

1

Einführung

■ 1.1 Warum eine Werkzeugabmusterung?

Eine Werkzeugabmusterung findet in einem Spritzgießunternehmen bei jedem Neuwerkzeug, einem Materialwechsel oder einer Werkzeugkorrektur statt. Die Abmusterung eines Werkzeuges hat folgende Gründe:

- Mechanische Mängel des Spritzgießwerkzeuges zu erkennen und gezielt zu beheben,
- die Prozessparameter strategisch und analytisch zu ermitteln, zu dokumentieren und zu archivieren,
- die optisch und maßlich geforderte Spritzteilqualität zu erhalten,
- eine optimale Zykluszeit zu erreichen,
- eine maschinenschonende bzw. verschleißreduzierte und energieeffiziente Serienproduktion zu realisieren.

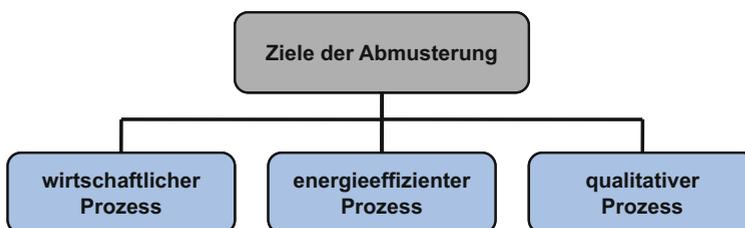


Bild 1.1 Ziele der Abmusterung

■ 1.2 Ablauf der Werkzeugabmusterung

Die Werkzeugabmusterung ist ein komplexer Prozess, da unterschiedliche Abteilungen im Unternehmen ineinandergreifen. Die unterschiedlichen Abteilungen müssen gemeinsam zum richtigen Zeitpunkt funktionieren, um effektiv den Abmusterungsprozess zu steuern. Das stellt jedes Unternehmen vor eine fachliche und logistische Herausforderung. Um Ihnen das Lernen bzw. Arbeiten mit diesem Fachbuch zu erleichtern, wurde mithilfe eines Flussdiagramms (Bild 1.2) der Abmusterungsprozess übersichtlich dargestellt. Dieser Ablauf wird in den nachfolgenden Kapiteln systematisch behandelt.

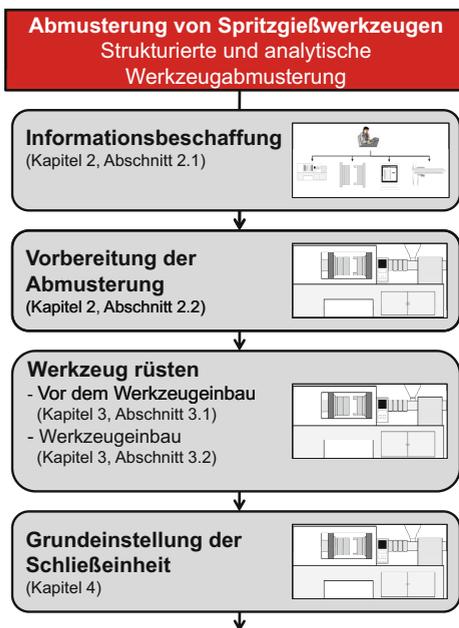


Bild 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (*Fortsetzung nächste Seite*)

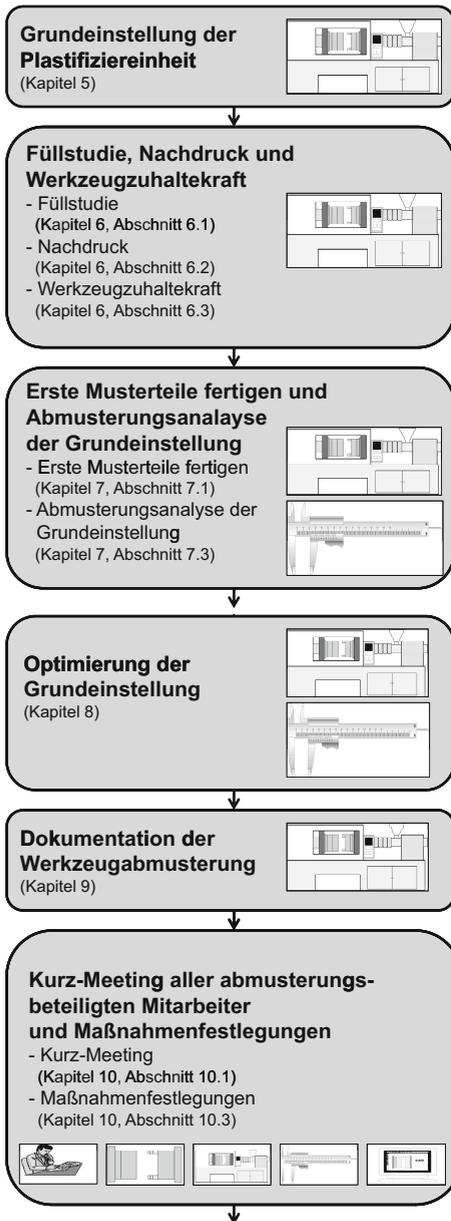


Bild 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (Fortsetzung nächste Seite)

