



Spritzgießwerkzeuge. Viele Unternehmen verschenken aufgrund instabiler Prozesse zeitliche Ressourcen oder kämpfen mit unnötigen Qualitätsproblemen. Nur mit einer systematischen Herangehensweise können Verarbeiter ihre Spritzgießprozesse effizienter gestalten und Produktivitätsreserven ausschöpfen. Die Bedeutung der Abmusterung kann dabei gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Richtig abmustern – aber wie?

ANDREAS SCHÖTZ

Während auf der einen Seite die Komplexität der Kunststoffbauteile stetig zunimmt, werden auf der anderen Seite die Projektphasen von der Idee bis zur Serienfertigung immer kürzer. Die kunststoffverarbeitenden Unternehmen müssen sich dieser Herausforderung tagtäglich stellen. Eine wichtige Rolle für den Erfolg der späteren Serienproduktion spielt die Werkzeugabmusterung mit anschließender Prozessoptimierung.

Die Erfahrung aus der Praxis zeigt, dass viele Faktoren den Abmusterungsprozess negativ beeinflussen können. Ein Grundproblem jeder Abmusterung ist der Zeitdruck. Es ist lohnenswert, sich bewusst zu machen, dass die Zeitersparnis einer schnelleren und nur oberflächlich durchgeführten Abmusterung in keinem Verhältnis zu den damit verschenkten Ressourcen in der späteren Serienproduktion steht. Stellvertretend zeigt ein Praxisbeispiel (Tabelle 1), wie wichtig eine saubere, strukturierte und damit zeitintensivere Abmusterung für Unternehmen ist und wie stark eine anschließende Prozessop-

timierung die eigenen Maschinenressourcen schont.

Häufige Probleme bei der Abmusterung

Nicht selten verhindert die mangelnde Qualifikation der verantwortlichen Mitarbeiter eine effektive Abmusterung. Die fehlende Wissensbasis offenbart sich, indem diese falsche Vorgehensweisen anwenden, um die besten Maschineneinstellparameter zu finden, oder indem sie auftretende Prozessprobleme durch wahlloses „Ausprobieren“ zu beheben versuchen.

Meist aus Zeitgründen betrachten sie die Grundeinstellung der Maschinenpa-

rameter nicht näher und übernehmen diese als spätere Serieneinstellung. Deshalb können starke Schwankungen im Serienprozess auftreten, die höhere Ausschussquoten, Kundenreklamationen und damit höhere Produktionskosten zur Folge haben. Aus diesem Grund muss die Grundeinstellung der Maschine bei jeder Erstabmusterung analysiert und anschließend mit optimiert werden.

Oft werden während des Abmusterungsprozesses wichtige Arbeitsschritte vergessen oder übergangen. Dieses Problem ist meist auf eine mangelnde Dokumentation zum Beispiel in Vorlagen und Checklisten sowie eine fehlende Standardisierung mit Vorgaben für gezielte Arbeitsschritte zurückzuführen. Ebenso →

Bauteil	Gehäuseabdeckung aus PC+ABS Stückzahl/Monat: 10000; Laufzeit: 4 Jahre	
	Fall 1	Fall 2
Fall	1) Nicht systematisch durchgeführte Optimierung, um Zeit zu sparen	2) Systematisch durchgeführte Werkzeug- und Prozessoptimierung
Optimierungsmaßnahmen	0 Tage	+ 3 Tage
Zykluszeit	50 s	40 s
Dauer der Produktion pro Monat Laufzeit von 4 Jahren	138,89 Std. ≈ 5,79 Tage 277,78 Tage	111,11 Std. ≈ 4,63 Tage 222,22 Tage
Differenz zwischen Fall 1 und Fall 2	1,16 Produktionstage/Monat	

Tabelle 1. Praxisbeispiel: Zwar wurden im Fall 1 drei Tage Optimierungszeit an der Maschine eingespart. Dafür gingen im Vergleich zu Fall 2 während der Laufzeit 52,56 Tage an Maschinenressourcen verloren

