

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

Vorwort	XIII
Der Autor	XV
Informationen zum Buchaufbau	XVII
Abmusterungsscheckliste	XVII
Bezeichnungen für Abmusterungsfachkräfte	XXIV
Beschreibung der Informationsboxen	XXV
1 Einführung	1
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 Schließereinheit	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

2	Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Abmusterung	15
2.1	Informationsbeschaffung	15
2.1.1	Informationsblatt für Abmusterungen	16
2.2	Vorbereitung der Abmusterung	18
3	Werkzeug rüsten	21
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
4	Grundeinstellung der Schließeinheit	33
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 Werkzeugzuhaltekraft	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
5	Grundeinstellung der Plastifiziereinheit	57
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 ³)	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^3/s)	88
5.3.3.1	Auswirkungen der Einspritzphase	89
5.3.3.2	Ermittlung des erforderlichen Einspritzvolumenstroms (cm^3/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
6	Füllstudie, Nachdruck und Werkzeugzuhaltekraft	111
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 Umschaltpunktes 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
7	Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung	135
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
8	Optimierung der Grundeinstellung	185
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

9	Dokumentation der Werkzeugabmusterung	237
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
10	Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung	249
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
11	Folgeabmusterung (Iterationsschleife) oder Freigabe	259
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
12	Der Abmusterungsprozess neu definiert – „Process engineering goes digital“	267
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
13	Schlusswort	291
	Index	293

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)



■ 1.1 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.

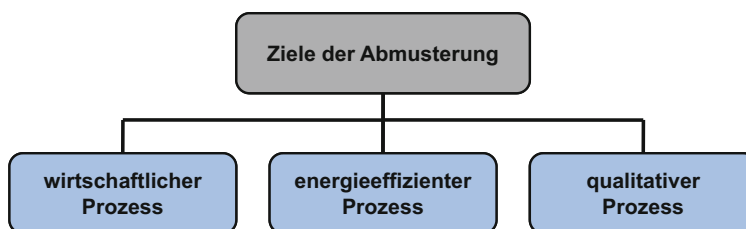


Bild 1.1 Ziele der Abmusterung

■ 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.

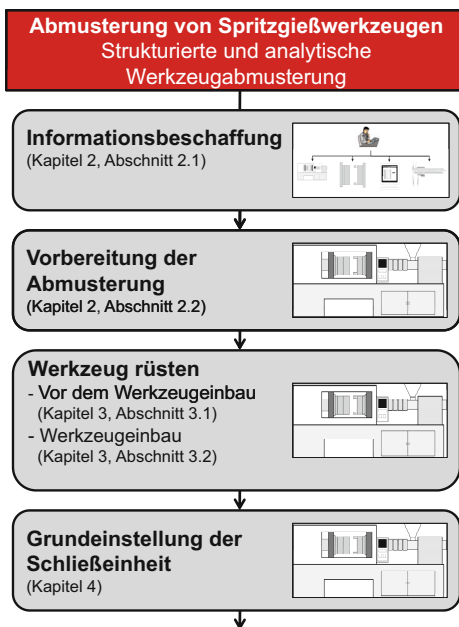


Bild 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (Fortsetzung nächste Seite)

