

# HANSER



## Leseprobe

zu

## Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen

von Andreas Schötz

Print-ISBN: 978-3-446-47564-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-47722-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446475649>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Der Autor</b> .....	<b>XV</b>
<b>Informationen zum Buchaufbau</b> .....	<b>XVII</b>
Abmusterungsscheckliste .....	XVII
Bezeichnungen für Abmusterungsfachkräfte .....	XXIV
Beschreibung der Informationsboxen .....	XXV
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Warum eine Werkzeugabmusterung? .....	1
1.2 Ablauf der Werkzeugabmusterung .....	2
1.3 Problemstellung Zeitfaktor bei der Abmusterung im Unternehmen ...	4
1.4 Energieeffizienz beginnt beim Abmustern .....	6
1.4.1 Energie- und Leistungsflüsse einer Spritzgießmaschine .....	7
1.4.2 Energieeinsparpotenziale der Plastifiziereinheit .....	9
1.4.2.1 Zylindertemperatur .....	9
1.4.2.2 Plastifizieren (Schneckendrehzahl) .....	10
1.4.2.3 Nachdruck und Nachdruckzeit .....	10
1.4.2.4 Restkühlzeit .....	10
1.4.3 Energieeinsparpotenziale der Schließeinheit .....	11
1.4.3.1 Zuhaltkraft .....	11
1.4.3.2 Werkzeugbewegungen .....	11
1.4.3.3 Werkzeugtemperatur .....	11
1.4.4 Spezifischer Energieverbrauch .....	12
1.4.5 Fazit der Energieeffizienz beim Abmustern .....	12
1.5 Die Spritzgießsimulation effektiv nutzen für eine Abmusterung .....	13

<b>2</b>	<b>Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Abmusterung</b> .....	<b>15</b>
2.1	Informationsbeschaffung .....	15
2.1.1	Informationsblatt für Abmusterungen .....	16
2.2	Vorbereitung der Abmusterung .....	18
<b>3</b>	<b>Werkzeug rüsten</b> .....	<b>21</b>
3.1	Vor dem Werkzeugeinbau .....	21
3.1.1	Allgemeine Sicherheitsüberprüfungen .....	22
3.1.2	Überprüfung des Spritzgießwerkzeuges .....	23
3.1.3	Überprüfung bei Heißkanalwerkzeugen .....	24
3.1.3.1	Allgemeines zum Abmustern von Heißkanalwerkzeugen .....	24
3.1.3.2	Erstinbetriebnahme und Funktionsüberprüfung des Heißkanalsystems .....	25
3.1.3.3	Vorgehen beim Anfahren und Füllen eines leeren Heißkanalsystems .....	25
3.2	Werkzeugeinbau .....	26
3.2.1	Ablauf beim Werkzeugeinbau .....	27
<b>4</b>	<b>Grundeinstellung der Schließeinheit</b> .....	<b>33</b>
4.1	Werkzeugbewegungen .....	33
4.1.1	Werkzeug öffnen .....	33
4.1.2	Werkzeugöffnungsgeschwindigkeit .....	34
4.1.3	Werkzeug schließen .....	35
4.1.4	Einstellung der Werkzeugauswerfer .....	35
4.1.5	Zusatzfunktionen im Werkzeug .....	36
4.2	Werkzeugsicherung .....	36
4.2.1	Werkzeugsicherung einstellen .....	37
4.2.2	Funktionsüberprüfung der Werkzeugsicherung .....	39
4.3	Grundeinstellung der Werkzeugzuhaltkraft .....	40
4.4	Werkzeugtemperierung .....	43
4.4.1	Höhe der Werkzeugtemperatur .....	44
4.4.1.1	Amorpher oder teilkristalliner Thermoplast .....	47
4.4.1.2	Auswirkungen der Werkzeugtemperaturhöhe auf das Spritzteil .....	48