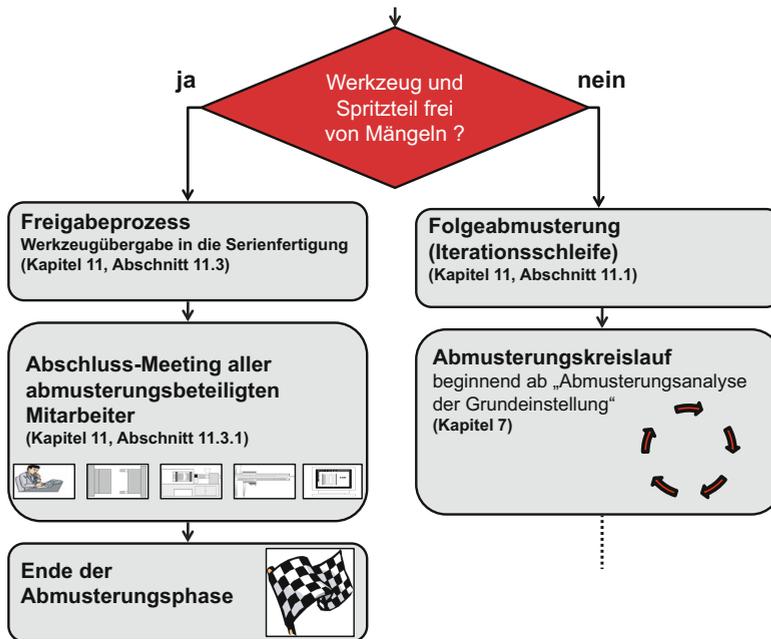


Bild 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (Fortsetzung)

■ 1.3 Problemstellung Zeitfaktor bei der Abmusterung im Unternehmen

In einem Spritzgießunternehmen binden die Werkzeugabmusterungen Ressourcen einer Spritzgießmaschine. Das bedeutet, dass in der Abmusterungszeit keine Serienproduktion von Spritzteilen stattfinden kann. Folglich kommt es in Unternehmen häufig dazu, dass nur eine sehr grobe und nicht optimale Maschineneinstellung mit mangelnder Werkzeug- sowie Prozessoptimierung in der Serienfertigung verwendet wird, um kurzfristig Zeit zu sparen.

Die Grundhaltung, schnell eine einigermaßen akzeptable und oberflächliche Optimierung des Prozesses und des Werkzeugs zu realisieren, um damit Ressourcen für die Serienfertigung zu erhalten, wird Sie mit vielen Problemen in der späteren Serienproduktion wieder einholen.

Das Werkzeug geht durch diese Methode zwar schneller aus dem Abmusterungsprozess in die Serienfertigung über, es kann jedoch zu starken Schwankungen im späteren Serienprozess kommen. Höhere Ausschussquoten und Kundenreklamationen, die automatisch zu höheren Produktionskosten beitragen, sind die Folge. Dieses Phänomen ist ein Grundproblem einer jeden Abmusterung. Folglich stehen

diese im Abmusterungsprozess eingesparten Ressourcen in keinem Verhältnis zu den verlorenen Ressourcen in der späteren Serienproduktion.

Im nachfolgenden Praxisbeispiel möchte ich Ihnen anhand eines einfachen Rechenbeispiels aufzeigen, wie wichtig eine saubere, zeitintensive und strukturierte Abmusterung für Ihr Unternehmen sein kann.



PRAXISBEISPIEL:

Gegeben:

- Spritzteil: Gehäuseabdeckung
- Kunststoff: PC/ABS
- monatliche Stückzahlen: 10 000
- Laufzeit: 4 Jahre

Fall 1: Nicht optimal durchgeführte Abmusterung aufgrund von Zeiteinsparungen.

Optimierungsmaßnahmen: 0 Tage

Zykluszeit: 50 Sekunden

Dauer der Produktion pro Monat:
138,89 Stunden \approx 5,79 Tage Laufzeit
von 4 Jahren: 277,78 Tage

Fall 2: Optimal durchgeführte Abmusterung, inkl. Werkzeug- und Prozessoptimierung.

Optimierungsmaßnahmen: +3 Tage

Zykluszeit: 40 Sekunden

Dauer der Produktion pro Monat:
111,11 Stunden \approx 4,63 Tage Laufzeit
von 4 Jahren: 222,22 Tage

Differenzen:

- pro Monat: 1,16 Produktionstage
- über Gesamtlaufzeit von 4 Jahren: 55,56 Produktionstage

Fazit:

Es wurden im Fall 1 drei Tage Abmusterung auf der Maschine aus Zeitgründen eingespart und folglich 52,56 Tage Maschinenressourcen verloren.

Sie sehen, dass ein optimal geführter Abmusterungsprozess sehr stark zu Ihren Maschinenressourcen beiträgt. Aufgrund des gezeigten Praxisbeispiels möchte ich Ihnen in diesem Fachbuch einen möglichen Weg aufzeigen, wie Sie eine Abmusterung nachhaltig durchführen und durch strukturierte und systematische Vorgehensweisen die Abmusterung zeitsparend erzielen können.