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111663

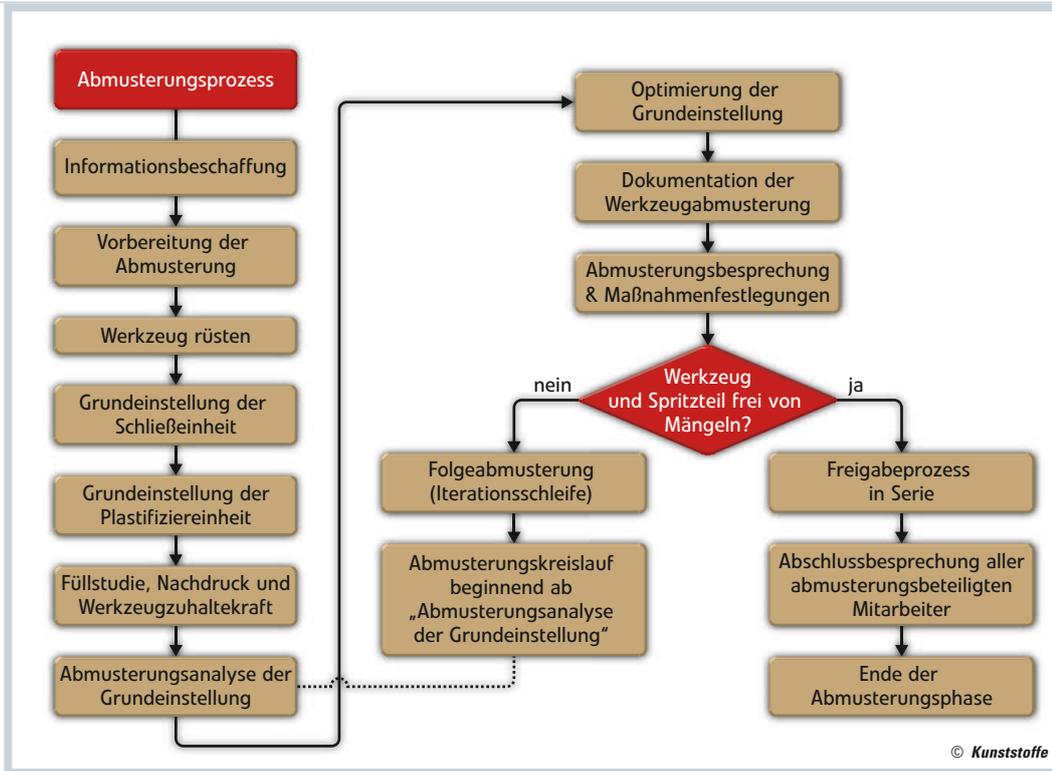


Bild 1. Ein strukturierter Abmusterungsprozess gliedert sich in klare Handlungsstränge

beeinträchtigt eine schlechte Kommunikation zwischen den Beteiligten die Abmusterung. Die Folge sind falsche Entscheidungen z. B. bei der Werkzeugoptimierung, was weitere unnötige Folgeabmusterungen (Iterationsschleifen) auf der Spritzgießmaschine nach sich zieht.

Beginn einer Werkzeugabmusterung

Alle wichtigen Abmusterungsschritte lassen sich mithilfe eines Flussdiagramms darstellen (Bild 1). Die allgemeine Informationsbeschaffung ist der erste Schritt. Es empfiehlt sich, ein Informationsblatt zu erstellen, das alle wichtigen Eckdaten über das Spritzteil, den Kunststoff, die Maschine, die Ergebnisse der Moldflow-Simulation etc. enthält. Der „Abmusterungsverantwortliche“ muss diese Details an alle beteiligten Mitarbeiter aus Qualitätssicherung, Werkzeugbau, Konstruktion und Fertigung weitergeben.

Der nächste Schritt ist die Vorbereitung an der Maschine. Neben dem Werkzeug, dem Material und der notwendigen Peripherie sollten alle wichtigen Gegenstände bereitliegen, z. B. Wasserschläuche, der Plan mit der Anordnung der Kühlbohrungen im Werkzeug, ein Durchflussmessgerät, Laptop, Waage, Vorlagen und Checklisten.