4.4.2	Gleichmäßige Temperaturverteilung im Werkzeug .....	50
4.4.2.1	Ursachen und Folgen einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung im Spritzgießwerkzeug .....	51
4.4.3	Überprüfung der Durchflussmenge des Temperiermediums ....	54
4.4.4	Formhälften gemeinsam aufheizen .....	56
<b>5</b>	<b>Grundeinstellung der Plastifiziereinheit .....</b>	<b>57</b>
5.1	Zylindertemperaturen einstellen .....	59
5.1.1	Thermisches Verhalten von amorphen und teilkristallinen Thermoplasten .....	60
5.1.2	Auswirkungen der Schmelzetemperatur auf das Spritzteil und den Spritzgießprozess .....	62
5.1.3	Zylindertemperaturprofil einstellen .....	63
5.1.3.1	Temperaturprofil für amorphe Thermoplaste .....	64
5.1.3.2	Temperaturprofil für teilkristalline Thermoplaste .....	65
5.1.3.3	Temperaturprofil bei faserverstärkten Kunststoffen, hoher Kristallinität und hohen Durchsätzen .....	66
5.1.4	Flanschttemperatur (Materialeinzug) einstellen .....	67
5.1.4.1	Auswirkungen der Flanschttemperatur .....	68
5.1.4.2	Richtige Flanschttemperatur einstellen .....	68
5.2	Plastifiziervorgang einstellen .....	70
5.2.1	Plastifizierweg bzw. -volumen .....	70
5.2.1.1	Ermittlung des erforderlichen Plastifizier- volumens (cm <sup>3</sup> ) .....	71
5.2.2	Plastifiziergeschwindigkeit .....	75
5.2.2.1	Schneckendrehzahl und Schneckenumfangs- geschwindigkeit .....	75
5.2.2.2	Auswirkungen der Plastifiziergeschwindigkeit .....	78
5.2.2.3	Vorgehensweise zur Grundeinstellung der Plastifiziergeschwindigkeit .....	78
5.2.3	Schneckenstaudruck .....	79
5.2.3.1	Auswirkungen des Schneckenstaudruckes .....	82
5.2.3.2	Vorgehensweise zur Grundeinstellung des Schneckenstaudruckes .....	83
5.2.4	Schneckendekompression einstellen .....	84

5.3	Die Einspritzphase richtig einstellen .....	85
5.3.1	Einspritzdruck .....	85
5.3.2	Einspritzprofil .....	86
5.3.3	Einspritzvolumenstrom (cm <sup>3</sup> /s) .....	88
5.3.3.1	Auswirkungen der Einspritzphase .....	89
5.3.3.2	Ermittlung des erforderlichen Einspritzvolumenstroms (cm <sup>3</sup> /s) .....	91
5.3.4	Einspritzzeit (s) .....	97
5.4	Kühlzeit und Entformungstemperatur .....	98
5.4.1	Kühlzeit .....	98
5.4.2	Entformungstemperatur des Kunststoffes .....	99
5.4.3	Grundeinstellung der Kühlzeit .....	101
5.4.3.1	Kühlzeit über Simulationstechnik .....	101
5.4.3.2	Abschätzen mithilfe einer Näherungsformel .....	102
5.5	Düsenanlagepunkt abnullen und prüfen .....	104
5.5.1	Düsenanlagenkraft einstellen .....	105
5.5.2	Vorgehensweise zur Erstellung eines Düsenabdruckes .....	106
5.6	Bewegung der Plastifiziereinheit einstellen .....	106
5.6.1	Bewegungsgeschwindigkeit der Plastifiziereinheit .....	107
5.7	Begutachtung der Kunststoffschmelze .....	107
5.7.1	Überprüfung der Schmelzetemperatur .....	108
5.7.2	Optische Begutachtung der Kunststoffschmelze .....	108
5.7.3	Überprüfung der Werkzeugtemperatur .....	109
<b>6</b>	<b>Füllstudie, Nachdruck und Werkzeugzuhaltekraft .....</b>	<b>111</b>
6.1	Füllstudie .....	112
6.1.1	Erkenntnisse aus der Füllstudie .....	112
6.1.1.1	Erkenntnisse über das Spritzteil und das Werkzeug ....	112
6.1.1.2	Erkenntnisse über die Grundeinstellung der Prozessparameter .....	113
6.1.2	Vorgehensweise der Füllstudie und Ermittlung des Umschalt- punktes bzw. -volumens .....	114
6.1.3	Art der Umschaltung von Einspritzdruck auf Nachdruck .....	116
6.1.4	Auswirkungen der Umschaltung auf das Spritzteil und den Spritzprozess .....	119