■ 1.4 Energieeffizienz beginnt beim Abmustern

Jedes moderne Spritzgießunternehmen sollte das Ziel verfolgen, seine Produktionskosten auf ein Minimum zu reduzieren und damit seine Produktionseffizienz kontinuierlich zu steigern. In diesem Abschnitt möchte ich Ihnen aufzeigen, welche Maschineneinstellfehler in der Praxis sehr häufig zu sehen sind und wie sich diese auf den Energiebedarf eines Spritzgießprozesses negativ auswirken können. Des Weiteren möchte ich Ihnen erläutern, wie Sie durch eine bereits in der Abmusterungsphase optimierte Maschineneinstellung sehr viel zur Energieeffizienz im Spritzgießprozess beitragen können. Die energieeffizientere Maschineneinstellung hat den großen Vorteil, dass diese Maßnahmen einfach und vor allem kostenneutral an der Spritzgießmaschine umgesetzt werden können.

In den vergangenen Jahrzehnten beschränkten sich die Anforderungen in den kunststoffverarbeitenden Unternehmen auf die Wirtschaftlichkeit und Qualität des Spritzteils. In der Gegenwart spielen noch weitere Anforderungen, wie die Einsparung von Energie, eine entscheidende Rolle (Bild 1.3).

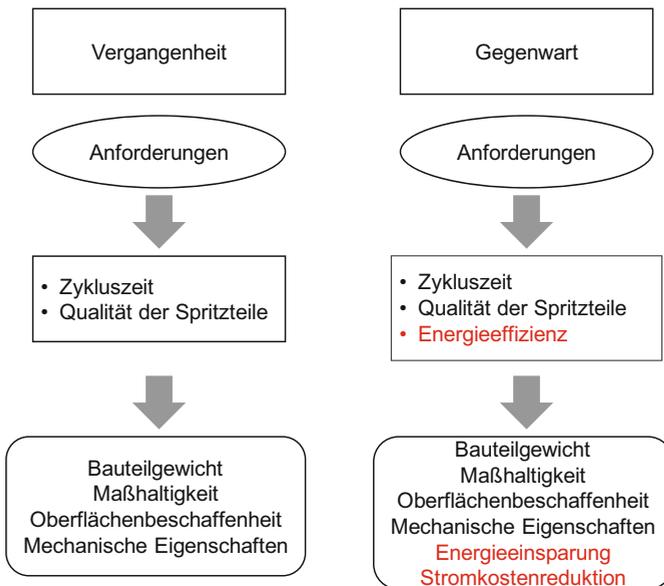


Bild 1.3 Neue Anforderungen an die kunststoffverarbeitenden Unternehmen

In Bild 1.4 ist zu sehen, wie sich die Strompreise für Industriestrom in den letzten Jahren sehr stark erhöht haben .

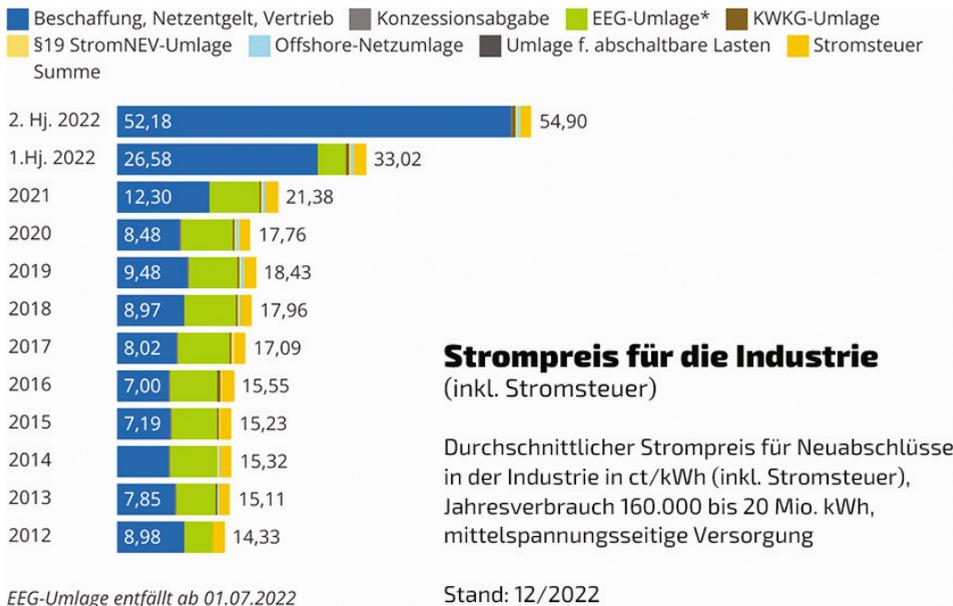


Bild 1.4 Strompreisanalyse für die Industrie (Quelle: BDEW-Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreis-analyse/>)

Um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es aufgrund der steigenden Strompreise wichtig, den Strombedarf im Spritzgießprozess bei gleichbleibender Zykluszeit und Qualität zu senken.



