine erreichen, also als Verschleißteile betrachtet werden müssen.

Der Messung des Schneckenorraumdrucks erwies sich als wertvolles Hilfsmittel zur Prozessanalyse. In allen Betrieben wurden mehrere fehlerhafte Maschinenfunktionen entdeckt. Die Reproduzierbarkeit der Formteilqualität beim Wiederanfahren eines Werkzeugs auf ein und derselben oder auf einer zweiten Maschine war in keinem einzigen Fall gegeben. Als Hauptursache wurde das unterschiedliche Übertragungsverhalten der Einstellparameter vom Antrieb in den Schneckenorraum identifiziert. Durch Anpassung des Schneckenorraumdruckverlaufs an eine Masterkurve aus früheren Produktionsanläufen konnten die Qualitätsunterschiede um bis zu 50% verringert werden. Die Anpassung an die Masterkurve wurde im Rahmen des Projekts meist manuell vorgenommen. Exemplarisch wurde jedoch an einer Maschine untersucht, ob diese Anpassung nicht durch eine direkte Regelung des Schneckenorraumdrucks an Stelle des Hydraulikdrucks automatisiert werden kann. Als Ergebnis ist festzustellen, dass eine direkte Regelung des Schneckenorraumdrucks nach Anpassung der Reglerparameter problemlos möglich ist. In Anbetracht des großen Verbesserungspotentials ist die Entwicklung robusterer Druckaufnehmer oder einer indirekten, verschleißarmen Druckmessung im Schneckenorraum bereits Gegenstand eines AiF-Folgeprojekts. Als Zwischenlösung wird der Einbau vom Messringen in die Maschinen vorgeschlagen, in die nur im Bedarfsfalle, z.B. beim Anfahren von Werkzeugen, Aufnehmer eingeschraubt werden. Neben dem Druckverlauf müssen selbstverständlich auch die Temperaturen reproduziert werden. Von besonderer Bedeutung erwies sich die Düsentemperatur, weil diese die Druckübertragung ins Werkzeug gravierend verändern kann.

### **Analyse der Schließeinheit mit Werkzeug**

Im Rahmen des Projekts wurden die Voraussetzungen für die messtechnische Analyse der Verformung von Werkzeugen und Schließeinheiten geschaffen und erprobt. Neben einem hochgenauen Laserinterferometer haben sich kleine Wirbelstromsensoren besonders gut bewährt, mit deren Hilfe Distanzänderungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich zuverlässig registriert werden können. Mit diesen Sensoren ist es erstmalig möglich geworden, auch unter Produktionsbedingungen die Werkzeugatmung im Werkzeuginnern direkt über die Trennebene oder zwischen Werkzeugteilen zu messen. Diese Wirbelstromsensoren erlauben es, in Kombination mit den eigens entwickelten Hilfseinrichtungen „Messpin“ und „Messarm“, auch über größere Distanzen zu messen und die Werkzeugatmung 3-dimensional zu erfassen.

Die Schließkraft hat einen deutlich messbaren Einfluss auf die Werkzeugatmung und somit auch auf die Qualität des Formteils. Die Atmungskurve im Werkzeuginneren verhält sich meist proportional zum Druckverlauf und könnte somit als Ersatzgröße für eine Forminnendruckmessung benutzt werden, was besonders bei vielfach belegten Werkzeugen interessant ist, da der Forminnendruck nicht in jeder Kavität gemessen werden kann. Es hat sich gezeigt, dass sogar Chargenschwankungen der Fließfähigkeit in den Atmungskurven sehr gut erkannt werden können. Die Werkzeugatmung kann zu einer wertvollen Größe der Produktions- und Qualitätsüberwachung werden. Dieser Aspekt soll in einem von der Forschungsstelle angestrebten Anschlussprojekt umfassend untersucht werden.