6.2	Nachdruck .....	119
6.2.1	Nachdruckhöhe .....	121
6.2.1.1	Vorgehensweise zur Ermittlung des benötigten Nachdruckes .....	121
6.2.2	Nachdruckzeit .....	122
6.2.2.1	Vorgehensweise zur Ermittlung der erforderlichen Nachdruckzeit .....	124
6.2.3	Nachdruckprofil .....	126
6.3	Werkzeugzuhaltekraft .....	128
6.3.1	Experimentelle Optimierung der Zuhaltekraft .....	130
6.3.1.1	Vorgehensweise der experimentellen Optimierung der Zuhaltekraft .....	131
6.3.1.2	Erkenntnisse aus der experimentellen Optimierung der Zuhaltekraft .....	134
<b>7</b>	<b>Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung .....</b>	<b>135</b>
7.1	Erste Musterteile fertigen .....	137
7.2	Wichtiges zur Durchführung einer Abmusterungsanalyse .....	137
7.2.1	Der Spritzgießprozess .....	138
7.2.1.1	Spritzgießprozessdefinition und -aufbau .....	138
7.2.1.2	Einflussfaktoren auf den Spritzgießprozess und das Spritzteil .....	140
7.2.2	Abmusterungsanalyse über Werkzeuginnendruckverlauf .....	145
7.2.2.1	Allgemeines zum Werkzeuginnendruck .....	146
7.2.2.2	Verlauf einer Werkzeuginnendruckkurve .....	147
7.2.2.3	Erkenntnisse aus einer Werkzeuginnendruckkurve ....	150
7.2.3	Abmusterungsanalyse mithilfe der Thermografie .....	154
7.2.3.1	Thermografie an Spritzteilen .....	158
7.2.3.2	Thermografie an Spritzgießwerkzeugen .....	159
7.2.3.3	Thermografie an Heißkanal-Systemen .....	160
7.2.4	Analyse der benötigten Durchflussmenge des Temperiermediums .....	161
7.2.5	Analyse der Verweilzeit der Schmelze im Plastifizierzylinder ..	164
7.2.5.1	Ermittlung der mittleren Verweilzeit ( $t_v$ ) .....	165
7.2.6	Überprüfung des vorhandenen Materialtrocknervolumens .....	166

7.2.7	Überprüfung der Werkzeuguschierung .....	167
7.2.8	Überprüfung der Maßhaltigkeit des Spritzteils .....	168
7.3	Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung .....	168
7.3.1	Abmusterungsanalyse durchführen .....	170
<b>8</b>	<b>Optimierung der Grundeinstellung .....</b>	<b>185</b>
8.1	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 1 .....	188
8.1.1	Schritt 1: Festlegung der Optimierungsstrategie .....	188
8.1.1.1	Ein-Faktor-Methode .....	190
8.1.1.2	Statistische Versuchsplanung (DoE) .....	191
8.1.2	Schritt 2: Durchführung von Spritzversuchen .....	193
8.1.2.1	Durchführung von Spritzversuchen mit der Ein-Faktor-Methode .....	195
8.1.2.2	Durchführung von Spritzversuchen mit Versuchsplan (DoE) .....	198
8.1.3	Schritt 3: Auswertung der Spritzversuche .....	201
8.1.3.1	Vorlage zur Auswertung der Spritzversuche .....	201
8.1.3.2	Festlegung der optimierten Maschineneinstellung .....	205
8.2	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 2 .....	206
8.2.1	Schritt 1: Optimierte Grundeinstellung auf Produktivität bewerten und optimieren .....	207
8.2.1.1	Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Produktivität .....	207
8.2.2	Schritt 2: Optimierte Grundeinstellung auf Energieeffizienz bewerten und optimieren .....	212
8.2.2.1	Optimierte Einstellung auf Energieeffizienz bewerten und klassifizieren .....	219
8.2.3	Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz .....	221
8.3	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 3 .....	225
8.3.1	Schritt 1: Prozessfähigkeitsanalyse von Maschineneinstell- und Prozessparametern .....	225
8.3.2	Schritt 2: Prozess-Run@Rate der optimierten Grundeinstellung	231