MERKE:

Trotz aller Änderungen im Strommix durch den Ausbau der erneuerbaren Energien sind die Umweltschäden durch die Stromerzeugung weiterhin sehr hoch. Stromsparen ist daher ein wesentlicher Schritt, die Emissionen vieler umwelt- und gesundheitsrelevanter Schadstoffe zu senken und Umwelteinwirkungen zu mindern.

1.4.1 Energie- und Leistungsflüsse einer Spritzgießmaschine

Um einen Spritzgießprozess energieeffizienter zu gestalten, müssen zunächst einmal die Energie- und Leistungsflüsse im Spritzgießprozess betrachtet werden. Hier muss geklärt werden, wo die sogenannten Stromfresser liegen und im Anschluss, mit welchen Maschineneinstellparametern ein Einfluss auf den Stromverbrauch erzielt werden kann.

Bild 1.5 zeigt die Energie- und Leistungsflüsse einer hydraulischen Spritzgießmaschine (SGM), welche im Spritzgießprozess zugeführt oder von der Maschine abgeführt bzw. über Verluste an die Umgebung abgegeben werden.

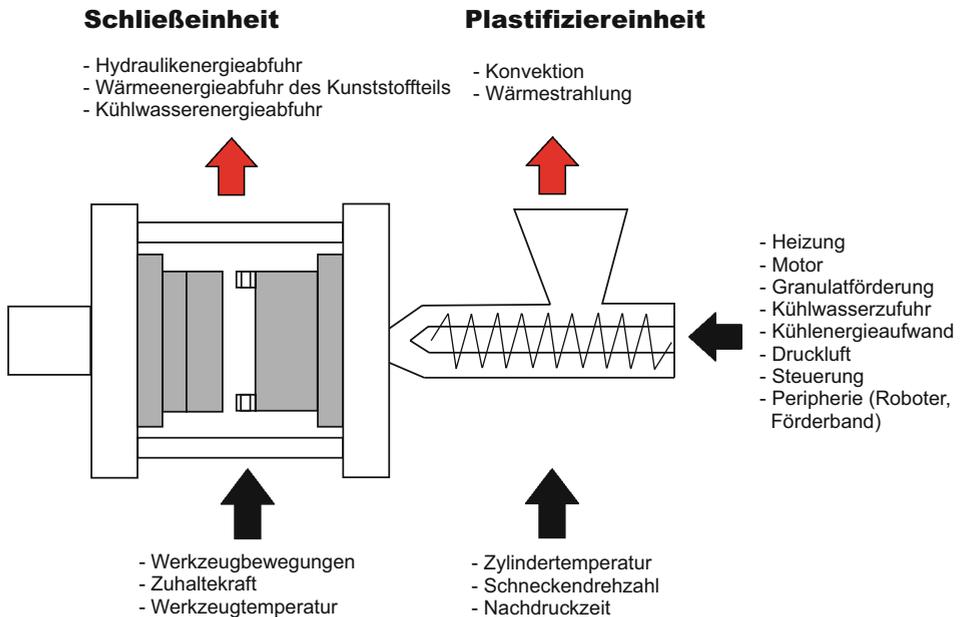
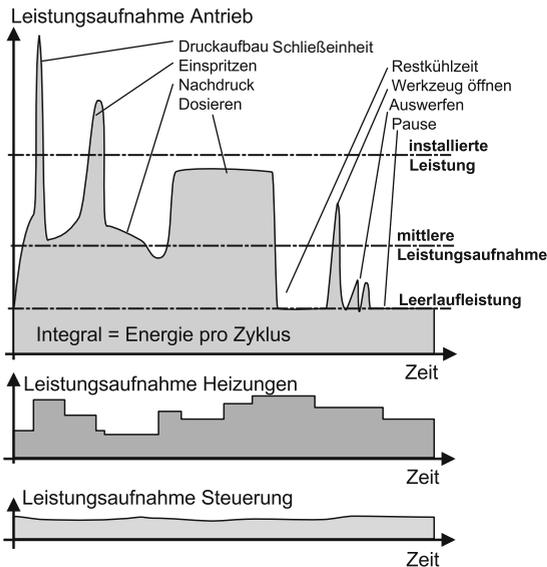


Bild 1.5 Energie- und Leistungsflüsse einer hydraulischen Spritzgießmaschine

Aus den Energie- und Leistungseinflüssen ist zu erkennen, dass die sogenannten Stromfresser im Spritzgießprozess bei der Schließereinheit, als auch an der Plastifiziereinheit liegen. Um zu veranschaulichen, welche Maschineneinstellparameter hierbei Einfluss nehmen, wird am Beispiel einer hydraulischen Spritzgießmaschine über den Spritzzyklus (Bild 1.6) der Energieverbrauch aufgezeigt.