Ausgangspunkt der Abmusterung ist eine Spritzgießmaschine ohne Werkzeug mit ausgeschaltetem leergespritzten und gesäuberten Plastifizierzylinder. Vor dem Einbau des Werkzeugs sollte auf optische

Schäden sowie auf Durchgängigkeit der einzelnen Kühlkanalbohrungen geachtet werden. Nach dem Einbau des Spritzgießwerkzeugs in die Maschine werden die Wasserkreisläufe angeschlossen und die Werkzeugtemperatur sowie die Zylindertemperatur auf die vom Rohstoffhersteller empfohlene Verarbeitungstemperatur eingestellt.



Bild 2. Praxisbeispiel einer Füllstudie [1]

Grundeinstellung der Spritzgießmaschine

Als Basisparameter der Schließereinheit werden die Werkzeugbewegungen sowie die erforderliche Werkzeugsicherung eingestellt. Die vorläufige Schließkraft (kN) ist das Produkt aus der projizierten Fläche des Spritzteils (cm²), dem spezifischen Werkzeuginnendruck (bar) und der Anzahl der Kavitäten. Die Schließkraft lässt sich auch aus den Ergebnissen einer Simulation (z. B. Moldflow) entnehmen.

Für die nun folgende Grundeinstellung der Plastifiziereinheit wird das theoretische Schussvolumen aus Bauteilgewicht und Dichte des Kunststoffs ermittelt. Dann muss der Maschinenbediener auf der Grundlage des Verarbeitungsdatenblatts des Rohstoffherstellers den Schneckenrückzug (Dekompression), den Staudruck sowie die Schneckendrehzahl einstellen. Ist die Grundeinstellung der Plastifiziereinheit gefunden, folgt eine Füllstudie (Bild 2).

Die Füllstudie dient dazu, die Entstehung (Fließfronten und Fließwege) des Spritzteils in eigendefinierten Teilfüllungen zu untersuchen und so kritische Bereiche wie z. B. Fließ- und Bindenähte, Luftpneinschlüsse, Wanddickensprünge im Spritzteil und Ungleichmäßigkeiten beim Füllen von Mehrfach-Werkzeugen zu erkennen. Es empfiehlt sich, je nach Größe des Spritzteils mit einem Schussvolumen von ca. 40 % des theoretisch ermittelten Dosiervolumens zu beginnen. Dieses wird in kleinen Schritten von ca. 5 bis

10 % ohne Nachdruck erhöht, bis das Spritzteil zu 100 % volumetrisch gefüllt ist. Ist das Spritzteil volumetrisch gefüllt, steht der Punkt für das Umschalten von Einspritzen auf Nachdruck fest.

Nun bedarf das Dosiervolumen eines Massepolsters, um die Volumenschwindung im Bauteil auszugleichen. Wichtig hierbei ist, dass im Anschluss an die Nachdruckphase ein ausreichend großes Restmassepolster im Schneckenraum des Plastifizierzylinders verbleibt. Die Festlegung der Restkühlzeit sollte sich daran orientieren, dass die Spritzlinge die empfohlene Entformungstemperatur des Kunststoffes erreichen. Um eine optimale Restkühlzeit für das Spritzteil zu ermitteln, hat sich der Einsatz einer Wärmebildkamera bewährt (Bild 3).

Als nächstes wird der notwendige Nachdruck optimiert. Dazu schaltet man in der Maschine den Nachdruck zu und erhöht den Druck in kleinen Schritten, bis das Spritzteil keine wellige Oberfläche oder Einfallstellen mehr hat. Als Richtwert aus der Praxis gelten ca. 40 bis 60 % vom spezifischen Einspritzdruck. Liegt das Spritzteil ohne Einfallstellen vor, beginnt die empirische Ermittlung der notwendigen Nachdruckzeit. Hierzu fertigt

man weitere Teile, erhöht dabei die Nachdruckzeit in kleinen Schritten von z.B. 0,5 s und wiegt das Spritzteil jeweils ohne Anguss. Die korrekte Nachdruckzeit (Siegelpunkt) ist erreicht, wenn das Gewicht der Spritzteile konstant bleibt. Wichtig ist, dass die ermittelte Nachdruckzeit von der eingestellten Restkühl-