<b>9</b>	<b>Dokumentation der Werkzeugabmusterung</b> .....	<b>237</b>
9.1	Warum ist eine Dokumentation so wichtig? .....	238
9.2	Dokumentation der Maschineneinstell- und Prozessparameter .....	238
9.3	Werkzeugabmusterungsbericht .....	243
9.4	Einberufung eines Kurz-Meetings aller abmusterungsbeteiligten Mitarbeiter .....	247
<b>10</b>	<b>Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung</b> .....	<b>249</b>
10.1	Kurz-Meeting (Ideenkonferenz) .....	249
10.1.1	Vorteile eines Kurz-Meetings .....	249
10.1.2	Allgemeines zum Kurz-Meeting .....	250
10.1.3	Richtige Vorbereitung auf das Kurz-Meeting .....	251
10.1.4	Neutraler Besprechungsort für Kurz-Meeting .....	251
10.1.5	Kreativmethoden zur schnelleren Lösungsfindung .....	251
10.1.5.1	Brainstorming .....	251
10.1.5.2	Mindmapping .....	253
10.2	Vorgehensweise/Ablauf des Kurz-Meetings .....	255
10.3	Maßnahmenfestlegung und weiteres Vorgehen .....	258
10.3.1	Werkzeugkorrekturen bzw. Änderungen .....	258
<b>11</b>	<b>Folgeabmusterung (Iterationsschleife) oder Freigabe</b> .....	<b>259</b>
11.1	Folgeabmusterung (Iterationsschleife) .....	260
11.1.1	Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Folgeabmusterung (Iterationsschleife) .....	260
11.1.2	Werkzeug rüsten und Einstellung der Schließ- und Plastifiziereinheit .....	261
11.1.3	Spritzteile fertigen und Abmusterungsanalyse der optimierten Grundeinstellung .....	261
11.1.4	Optimierung der „optimierten Grundeinstellung“ bei einer Folgeabmusterung (Iterationsschleife) .....	262
11.1.5	Dokumentation der Folgeabmusterung (Iterationsschleife) .....	262
11.1.6	Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung im Anschluss an die Folgeabmusterung (Iterationsschleife) .....	263
11.2	Abmusterungskreislauf .....	263

11.3	Freigabeprozess (Werkzeugübergabe in die Serienfertigung) .....	264
11.3.1	Abschluss-Meeting zur Werkzeugübergabe in die Serienfertigung .....	264
<b>12</b>	<b>Der Abmusterungsprozess neu definiert – „Process engineering goes digital“ .....</b>	<b>267</b>
12.1	Digitalisierung und Industrie 4.0 .....	268
12.2	Warum den Abmusterungsprozess digitalisieren? .....	269
12.2.1	Intention der IMG-Plattform .....	270
12.2.2	Vorteile und Nutzen der IMG-Plattform im Unternehmen .....	271
12.3	Kurze Einblicke in den IMG .....	272
12.3.1	Aufbau, Inhalte und Funktionen .....	273
12.3.2	Rund um die IMG-Plattform .....	280
12.4	Die IMG-Plattform über „Life-Cycle“ in der Serienproduktion .....	285
12.4.1	Die Serienproduktion kurz im Überblick .....	286
12.4.1.1	Digitale Prozessmappe .....	287
12.4.1.2	Fehlerkatalog .....	288
12.4.1.3	Prozesshistorie .....	289
<b>13</b>	<b>Schlusswort .....</b>	<b>291</b>
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>293</b>

# Vorwort

Die Intention dieses Fachbuch zu schreiben war, dass Werkzeugabmusterungen in der kunststoffverarbeiteten Industrie häufig als Nebensache betrachtet werden. Dies sollte nicht so sein, da die Abmusterung der wichtigste Prozessschritt zu einem einwandfreien Spritzgießwerkzeug und Spritzteil ist. Die Erfahrung aus der Praxis zeigt, dass vieles einen optimalen Abmusterungsprozess im Spritzbetrieb negativ beeinflusst, wie zum Beispiel:

