

Spitzenqualität mit kurzen Zyklen

Maschineneinstellung. Eine neu entwickelte Software findet die optimalen Einstellungen für jede Spritzgießmaschine, indem sie automatisch den Zusammenhang zwischen Einstellgrößen, Qualitätsmerkmalen, Prozessstabilität und Zykluszeit auf Basis einer systematischen Auswertung der Bemusterungsdaten ermittelt. Durch eine Online-Qualitätsprognose definierter Qualitätsmerkmale lässt sich zusätzlich eine lückenlose Prozessüberwachung realisieren.

PHILIPP LIEDL U. A.

Ein energieeffizienter Anlagenbetrieb, der Kosten spart und zugleich Ressourcen schont, sichert die Zukunft der Unternehmen. Der Maschineneinrichter wird dabei mit widersprüchlichen Herausforderungen konfrontiert: Will er die Energieeffizienz erhöhen und damit die Betriebskosten senken, muss ihm der Spagat zwischen einer Reduzierung der Zykluszeiten und einer Minimierung der Ausschussquote in der Produktion gelingen. In der Spritzgießindustrie verstärkt sich der Trend zu geringen Qualitätstoleranzen, die Kunden verlangen vermehrt eine lückenlose Prozessdokumentation.

Um den Einrichter bei der Bewältigung dieser Anforderungen zu unterstützen, hat die Steinbeis Angewandte Systemanalyse GmbH (Stasa) die inzwischen mit dem doIT Software-Award ausgezeichnete Software Stasa QC entwickelt [1]. Die Grundidee lautet, für jede Anwendung zuverlässig die optimale Maschineneinstellung zu ermitteln. Mit dieser Einstellung soll bei stabil laufendem Prozess sowohl die Qualität innerhalb der geforderten engen Toleranzen liegen als auch eine möglichst kurze Zykluszeit erreicht werden (Arbeitspunktoptimierung).

Optimierung in der laufenden Serienfertigung

Die elfo AG, Sachseln/Schweiz, fertigt hochpräzise Kunststoffteile für die Haushalts- und Medizintechnik. In einem ge-

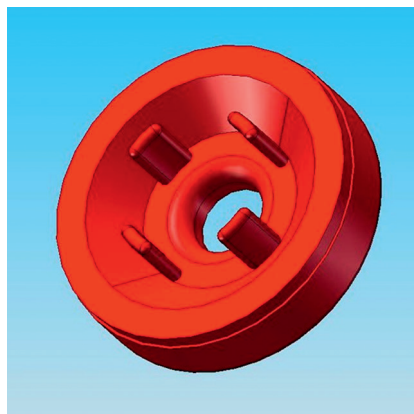


Bild 1. Die Drosselscheibe dient zur Durchflussreduktion in Wasserhähnen und wird in einer Losgröße von 600000 Stück pro Jahr hergestellt (Bild: elfo)

meinsamen Projekt mit der Stasa GmbH gab das Unternehmen das Ziel vor, die Zykluszeit in der laufenden Serienfertigung einer Drosselscheibe aus POM (Bild 1) bei gleichbleibender Formteilqualität zu reduzieren.

Von dieser Drosselscheibe fertigt elfo 600000 Stück pro Jahr in einem 4-Kavitäten-Werkzeug. Nachdem ein erfahrener Einrichter den Fertigungsprozess eingestellt hatte, betrug die Zykluszeit 13,0 s. Nach der Software-unterstützten Optimierung lag die Zykluszeit bei 10,7 s. Dies entspricht, bei gleicher Teilequalität, einer Verbesserung um 2,3 s (18 %) gegenüber der ursprünglichen Serieneinstellung.

Als Ausgangspunkt für die Optimierung mit Stasa QC definiert der Einrichter die Maschineneinstellgrößen und Wertebereiche, in denen die einzelnen Parameter sinnvoll verändert werden können: Masse- und Werkzeugtemperatur,

Nachdruckhöhe, Nachdruckzeit, Restkühlzeit und Einspritzgeschwindigkeit. Im zweiten Schritt werden die Qualitätsmerkmale sowie deren Sollwerte und Toleranzgrenzen vorgegeben – einerseits messbare (z. B. Bauteilmaße oder -gewicht), andererseits kontinuierliche sowie attributive Qualitätsmerkmale, die subjektiv beurteilt werden (z. B. Gratbildung, Glanzstellen etc.). In diesem Fall wurden die Merkmale Innendurchmesser (mm), Durchmesser (mm), Höhe (mm) und Gratbildung (attributiv: gut/schlecht) beobachtet.