In diesem Beispiel ist die Leistungsaufnahme des Antriebes über der Zeit (Spritzgießzyklus) grafisch dargestellt. Betrachtet man den Kurvenverlauf, so ist zu erkennen, dass die Plastifizierphase insgesamt die größte Energie benötigt. Weiter treten kurzzeitige Leistungsspitzen bei den Werkzeugbewegungen und der Zuhaltkraft (Druckaufbau Schließereinheit) auf. Der Nachdruck ist neben der Restkühlzeit ein weiterer entscheidender Energieverbraucher im Spritzgießzyklus. Auch die Heizung verbraucht im Prozess Energie, die z. B. mithilfe einer Zylinderisolation gesenkt werden kann. Die Leistungsaufnahme der Steuerung ist konstant jedoch vernachlässigbar, da diese kein entscheidender Energieverbraucher im Spritzgießzyklus ist.

**Bild 1.6**

Energieverbrauch einer hydraulischen Spritzgießmaschine über den Spritzzyklus (Bildquelle: Stitz S., Keller W.: Spritzgießtechnik, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 2004, Seite 330, Bildnummer 3.71)

In den nächsten Abschnitten möchte ich erklären, wie Sie in der Praxis mit der richtigen Vorgehensweise die Maschineneinstellparameter optimieren können, um Energie einzusparen.

1.4.2 Energieeinsparpotenziale der Plastifiziereinheit

1.4.2.1 Zylindertemperatur

In der Praxis zeigt sich, dass Spritzgießbetriebe sehr oft im oberen Drittel des laut Materialherstellers empfohlenen Zylindertemperaturbereiches produzieren. Dieses Phänomen hat mehrere Gründe. Zum einen wurden bereits im Vorfeld der Bauteil- und Werkzeugkonstruktion Fehler begangen, wie beispielsweise ein schlecht gewähltes Anbindungskonzept oder das Wandstärken/Fließverhältnis wurde nicht berücksichtigt. Dadurch ist die „Fachkraft für Abmusterungen“ bereits von Beginn der Abmusterungsphase an gezwungen, über eine höher eingestellte Zylindertemperatur die beispielsweise entstehenden Füllprobleme des Kunststoffteils zu kompensieren. Das Problem kann nur durch eine konstruktive Änderung am Bauteil bzw. im Werkzeug gelöst werden. Zum anderen ist in der Praxis zu sehen, dass Spritzgießbetriebe unabhängig vom Werkzeug feste Materialtemperaturen vorgeben, z. B. wird Polypropylen (PP) immer bei 260 °C verarbeitet. Aus energetischer Betrachtung sollte bei der Abmusterung mit der minimal empfohlenen Verarbeitungstemperatur des Materialherstellers begonnen werden. Das hat den Vorteil, dass Energie beim Aufheizen eingespart wird und somit das

Spritzteil weniger Wärme abtransportieren muss. Folglich kann so schneller die benötigte Entformungstemperatur erreicht und an der Zykluszeit eingespart werden.

1.4.2.2 Plastifizieren (Schneckendrehzahl)

Die Plastifizierphase ist mit einer der energieintensivsten Intervalle im Spritzgießprozess. Jedoch hat die Schneckendrehzahl nicht nur großen Einfluss auf die Leistungsaufnahme einer Spritzgießmaschine, sondern ist neben der Zylindertemperatur maßgeblich an der Qualität der zu verarbeitenden Kunststoffschmelze beteiligt. Die Einstellung der Schneckendrehzahl richtet sich, wenn vom Materialhersteller nicht anders vorgegeben, nach dem zeitlichen Ende der Restkühlzeit. Die Drehzahl sollte nur so hoch eingestellt werden, dass mit Ende der Restkühlzeit der Plastifiziervorgang abgeschlossen ist.

1.4.2.3 Nachdruck und Nachdruckzeit

Der Nachdruck sollte nur so hoch gewählt werden, dass das Spritzteil keine Einfallstellen aufweist. Sehr häufig fällt in der Praxis auf, dass bei einer Erhöhung der Nachdruckzeit der bereits eingestellten Restkühlzeit keine weitere Beachtung geschenkt wird. Folglich verlängert sich die Gesamtzykluszeit, wodurch sich ein höherer spezifischer Energieverbrauch ergibt. Die „Fachkraft für Abmusterungen“ sollte die Nachdruckzeit mittels Siegel punkt über das Kunststoffteilgewicht ermitteln. Hierzu ist besonders darauf zu achten, dass bei einer Erhöhung der Nachdruckzeit dieselbe Erhöhung von der Restkühlzeit abgezogen werden muss, um die Spritzgießzykluszeit konstant zu halten.

1.4.2.4 Restkühlzeit

Die Restkühlzeit dient nur dem Abkühlen des Kunststoffteils in der Kavität, bis eine ausreichende Entformungstemperatur je nach Kunststoff erreicht wird. Dabei ist darauf zu achten, dass eine zu lange Restkühlzeit nicht nur auf den Spritzgießzyklus einen negativen Einfluss hat, sondern auch auf den Stromverbrauch der Spritzgießmaschine. Der Grund hierfür ist, dass die Maschine während des Ablaufes der Restkühlzeit Leerlaufleistung verbraucht. Diese Leerlaufleistung ist der Stromverbrauch, der bei jedem Stillstand der Maschine, wie z.B. dem Abwarten der Restkühlzeit, verschwendet wird.