Einspritz- und Nachdruckphase der aus dem maximalen Werkzeuginnendruck (Druckspitze) und der projizierten Fläche des Spritzteils resultierenden Auftriebskraft im Werkzeug entgegenwirken muss. Die Auftriebskraft bewirkt, dass sich das Volumen der Kavität im Werkzeug in Schließrichtung vergrößert. Dieses Phä-

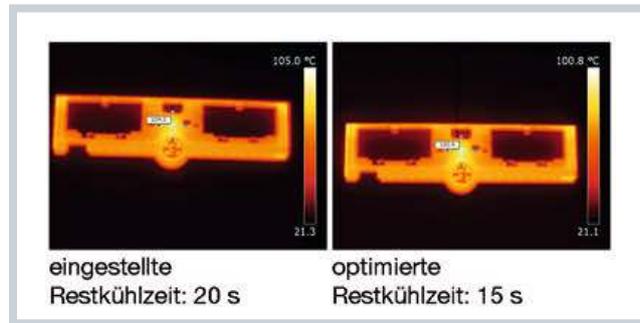


Bild 3. Eine Wärmebildkamera unterstützt die Ermittlung der erforderlichen Restkühlzeit [1]. Das Praxisbeispiel zeigt eine Abdeckung aus PC+ABS (Entformungstemperatur: 100 °C)

zeit abgezogen wird, um den Spritzzyklus konstant zu halten. Das Ergebnis für die Nachdruckzeit und die in der Versuchsreihe ermittelten Formteilgewichte sollten in einem Dokument festgehalten werden.

Zuletzt wird die tatsächlich benötigte Schließkraft des Spritzgießwerkzeugs ermittelt; das ist die Kraft, die während der

nomen wird auch als Werkzeugatmung bezeichnet.

Auf die tatsächlich erforderliche Schließkraft kommt man, indem man die Schließkraft geringfügig in Teilschritten reduziert, bis die maximal zulässige Werkzeugatmung erreicht ist. Zeigt sich bei einer optischen Überprüfung des Spritzteils eine Gratbildung, so ist die mi-



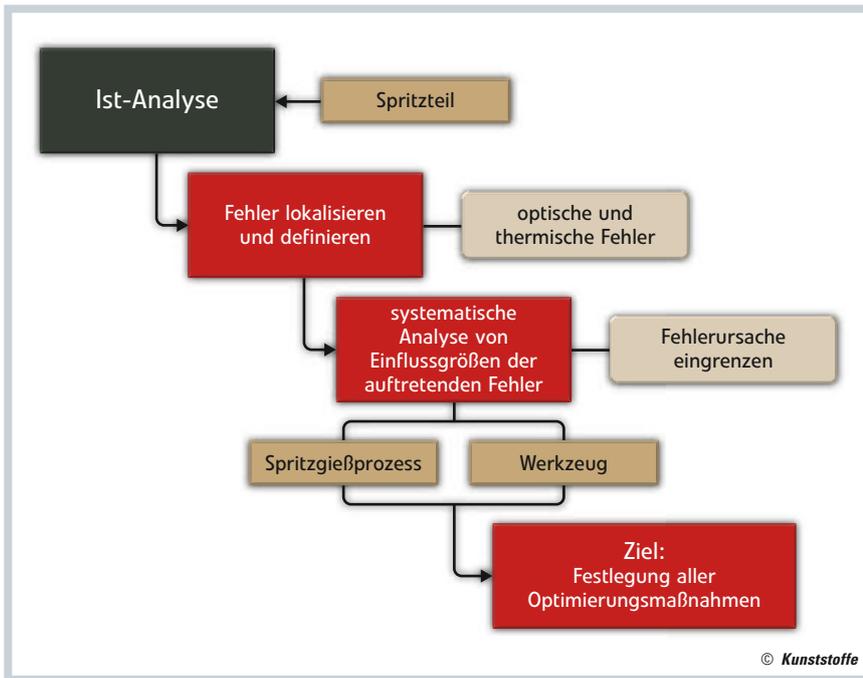


Bild 4. Schematischer Ablauf der Abmusterungsanalyse: Am Ende steht eine sinnvolle Optimierungsstrategie [1]

nimal erforderliche Schließkraft bereits unterschritten. Hier gilt es, die Schließkraft so weit nach oben zu korrigieren, bis die Gratbildung am Spritzteil verschwindet. Es reicht vollkommen, als Si-

cherheitsfaktor ca. 10 bis 15 % auf die minimal erforderliche Schließkraft aufzuschlagen.