- Der Zeitdruck bei der Werkzeugabmusterung, da Ressourcen für die Serienproduktion entfallen.
- Defizite beim Prozesswissen der Mitarbeiter.
- Falsche Vorgehensweisen bei der Findung der optimalen Maschinenparameter.
- Systemloses „ausprobieren“ von Maschineneinstellparameter bei Spritzteilfehlern sowie Prozessproblemen.
- Wichtige Arbeitsschritte einer Abmusterung werden vergessen oder übergangen.
- Fehlende bzw. mangelnde Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen der Mitarbeiter.
- Mangelnde Abmusterungsdokumentation in Form von Vorlagen und Checklisten.
- Schlechte bis zum Teil fehlende Kommunikation bei der Problem- bzw. Ursachenfindung unter den abmusterungsbeteiligten Mitarbeitern.
- Fehlende Vorgaben, wie Standardisierung, im Ablauf einer Werkzeugabmusterung.
- Zu viele notwendige Optimierungsschleifen eines Werkzeuges während der Abmusterungsphase.

Dieses Buch soll den Leser für die oben dargestellten Problematiken sensibilisieren und eine Anleitung zur optimalen, strukturierten und analytischen Werkzeugabmusterung im Unternehmen geben. Mit einer kompletten Abfolge der einzelnen Abmusterungsschritte und vielen Hintergrundinformation, Hinweisen, Praxisbei-

spielen sowie Praxistipps begleitet das Buch den Leser von der Auftragserteilung einer Abmusterung bis hin zur Übergabe an die Serienproduktion.

Die Themenschwerpunkte sind das strukturierte Vorgehen einer Abmusterung unter Berücksichtigung der Energieeffizienz, die Dokumentation und Kommunikation einer Abmusterungsanalyse, die optimale Maschineneinstellung durch strategisches Vorgehen und Methodiken an der Spritzgießmaschine, die Prozessoptimierung mit anschließender Untersuchung der Prozessfähigkeit sowie eines Run@Rate Prozesses.

Das Fachbuch wurde so gestaltet, dass es für den Praxisanwender an der Spritzgießmaschine sowie für Lehrzwecke an Berufsschulen, Weiterbildungseinrichtungen und Hochschulen bestens geeignet ist.

Mein großes Ziel ist es, dem Leser mit diesem Buch wertvolle Impulse und Anregungen zur optimalen Umsetzung eines doch sehr komplexen Abmusterungsprozesses auf den Weg zu geben, so dass dieser einfacher umzusetzen ist.

*Andreas Schötz*

# Der Autor



Andreas Schötz Dipl.-Ing. (FH) startete seine berufliche Karriere mit einer Ausbildung zum Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik mit Schwerpunkt Formteile. Nach erfolgreicher Beendigung der Ausbildung arbeitete er mehrere Jahre als Facharbeiter und Schichtführer im Ausbildungsunternehmen weiter. Bereits als junger Facharbeiter erkannte er die Möglichkeiten, in diesem technischen, aufstrebenden Beruf etwas bewegen zu können. Den Grundstein legte er mit der Weiterbildung zum staatl. geprüften Kunststofftechniker, wo er anknüpfend weitere Jahre als Techniker

Praxiserfahrung sammeln konnte. Weiter studierte er an der Hochschule Rosenheim Kunststofftechnik. Nach dem Studium arbeitete Andreas Schötz als Entwicklungs- und Prozessingenieur für einen mittelständischen Zulieferer im Automotivbereich. Hierbei lagen seine Schwerpunkte im Bereich der technischen Beratung, der Produktentwicklung, der Spritzgießwerkzeugabmusterung und Prozessoptimierung, der Spritzgießsimulation und internen Mitarbeiterschulungen. Der Einstieg in die Selbständigkeit folgte im September 2013.