In der Praxis ist es sehr geläufig, dass zur Kühlzeitberechnung vorhandene Wertetabellen oder Näherungsformeln aus bestehender Literatur entnommen werden. Diese Näherungsformeln berücksichtigen nicht, dass bei dem Einsatz von Verstärkungsstoffen wie z.B. Glasfasern wegen einer höheren Wärmeleitfähigkeit die Wärme schneller aus dem Thermoplast abtransportiert wird. Demnach kann sich die Restkühlzeit bei einem verstärkten Thermoplast erheblich verkürzen. Folglich

sind in der Praxis häufig die Restkühlzeiten zu lange eingestellt. Dieses Phänomen führt zu längeren Zykluszeiten und somit zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch. Diese ermittelten Kühlzeiten aus Wertetabellen und Näherungsformeln dürfen nur als Anfangswerte für eine Abmusterung herangezogen werden und stellen keine Fixwerte für eine spätere Produktion dar. Hier sollte die „Fachkraft für Abmusterungen“ mit einer höheren Restkühlzeit beginnen und diese über mehrere Spritzgießzyklen kontinuierlich verkürzen. Wichtig hierbei ist, dass nach jedem Schuss die Entformungstemperatur des Spritzteils gemessen wird. Eine optimale Restkühlzeit ist eingestellt, wenn alle Bereiche des Kunststoffbauteils die empfohlene Entformungstemperatur des Materialherstellers haben.

1.4.3 Energieeinsparpotenziale der Schließeinheit

1.4.3.1 Zuhaltekraft

Ein wichtiger Parameter ist die Zuhaltekraft des Spritzgießwerkzeuges. Eine Problematik hierbei ist, dass in der Produktion sehr oft mit der maximal möglichen Zuhaltekraft der jeweiligen Spritzgießmaschine gefahren wird. Eine zu hoch eingestellte Zuhaltekraft ist nicht nur ein sehr großer Energieverbraucher, sondern begünstigt zugleich einen höheren Werkzeugverschleiß durch eine starke Flächenpressung. Des Weiteren können bei zu hoch eingestellten Zuhaltekräften Entlüftungsprobleme am Werkzeug entstehen. Die „Fachkraft für Abmusterungen“ sollte daher immer eine erforderliche Zuhaltekraft ermitteln.

1.4.3.2 Werkzeugbewegungen

Betrachten wir die Werkzeugbewegungen neben den zu hohen Zuhaltekräften, werden auch die Öffnungs- und Schließbewegungen meist als mögliche Energieeinsparungsquelle nicht berücksichtigt. Die schnellen Fahrbewegungen der Schließeinheit mit Werkzeug müssen unter sehr hohem Energieaufwand beschleunigt und wieder abgebremst werden. Folglich sollten die Werkzeugbewegungen individuell auf das jeweilige Werkzeug angepasst sein. Wichtig hierbei ist es, den optimal benötigten Öffnungsweg einzustellen. Das spart Zykluszeit und durch kürzere Fahrwege der Schließeinheit folglich Energie.

1.4.3.3 Werkzeugtemperatur

In den Spritzgießbetrieben sieht man oft, dass die Spritzgießwerkzeuge mit den maximal empfohlenen Temperaturen der Materialhersteller temperiert werden. Dieses Phänomen unterliegt den gleichen Problematiken wie im bereits behandelten Abschnitt der Zylindertemperatur. Auch hier wurden eventuell im Vorfeld der Werkzeug- und Bauteilekonstruktion konstruktive Fehler begangen. Folglich muss

auch hier die „Fachkraft für Abmusterungen“ eine höhere Werkzeugtemperatur wählen, um z. B. Füllprobleme auszugleichen. Sehr häufig sieht man in der Praxis, dass viele Spritzgießunternehmen einen bestimmten Temperaturwert vorgeben, z. B. wird die Werkzeugtemperatur bei Polypropylen (PP) immer auf 60 °C eingestellt. Hier sollte zunächst mit der minimal empfohlenen Werkzeugtemperatur des Materialherstellers begonnen werden. Das hat den großen Vorteil, dass Energie beim Aufheizen eingespart werden kann und zugleich die benötigte mittlere Entformungstemperatur des Kunststoffteils schneller erreicht werden kann.

1.4.4 Spezifischer Energieverbrauch

Einen zuverlässigen Vergleich von Maschinen, Einstellungen und Prozessen bietet der spezifische Energieverbrauch. Der spezifische Energieverbrauch einer Spritzgießmaschine ist definiert als Energieverbrauch pro Kilogramm Material (kWh/kg). Theoretisch kann ein spez. Energieverbrauch von 0,1 kWh/kg erreicht werden, allerdings lassen sich solche Werte in der Praxis nicht realisieren und liegen um das 2–3-Fache höher. Dies ist nicht nur durch die Technik der Spritzgießmaschine bedingt, sondern auch durch meist ungenügende Maschinenauslastungen, wie z. B. zu kleine Schussgewichte bezogen auf die Möglichkeiten der Maschine. So kann heute unter günstigen Umständen ein spezifischer Verbrauch mit vollhydraulischen Antrieben von 0,5 kWh/kg und bei vollelektrischen Antrieben von 0,2 kWh/kg erreicht werden. In Kapitel 8 „Optimierung der Grundeinstellung“ wird auf eine Bewertung sowie mögliche Optimierungsmöglichkeiten näher eingegangen.