Die zulässige Werkzeugatmung hängt von drei Faktoren ab:

- der allgemeinen Qualitätsanforderung an das Spritzteil,
- dem zu verarbeitenden Kunststoff sowie
- der Größe der Spritzgießmaschine. Hier zeigt die Praxis, dass bei kleinen Spritzgießmaschinen (bis 1500 kN) die maximale Werkzeugatmung bei ca. 0,01 mm und bei mittelgroßen Maschinen (bis 3500 kN) bei ca. 0,02 mm liegt. Bei größeren Spritzgießmaschinen (> 3500 kN) kann die Werkzeugatmung bis zu 0,1 mm betragen.

Ist-Analyse der Grundeinstellung eliminiert Fehlerquellen

Zahlreiche Einflussfaktoren – hauptsächlich die Gestaltung des Spritzteils, die Funktionalität des Spritzgießwerkzeugs sowie die Einstellung der Maschinenparameter – prägen die Qualität, das optische Erscheinungsbild, die mechanischen Eigenschaften und die Funktionalität des Spritzteils. Es ist also naheliegend, die Grundeinstellung auf mögliche Fehler- oder Störquellen zu untersuchen, um diese bei der Optimierung gezielt abzustellen. Die Abmusterungsanalyse muss auf die Formteilqualität sowie den gesamten

Optimierungsbedarf des Spritzgießprozesses und -werkzeugs ausgerichtet sein (**Bild 4**).

Nur so können die Verantwortlichen bei der Festlegung der Optimierungsmaßnahmen die richtigen Entscheidungen treffen. Die Abmusterungsanalyse beginnt mit der optischen und thermischen Bewertung des Spritzteils, da alle hier auftretenden Fehler auf den Spritzgießprozess oder das Werkzeug zurückzuführen sind. Voraussetzung ist, dass der Spritzgießprozess vor Beginn der Analyse im vollautomatischen Modus eingefahren ist und das Werkzeug sich im thermischen Gleichgewicht befindet.

Bei der Ist-Analyse sollten neben den auftretenden Fehlern am Spritzteil und Werkzeug wichtige Punkte untersucht werden. Dazu gehören:

- allgemeine Überprüfungen: Restmassepolster, Entformungstemperatur, Verweilzeit der Schmelze im Plastifizierzylinder etc.
- eine Begutachtung des Spritzgießwerkzeugs: Entformung, Tuschierung, Entlüftung etc.
- thermische Prüfungen: Entformungstemperatur, Schmelzetemperatur, Temperaturverteilung in Formteil und Werkzeug etc.
- eine Prüfung des Werkzeuginnendruckverlaufs: exaktes Umschalten auf Nachdruck, optimale Nachdruckhöhe und -zeit, richtig gewählte Einspritzgeschwindigkeit, Entformen nicht unter Restdruck etc.

Einen Spritzgießprozess zu optimieren, ist oft schwierig, da dieser nichtlinear, komplex und multivariabel ist. Das bedeutet, dass sich bestimmte Maschineneinstellparameter in Wechselwirkung beeinflussen können.

Optimierung der Grundeinstellung

Dennoch ist die Optimierung der Grundeinstellung eine wichtige Phase der Abmusterung, in der es gilt, die in der Ist-Analyse ermittelten Fehler am Spritzteil sowie Störquellen im Spritzgießprozess mit einer strukturierten Vorgehensweise zu beheben. Gleichzeitig müssen hohe Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz berücksichtigt werden, z. B. durch eine Verkürzung der Zykluszeit und eine Reduzierung des Stromverbrauchs.