Die *Ingenieurbüro Schötz Kunststofftechnik GmbH* hat sich auf folgende Dienstleistungen im Bereich Spritzgießtechnologie spezialisiert:

- Technische Beratung
- Ganzheitliche Prozessoptimierung
- Abmusterungen/Troubleshooting/Prozessbewertungen
- Software & Digitalisierung
- Schulungen, Seminare und Workshops
- Forschung und Entwicklung (F&E)





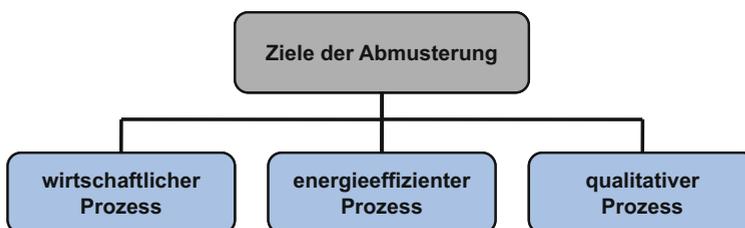
# 1

## 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:

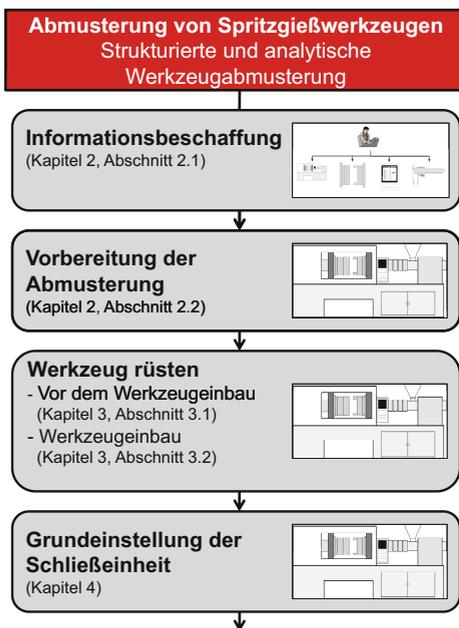
- Mechanische Mängel des Spritzgießwerkzeuges zu erkennen und gezielt zu beheben,
- die Prozessparameter strategisch und analytisch zu ermitteln, zu dokumentieren und zu archivieren,
- die optisch und maßlich geforderte Spritzteilqualität zu erhalten,
- eine optimale Zykluszeit zu erreichen,
- eine maschinenschonende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