1.4.5 Fazit der Energieeffizienz beim Abmustern

Die Industriestrompreise in Deutschland haben sich in den letzten Jahren fast verdoppelt und werden weiter ansteigen. Daher trägt heute der Energieverbrauch entscheidend zu den Herstellungskosten eines Spritzteils im Unternehmen bei.

Sie können sehen, dass eine Energieoptimierung bereits unter Berücksichtigung bestimmter Maschineneinstellparameter in der Abmusterungsphase einen großen Anteil zu einer energieeffizienteren Produktion beiträgt. Je nach betrieblicher Situation ist es möglich, zwischen 10 % bis 30 % Energie alleine durch eine Optimierung der Maschineneinstellparameter einzusparen. Dieser sinnvolle Umgang mit Energiere Ressourcen trägt als entscheidender Faktor zu Ihrem wirtschaftlichen Erfolg bei.

Diese möglichen Energieeinsparpotenziale im Spritzgießprozess sollten Ihnen im weiteren Abmusterungsprozess bewusst sein. Das Ziel einer jeden Abmusterung sollte eine konstante Spritzteilqualität und gleiche Zykluszeit bei deutlich weniger Stromverbrauch sein.

**MERKE:**

Je höher der eingestellte Maschinenparameter, desto höher der Energieverbrauch.

■ 1.5 Die Spritzgießsimulation effektiv nutzen für eine Abmusterung

Die Simulationstechnik ist noch zu wenig genutzt für die Werkzeugabmusterung.

Heute hat sich die Spritzgießsimulation zu einem standardmäßigen Werkzeug entwickelt. Der Spritzgießprozess kann vom Füllen über Nachdruck, Nachdruckzeit bis Verzug, Orientierungen, Einspritzdruck, Einspritzzeit, Zykluszeit sowie Temperaturen (siehe Bild 1.7) berechnet werden.

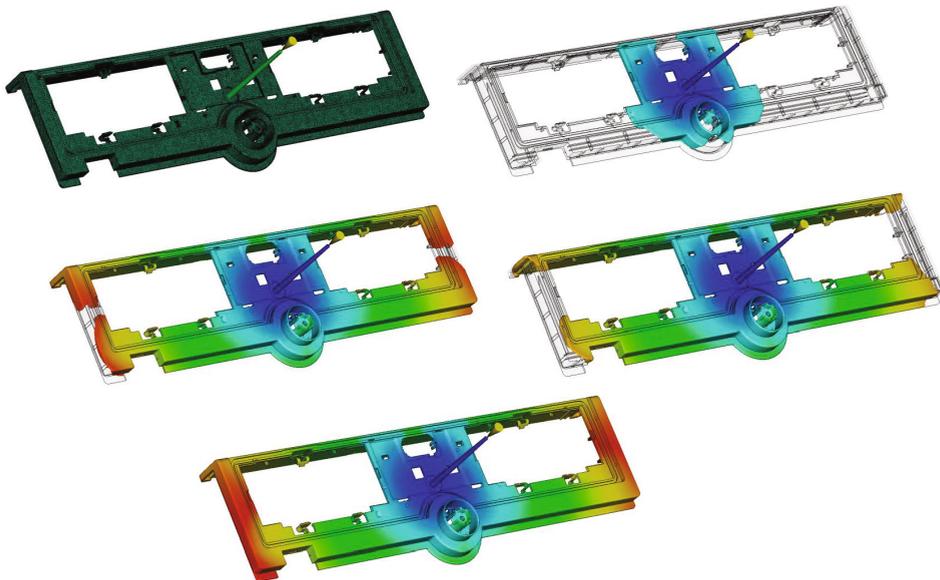


Bild 1.7 Spritzgieß-Simulation mit FEM-Programmen

In der Praxis werden die empfohlenen Prozessparameter aus den Materialdatenblättern der Rohstoffhersteller entnommen, was auch absolut richtig ist. Jedoch sind meist die empfohlenen Werte in einem gewissen Wertebereich, wie z. B. der spezifische Nachdruck von 300–550 bar, angegeben.

Daher wäre eine zukunftsorientierte Vorgehensweise – falls eine Simulation des Bauteils gerechnet wurde – die gewonnenen Prozessparameter über die Simulation als mögliche Richtwerte bzw. Anhaltspunkte für die anstehende Abmusterung zu verwenden.

Größter Vorteil ist hierbei, dass die aus der Simulation gewonnen Prozessparameter individuell für das abzumusternde Spritzteil berechnet wurden. Folglich sind wichtige Kriterien bei der Prozessparameterauswahl im Vorfeld unter Berücksichtigung von Geometrie, Wanddicken, Molekül- und Faserorientierungen, Werkzeug- und Schmelztemperatur gegeben. Ein weiterer Vorteil ist, dass mögliche Schwierigkeiten am Bauteil frühzeitig erkannt und an die „Fachkraft für Abmusterungen“ weitergegeben werden können.