Nun erstellt die Software automatisch einen Versuchsplan (Design of Experiments). Auf dieser Basis werden bestimmte Werte der einzelnen Stellgrößen an der Maschine nacheinander eingestellt, um den Zusammenhang zwischen den Einstellgrößen und den Qualitätsmerkmalen mit möglichst geringem Aufwand zu ermitteln. Hier waren es elf Einstellungen, für die der Einrichter eine variable Anzahl von Teilen (5–20) fertigte.

Kontakt

**Steinbeis Angewandte
Systemanalyse GmbH**
D-70599 Stuttgart
TEL +49 711 4790181
→ www.stasa.de

elfo AG
CH-6072 Sachseln
Schweiz
TEL +41 41 6667111
→ www.elfo.ch

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110326

Alle möglichen Kombinationen im Handumdrehen simulieren

Stasa QC ermittelt anschließend auf Knopfdruck die Wirkung der Maschineneinstellgrößen auf jedes einzelne Qualitätsmerkmal (**Bild 2**) und erzeugt im Hintergrund entsprechende Simulationsmodelle. Diese ermöglichen es dem Anwender, am Bildschirm die jeweiligen Zusammenhänge interaktiv zu betrachten (**Bild 3**). So kann der Einrichter zeitsparend weitere virtuelle Versuche durchführen oder automatisch die beste Maschineneinstellung ermitteln. Gleichzeitig erhält er Hinweise, ob mit dem gegebenen Werkzeug ohne Änderungen überhaupt Bauteile der geforderten Qualität hergestellt werden können. Eine Prognose der Prozessfähigkeitsindizes zeigt auf, ob die Einhaltung der Prozessfähigkeit möglich ist.

Der Hauptvorteil liegt auf der Hand: Man kann in kürzester Zeit alle möglichen Kombinationen der Einstellgrößen simulieren. Dadurch werden zuverlässig die Einstellungen gefunden, die die Einhaltung der Qualitätstoleranzen und das Erreichen einer möglichst geringen Zykluszeit gewährleisten. Alle Ergebnisse der Arbeitspunktoptimierung sowie die Daten, die darin eingeflossen sind, übernimmt Stasa QC automatisch in die Projektdokumentation.

Die bisherigen Praxiserfahrungen mit der Software zeigen, dass auch bei bereits eingerichteten Spritzgießprozessen in der Regel eine Reduzierung der Zykluszeit um

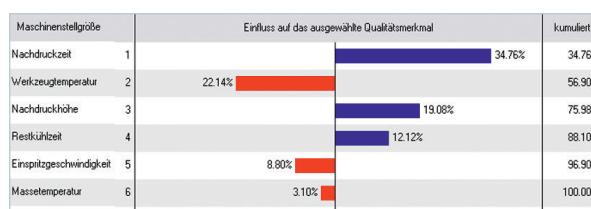


Bild 2. Den Einfluss der Maschineneinstellgrößen auf die Qualitätsmerkmale ermittelt die Software automatisch. Die Länge der Balken gibt die Größe des Einflusses an, die Richtung und die Farbe die Wirkungsrichtung der Stellgröße (Bild: Stasa)

rund 10 % (im Beispiel Drosselscheibe sogar 18 %) möglich ist. Da die elfo AG viele Kunststoffteile dieser Art produziert, zahlt sich die Investition in Stasa QC bereits im ersten Jahr aus.

Kombination aus linearen Modellen und neuronalen Netzwerken

Das Kernstück von Stasa QC bildet ein patentiertes Verfahren zur zyklischen Qualitätsbewertung und Prozessüberwachung bei periodischen Produktionsprozessen [2]. In den vergangenen Jahren wurde die Eignung neuronaler Netzwerke für die Simulation der Qualitätsmerkmale (Formteilmgewicht, Gratbildung, Stippen, Glanzstellen, Lunker etc.) in Abhängigkeit von den Maschineneinstellgrößen nachgewiesen [3, 4]. Diese Verfahren orientieren sich an Vorgängen im Gehirn, wie wir Menschen einen bestimmten Zusammenhang erlernen, z. B. dass wir uns an einer heißen Herdplatte die Finger verbrennen.

Neuronale Netzwerke sind so flexibel, dass mit ihnen im Prinzip jeder beliebige

Zusammenhang simuliert werden kann. In der Praxis kommt das Modell jedoch schnell an die Grenzen des Durchführbaren: Die benötigte Anzahl der Neuronen muss im Voraus festgelegt werden. Dies herauszufinden erfordert tiefgehende Kenntnis neuronaler Netzwerke und ausführliche Tests mit unterschiedlich konfigurierten neuronalen Netzwerkmodellen. Die Vielzahl benötigter Versuche hat in der Anwendung einen enormen Zeit- und Kostenbedarf zur Folge.