Für den Fall, dass größere Mängel am Werkzeug bestehen, muss die Abmusterung hier abgebrochen und kann die Optimierung der Grundeinstellung erst bei der Zweitabmusterung angegangen werden. Mit einem Flussdiagramm (**Bild 5**) lässt sich die Vorgehensweise zur Optimierung der Grundeinstellung in einzelnen Schritten veranschaulichen.

Dokumentation bei der Abmusterung

Alle auftretenden Fehler und Problemstellungen während der Abmusterung müssen in einem Abmusterungsbericht dokumentiert werden. Es ist wichtig, die optimierte Maschineneinstellung in einem Datenblatt festzuhalten und die Versuchseinstellungen an der Maschine in einem gesonderten Dokument zu hinterlegen. In einem Meeting werden auf Basis der Abmusterungsdokumentation die entsprechenden Maßnahmen mit allen Verantwortlichen aus Qualitätssicherung, Werkzeugbau, Konstruktion und Fertigung festgelegt. Dieses Vorgehen hat mehrere Vorteile:

- Das effektive Arbeiten im Team mit vier Fachkompetenzen erleichtert die Festlegung geeigneter Maßnahmen. →

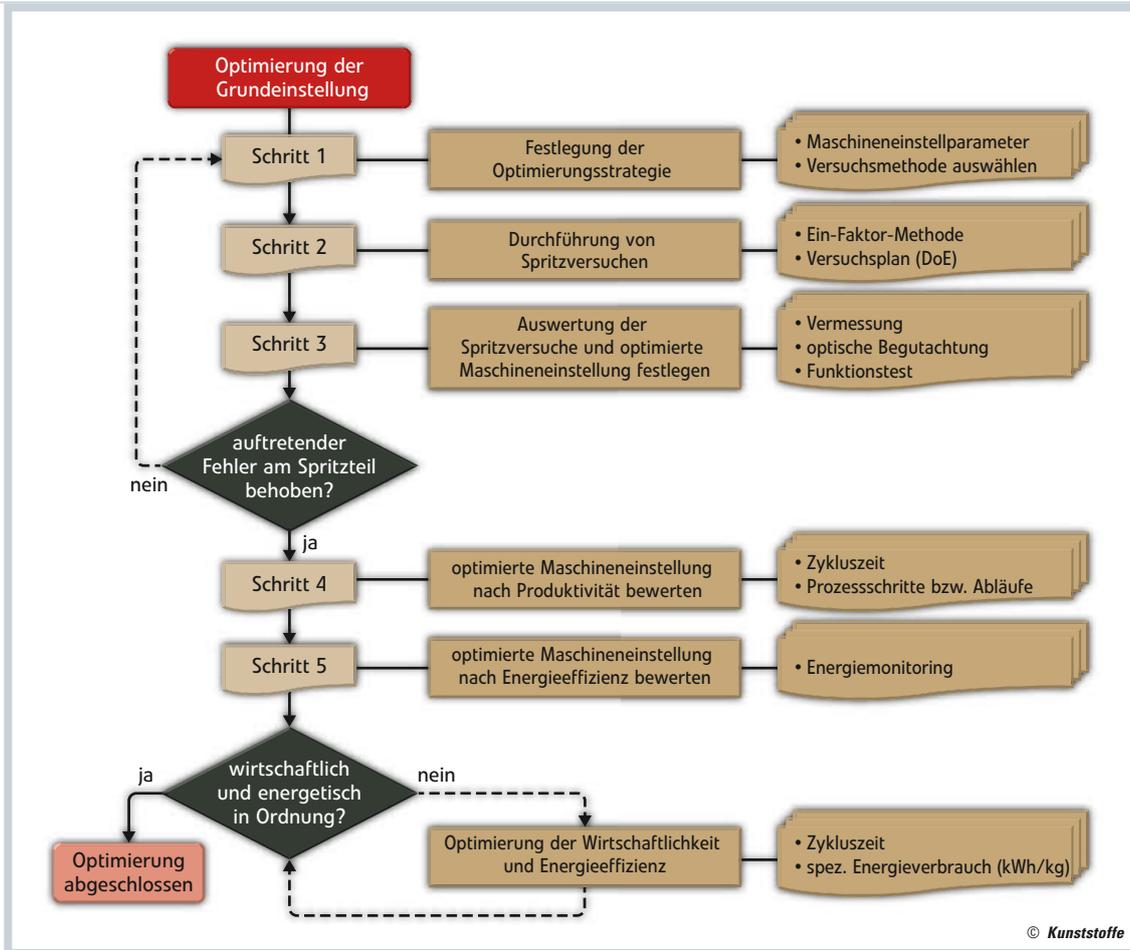


Bild 5. Das Flussdiagramm veranschaulicht eine bewährte Vorgehensweise, um die Grundeinstellung in einzelnen Schritten zu optimieren

(Bilder: Schötz)

© Kunststoffe

- Der damit einhergehende Lernprozess ermöglicht bei anderen Abmusterungen eine frühere Fehlererkennung, z. B. bereits frühzeitig in der Werkzeug- und Bauteilkonstruktion oder im Werkzeugbau.
 - Die Kommunikation zwischen den Abteilungen über terminliche Absprachen, den Stand der Abmusterung, auftretende Probleme und Maßnahmenfestlegungen verbessert sich.
- Liegen keine weiteren Probleme im Werkzeug oder am Spritzteil vor und ist die Anwendung prozessfähig, so ist die Abmusterungsphase erfolgreich abgeschlossen – das Werkzeug kann der Serienfertigung übergeben werden. Treten immer noch Mängel im Werkzeug oder am Spritzteil zutage, müssen weitere Maßnahmen geplant und umgesetzt werden. Hierbei sind gemeinsame Terminabsprachen essenziell, ebenso sollte eine Folgeabmusterung eingeplant werden.

Fazit