Der Trend wird in den nächsten Jahren dahin gehen, dass die Abnehmer von Spritzteilen vermehrt Simulationen von den Zulieferern verlangen und dass dies auch die Werkzeugabmusterung betreffen wird.

Index

Symbole

(IMD) 282

A

Abmusterungsanalyse 169
– Ablauf 169
Abmusterungsscheckliste XVII
Abmusterungsfachkräfte XXIV
Abmusterungskreislauf 263
Abmusterungsprozess 2
Abmusterungsunterlagen 19
Abmusterung von Heißkanalwerkzeugen 24
Allgemeine Informationsbeschaffung 15
amorphe Thermoplaste 47
Art der Umschaltung 116
– hydraulikdruckabhängige 117
– weg- bzw. volumenabhängig 117
– werkzeuginnendruckabhängig 118
– zeitabhängig 117
Auswerferweg 35

B

Brainstorming 251

D

Design of Experiments (DoE) 191
Digitalisierung 268
Dokumentation 238
Durchflussmenge 161

Düsenabdruck 106
Düsenanlagenkraft 105
Düsenanlagepunkt 104

E

Ein-Faktor-Methode 190
Einspritzdruck 85
Einspritzvorgang 85
Energieeffizienz 6
Energieeinsparpotenziale 13
Energie monitoring 213
Energie- und Leistungsflüsse im Spritzgießprozess 7
Entformungstemperatur 99
Enthalpie 161

F

Faktorielle Versuchsplanung 191
faserverstärkte Kunststoffe 66
Flanschttemperatur 67
Freigabeprozess 264
Friktionswärme 75
Füllstudie 112
– Erkenntnisse 112

G

Geschwindigkeitsprofil 34
– Werkzeug öffnen 34
– Werkzeug schließen 38

H

Hebekran 22
 Heißkanalauflaufphase 25

I

Industrie 4.0 267
 Informationsblatt für Abmusterungen
 18
 Injection Molding Doctor 282

K

Kernzüge 36
 Kühlzeit 98
 – Näherungsformel 101
 – Simulationstechnik 101
 Kunststoffschmelze 107
 Kurz-Meeting (Ideenkonferenz)
 247, 249

M

Maschineneinstelldatenblatt 238
 Maschinenfähigkeit 142
 Maßhaltigkeit 168
 Maßnahmenfestlegung 258
 Materialdatenblatt 84
 Materialdurchsätze 66
 Mindmap 253
 Mustervorbereitung 18

N

Nachdruck 119
 Nachdruckhöhe 121
 Nachdruckprofil 126
 Nachdruckzeit 122

O

Optimierung der Grundeinstellung 187f.

P

Plastifiziergeschwindigkeit 78
 Plastifizierhub 70
 Plastifiziervolumen 71, 75
 Plastifiziervorgang 70
 Plastifizierweg 70
 Produktivität 207
 Prozessfähigkeitsanalyse 225
 Prozess-Run@Rate 231
 Prozesssicherheit 226

R

Restmassepolster 72

S

Schmelzekristallinität 67
 Schmelzetemperatur 62, 108
 Schneckendekompression 75, 84
 Schneckenstaudruck 79
 – Funktion 79
 Schneckenumfangsgeschwindigkeit 75
 Schubmodul-Temperaturkurve 100
 Siegelpunkt 122
 spezifischer Energieverbrauch 12, 219
 Spritzgießprozess 138
 – Aufbau 139
 – Einflussfaktoren 140
 – Energieeffizienz 206
 – Produktivität 206
 Spritzgießsimulation 16
 Spritzgießwerkzeug 54
 – Durchflussmenge 54
 – Temperaturverteilung 43
 Spritzversuche 193
 Spritzzyklus 208
 statistische Versuchsplanung 191

T

Thermisches Verhalten 60
 – amorphe Thermoplaste 60
 – teilkristalline Thermoplaste 47, 60

Thermografie 154
– Emissionsgrad 157
– Heißkanalsystem 160
– Reflexionsgrad 157
– Spritzgießwerkzeug 158
– Spritzteil 158
– Transmissionsgrad 157
Tuschierung 167

U

Umschaltpunkt 115
Ursache-Wirkungsdiagramm 174

V

Verweilzeit 164
Vicat-Erweichungstemperatur 99
volumetrische Spritzteillfüllung 115

W

Wärmemenge 161
Wasseranschlussplan 30
Werkzeugabmusterungsbericht 243

Werkzeugeinbau 27
Werkzeugeinbauhöhe 28
Werkzeuginnendruck 146
Werkzeuginnendruckkurve 147
Werkzeugkühlplan 29
Werkzeugmaße 23
Werkzeugöffnungsgeschwindigkeit
34
Werkzeugöffnungsweg 33
Werkzeugsicherung 36
– Funktionsüberprüfung 39
– Kraft 40
– Weg 37
– Zeit 37
Werkzeugtemperierung 43
Werkzeugzuhaltekraft 40
– Optimierung 131
Wirtschaftlichkeit 206

Z

Ziele der Abmusterung 1
Zuhaltekraft 128
Zylindertemperatur 59
– Profil 60