Damit die Vorteile der neuronalen Netzwerke auch in der Praxis sinnvoll genutzt werden können, entwickelte die Stasa das neue Verfahren als eine Kombination aus linearen Modellen und neuronalen Netzwerken. Ausgangspunkt ist ein einfaches lineares Modell. In dieses werden nun automatisch nacheinander Neuronen eingebaut und die Ergebnisse des so erweiterten Modells mit den Messdaten verglichen. Wenn sich durch den Einbau weiterer Neuronen keine Verbesserung zwischen Modell und Wirklichkeit mehr erzielen lässt, stoppt das Verfahren. So ist gewährleistet, dass das Simulationsmodell immer bestmöglich an die Versuchsdaten angepasst wird.

Lückenlose Überwachung der Qualität beim Spritzgießen

Durch eine Erweiterung von Stasa QC um den Online-Qualitätsnavigator, der bereits optional erhältlich ist, lässt sich neben der Arbeitspunktoptimierung eine lückenlose Überwachung der Qualität in der Fertigung realisieren. Voraussetzung dafür ist der Einbau eines Werkzeuginnendruck- oder Werkzeugtemperatursensors. Aus den Sensordaten ermittelt Stasa QC selbstständig die relevanten Prozesskenngrößen (z. B. Werkzeuginnendruckmaximum, Temperatur in der Nachdruckphase etc.) im optimalen Arbeitspunkt. So lassen sich später in der laufenden Fertigung Veränderungen der Qualitätsmerkmale erkennen und quantitativ beschreiben. Ähnlich wie bei der Arbeitspunktoptimierung werden mit dem Online-Qualitätsnavigator Simulationsmodelle für jedes einzelne Qualitätsmerkmal erstellt. In diese fließen jedoch

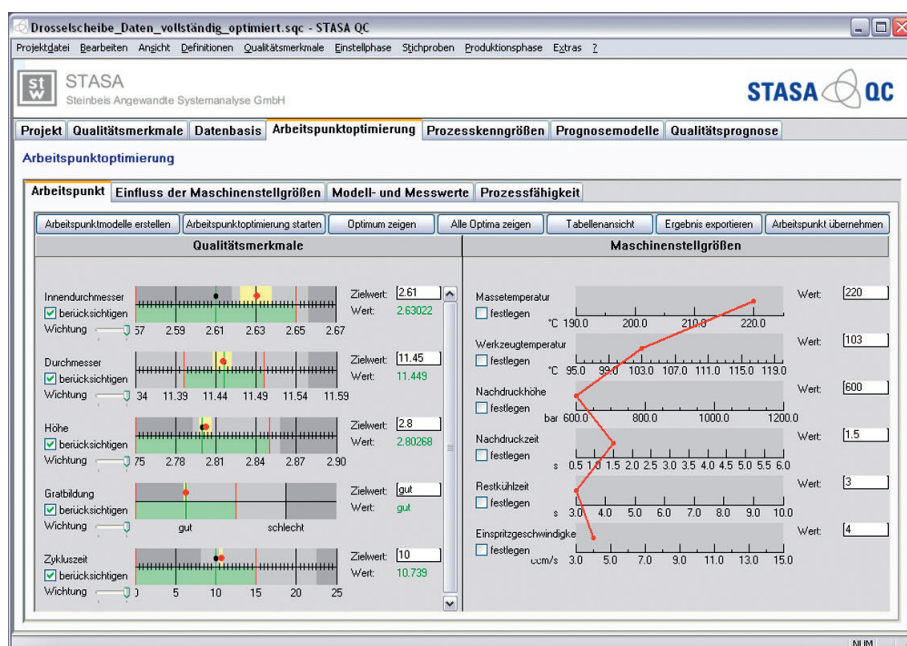


Bild 3. Interaktive Simulation der Änderung der Maschineneinstellung: Die Modellwerte der Qualitätsmerkmale sind als rote Punkte dargestellt, das Toleranzband ist grün hinterlegt. Als Maß für die Streuung der Merkmale geben die gelben Balken um die Modellwerte die Prozessunsicherheit an (Bild: Stasa)

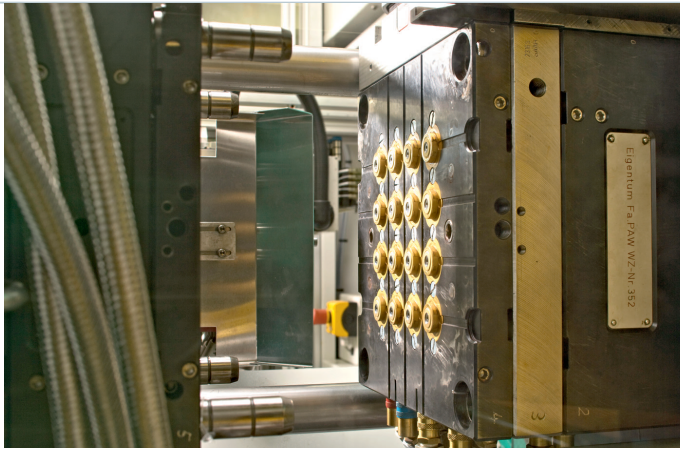


Bild 4. Eine On-line-Prozessüberwachung verhindert, dass unmerkter Ausschussteile produziert werden (Foto: elfo)

nicht die Maschinenparameter, sondern direkt die Prozesskenngrößen ein. So werden auch Veränderungen bei konstanter Maschineneinstellung sichtbar, etwa durch Verschleiß, Chargenänderungen, Außentemperatur. Ausschussteile können in der laufenden Fertigung sofort, d. h. noch vor dem Auswerfen des Teils, erkannt und direkt über eine Ausschussweiche aussortiert werden.