Die Werkzeugabmusterung ist ein komplexer Prozess, da unterschiedliche Abteilungen im Unternehmen ineinandergreifen. Diese müssen gemeinsam zum richtigen Zeitpunkt agieren, um den Abmusterungsprozess effektiv zu steuern. Das

stellt jedes Unternehmen vor fachliche und logistische Herausforderungen. Abhilfe schaffen einheitliche und standardi-

i Das Buch zum Thema

Eine standardisierte, strukturierte und systematische Vorgehensweise bei der Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen ist eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit und Qualität in der Spritzgießfertigung. Das Fachbuch „Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen“ von Andreas Schötz vermittelt die nötigen Kenntnisse dafür praxisnah – von der Auftragserteilung bis zur Übergabe in die Serienproduktion. Es beschreibt die komplette Abfolge der einzelnen Abmusterungsschritte und enthält viele nützliche Hintergrundinformationen und Praxistipps.

271 Seiten, mit 9-teiliger Checkliste,
ISBN 978-3-446-43298-7
130 Euro

sierte Abläufe bei der Abmusterung mit einer sorgfältigen Dokumentation. Nur eine strukturierte und systematische Ist-Analyse mit anschließender Optimierung sowie der Grundsatz, wichtige Entscheidungen über das weitere Vorgehen im Team zu treffen, können ein hohes Einsparpotenzial freisetzen.

In letzter Zeit hat sich die Spritzgießsimulation zu einem standardmäßigen Werkzeug entwickelt, mit dem der Spritzgießprozess vom Füllvorgang über Nachdruck und Nachdruckzeit bis zu Verzug, Einspritzzeit, Zykluszeit sowie Temperaturhaushalt berechnet werden kann. Daher wäre eine zukunftsorientierte Vorgehensweise, die über die Simulation gewonnenen Prozessparameter als Richtwerte für die anstehende Abmusterung zu verwenden. ■

LITERATUR

- 1 Schötz, A.: Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen – Strukturierte und analytische Vorgehensweise. Hanser Verlag, München 2013

DER AUTOR

DIPL.-ING. ANDREAS SCHÖTZ, geb. 1981, ist seit 2013 Geschäftsführer im Ingenieurbüro für Kunststofftechnik Schötz in Nürnberg; www.kunststofftechnik-ingenieurbuero.de