### **Analyse der Peripherie**

Die Funktion von Trocknern kann mit Hilfe der erreichbaren Restfeuchte überwacht werden. Zur Messung der Restfeuchtigkeit ist immer das gleiche, vom Hersteller zu wartende Gerät zu benutzen. Da das Granulat im Trockentrichter räumlich unterschiedlich schnell trocknet, ist darauf zu achten, dass das Granulat immer an einer repräsentativen Stelle entnommen wird. Die benötigte Trocknungszeit sollte in Abhängigkeit von der Anfangsfeuchtigkeit bestimmt werden.

Die Untersuchungen von Temperiergeräten haben gezeigt, dass auch bei baugleichen Geräten je nach Zustand Unterschiede in den Leistungsmerkmalen vorhanden sind. Besonders deutlich war dies bei dem Vergleich von Temperiergeräten unterschiedlicher Hersteller. Dies gilt sowohl für die Heiz- und Kühlleistung als auch für die Pumpenkennlinie. Solange die Geräte nicht an ihre Leistungsgrenzen stoßen, können die Unterschiede über eine direkte Werkzeugtemperaturregelung ausgeglichen werden, da diese in jedem Falle den Soll-Wert anstrebt. Durch regelmäßige Überprüfung der Leistungsdaten kann der Verschleißzustand der Geräte ermittelt und behoben werden. Hilfsmittel und Prozeduren zur praxisnahen Ermittlung der Leistungsdaten wurden erprobt und stehen Interessenten zur Verfügung.

Im Rahmen des Projekts konnten zwei komplexe Heißkanäle analysiert werden, da diese durch Wartungsarbeiten zugänglich waren. Die Regelung erfolgte mit einem speziellen Heißkanalregelsystem und Standardtemperaturreglern der Maschinesteuerungen. Es zeigte sich, dass nur die speziellen Heißkanalregler mit adaptivem Regelalgorithmus die Soll-Werte der Regelkreise überschwingungsfrei und schnell ohne Soll-Ist-Abweichungen erreichten. Voraussetzung ist allerdings, dass der Selbstoptimierungslauf der Regler durchgeführt wird. Eine Untersuchung der Temperaturhomogenität und des Betriebsverhaltens konnte nicht durchgeführt werden, da dazu die Installation zusätzliche Temperaturfühler im Heißkanalsystem erforderlich wäre. Eine umfassende Untersuchung des Betriebsverhaltens muss einem eigenständigen Heißkanalprojekt vorbehalten bleiben.

Insgesamt soll bemerkt werden, dass das Vorhaben, wie bereits bei der Antragsstellung erläutert, enorm aufwändig war und nur dank des großen Einsatzes der beteiligten Mitarbeiter sowie durch die zusätzliche Unterstützung von nicht über das Projekt finanzierten Mitarbeitern und dem projektbeleitenden Ausschuss zum Erfolg gebracht werden konnte.

Es kann zusammenfassend festgehalten werden, dass

**„das Ziel des Vorhabens in vollem Umfang erreicht wurde“**

### **Danksagung und Bestellhinweis**

Das IGF-Vorhaben 14364 N der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Wir danken auch den Firmen, die uns durch die Bereitstellung von Materialien und Geräten maßgeblich bei der Durchführung der Arbeiten unterstützt haben. Insbesondere sind hier die Firmen Battenfeld Kunststoffmaschinen, Braun, Preh, Behr, Gealan Formteile, Brose Fahrzeugteile, Geiger technik, Kistler Instrumente, FOS Messtechnik, Gefran Deutschland, Dynisco, Sensormate und Bei - Ideacod zu nennen.

Ebenso gilt unser Dank den Damen und Herren des Projektbegleitenden Ausschusses für die unterstützenden Anregungen und Diskussionen bei den Ausschusstreffen. Ein weiterer Dank gilt allen beteiligten Mitarbeitern des SKZ.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden. Dieser kann auf Anfrage beim SKZ zum Selbstkostenpreis bestellt werden. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.