Die Online-Qualitätsprognose ermöglicht eine komfortable Prozessüberwachung, die direkt die Qualitätsmerkmale in die Überwachung einbezieht. Eine indirekte Überwachung der Qualität über bestimmte Prozesskenngrößen, die der Anwender im Vorfeld definieren muss, entfällt. Prozessdriften – langsame Prozessveränderungen z. B. durch eine steigende Umgebungstemperatur –, die sonst erst bei der regelmäßigen Stichprobenentnahme auffallen würden, werden mit dem Online-Navigator frühzeitig erkannt und sind damit beherrschbar. Dies erlaubt dem Anwender zu reagieren, bevor eine ganze Fertigungscharge bis zur Vermessung der Stichprobenteile als Ausschuss deklariert werden muss. Da die

Teilequalität erst nach dem einen bis zwei Tage dauernden Abkühl- und Nachkristallisationsprozess endgültig bestimmt werden kann, ergibt sich ein enormes Einsparpotenzial: Bei einer Ausschussfertigung über einen Zeitraum von einem Tag (24 h Ruhezeit bis zur Teilevermessung nach der Stichprobenentnahme) errechnen sich mit einer Zykluszeit von 20 s rund 4300 Ausschussteile bei einer Kavität, die bei einer frühzeitigen Erkennung durch die Online-Überwachung vermieden werden können.

Erhebliches Einsparpotenzial im Energieverbrauch

Durch die automatische Vorgabe einer idealen Versuchsanordnung (Design of Experiments) beim Einfahren werden unnötige Versuche vermieden. Bei einem konsequenten Einsatz von Stasa QC – von der Arbeitspunktoptimierung bis zur Online-Qualitätsprognose – ergibt sich durch die Reduzierung der Zykluszeit und der Ausschussquote nach ersten Schätzungen gemäß [5] ein Einsparpotenzial im Energieverbrauch von rund 15 %, das

in Kombination mit einer intelligenten Maschinenregelung erreicht wird. Eine grobe Abschätzung des Einsparpotenzials der Kunststoffindustrie liegt in einer Größenordnung von bis zu 300 000 MWh pro Jahr, verbunden mit einer Reduzierung der CO₂-Emissionen um circa 100 000 t pro Jahr [5]. ■

LITERATUR

- 1 Liedl, P.; Haag, G.: StasaQC – Qualitätsprognose und Prozessüberwachung. In: Spath, D.; Haasis, K.; Klumpp, D. (Hrsg.): Aktuelle Trends in der Softwareforschung. Tagungsband zum doIT Software-Forschungstag am 29. Oktober 2004 (IRB-Medien-dienstleistungen, 2005)
- 2 Haag, G.; Liedl, P.: Verfahren zur zyklischen Qualitätsbewertung und Prozessüberwachung bei periodischen Produktionsprozessen. Patentamt München, Patentre. 10241746
- 3 Vaculik, R.: Regelung der Formteilqualität beim Spritzgießen auf Basis statistischer Prozessmodelle. Dissertation, RWTH Aachen 1996
- 4 Schmidberger, E.; Neher, J.: Machbar: fehlerfreie Produktion. QZ Qualität und Zuverlässigkeit 49 (2004) 2, S. 67-68
- 5 Schmidt-Pleschka, R.; Milles, U.: Kunststoff-Spritzgießen mit höchster Präzision. Projektinfo 07/2005, BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe

DIE AUTOREN

DR. RER. NAT. PHILIPP LIEDL, geb. 1974, ist Leiter Forschung & Entwicklung bei der Steinbeis Angewandte Systemanalyse (Stasa) GmbH, Stuttgart.

PROF. DR. RER. NAT. GÜNTER HAAG, geb. 1948, ist Geschäftsführer der Stasa GmbH, Stuttgart.

DIPL.-ING. HANS-ULRICH MÜLLER, geb. 1956, ist Leiter Technik & Qualitätsmanagement der elfo AG, Sachseln/Schweiz.

DIPL.-KFM. LARS LERSMACHER, geb. 1979, ist Berater bei der Unternehmensberatung Macher GmbH, Aachen.