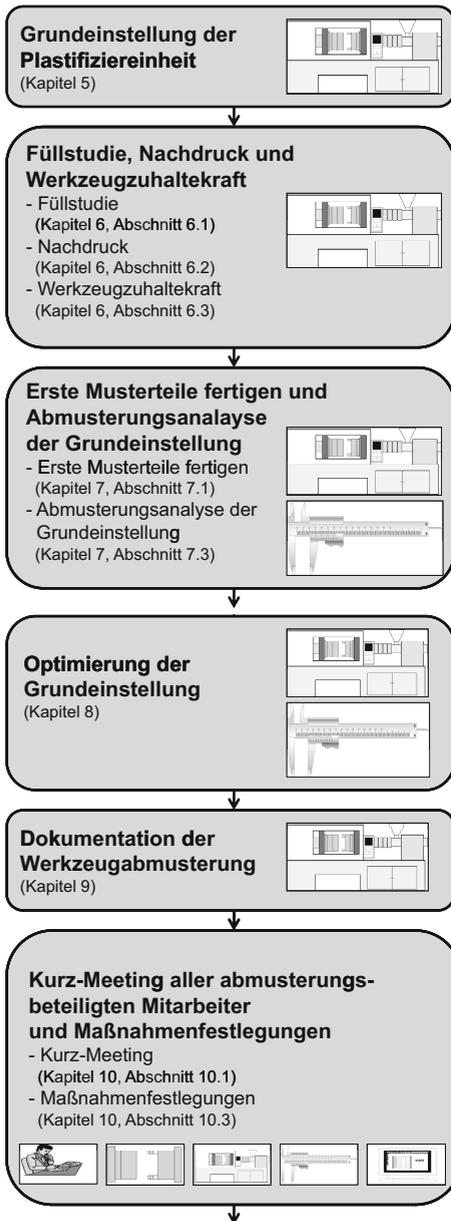
**Bild 1.1** Ziele der Abmusterung

## ■ 1.2 Ablauf der Werkzeugabmusterung

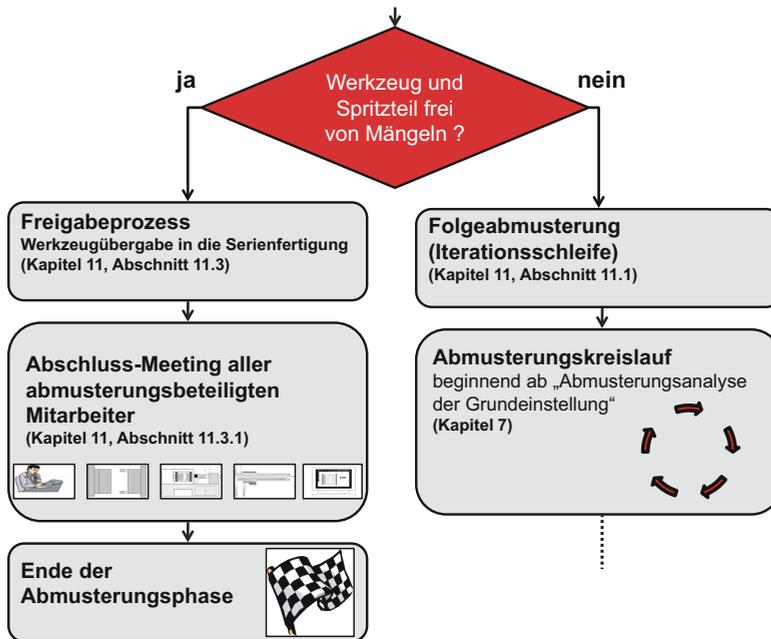
Die Werkzeugabmusterung ist ein komplexer Prozess, da unterschiedliche Abteilungen im Unternehmen ineinandergreifen. Die unterschiedlichen Abteilungen müssen gemeinsam zum richtigen Zeitpunkt funktionieren, um effektiv den Abmusterungsprozess zu steuern. Das stellt jedes Unternehmen vor eine fachliche 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:

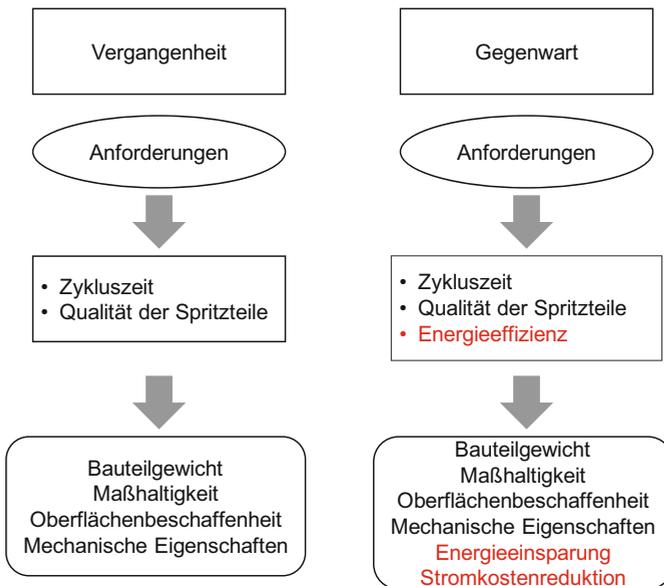
Es wurden im Fall 1 drei Tage Abmusterung auf der Maschine aus Zeitgründen eingespart und folglich 52,56 Tage Maschinenressourcen verloren.

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.



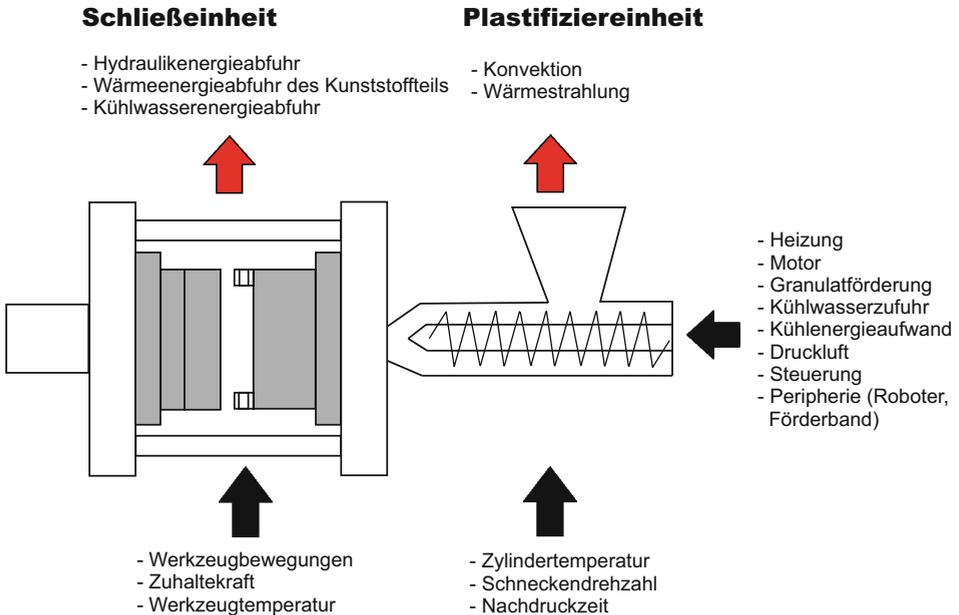
#### MERKE:

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.

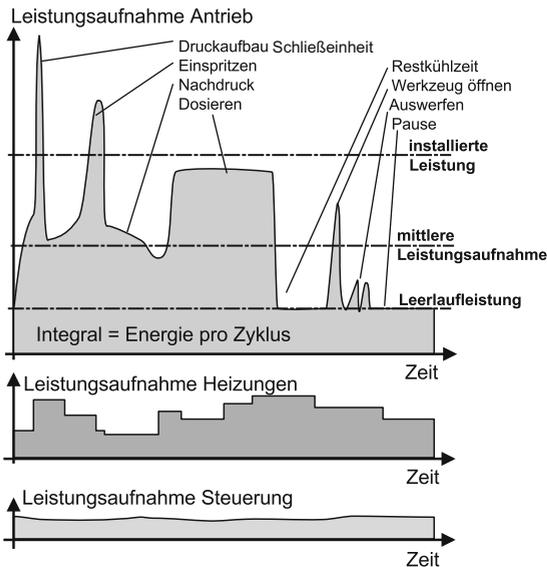
Bild 1.5 zeigt die Energie- und Leistungsflüsse einer hydraulischen Spritzgießmaschine (SGM), welche im Spritzgießprozess zugeführt oder von der Maschine abgeführt bzw. über Verluste an die Umgebung abgegeben werden.



**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 Siegelpunkt 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.

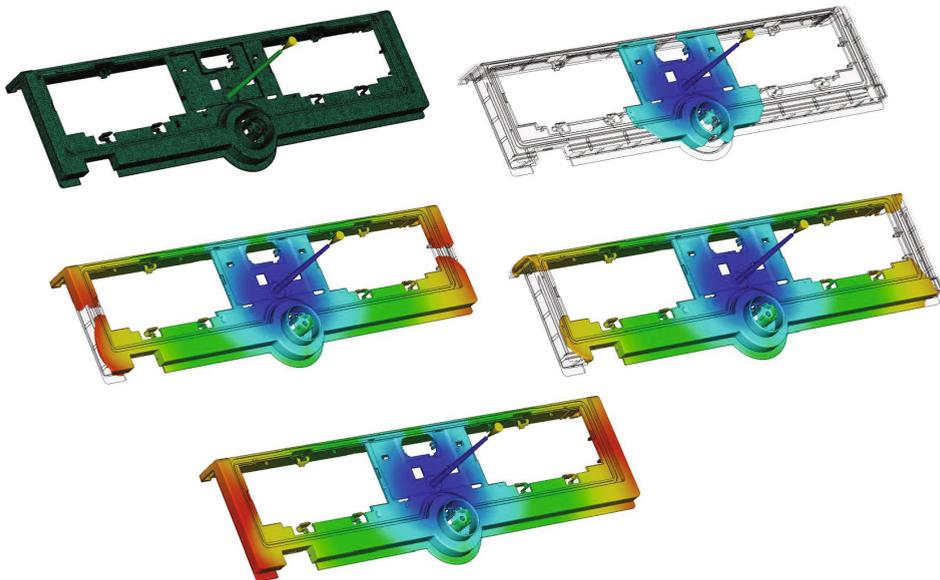
**MERKE:**

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  
 Heißkanal aufheizphase 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*