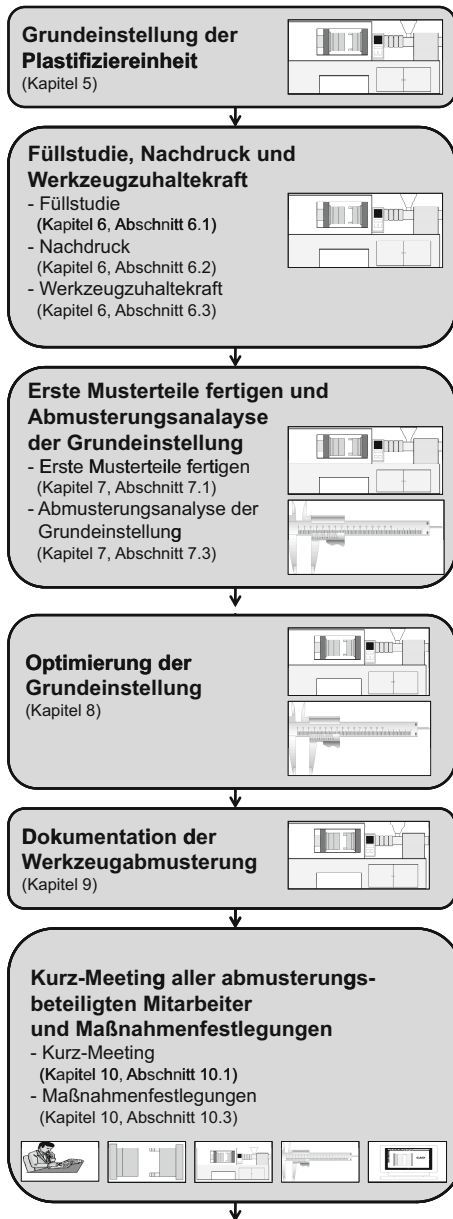


Bild 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (Fortsetzung nächste Seite)

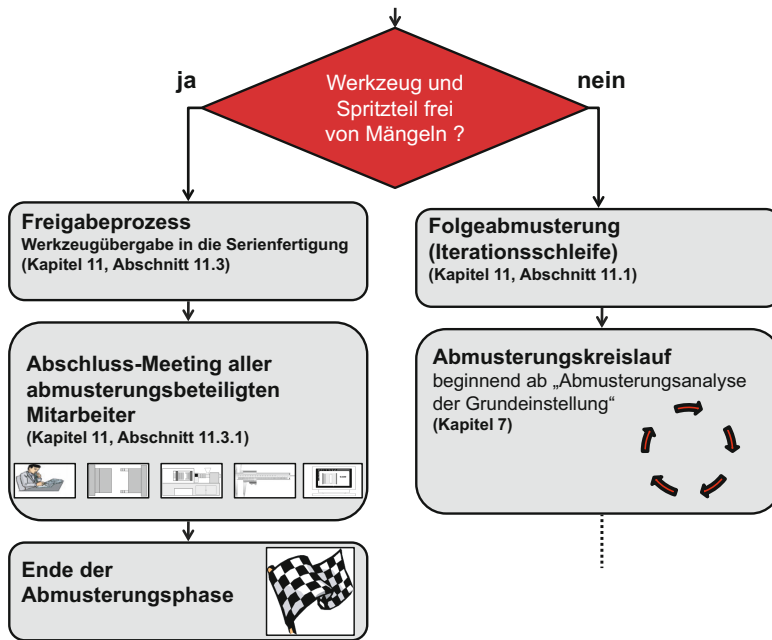


Bild 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (*Fortsetzung*)

■ 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).

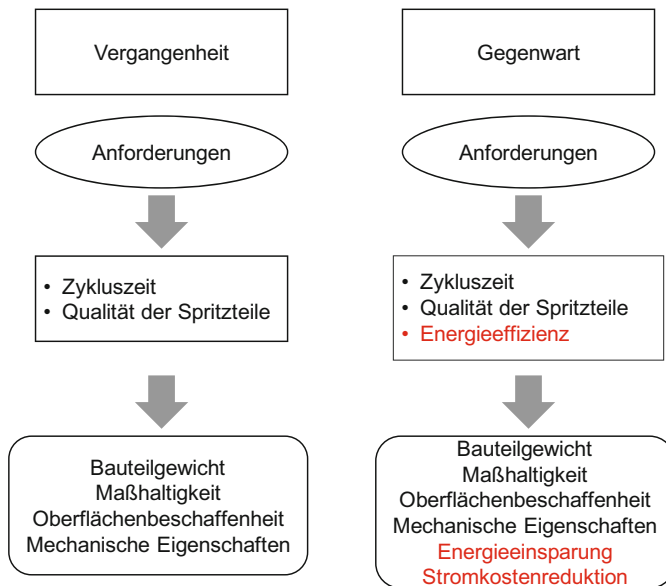


Bild 1.3 Neue Anforderungen an die kunststoffverarbeitenden Unternehmen

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

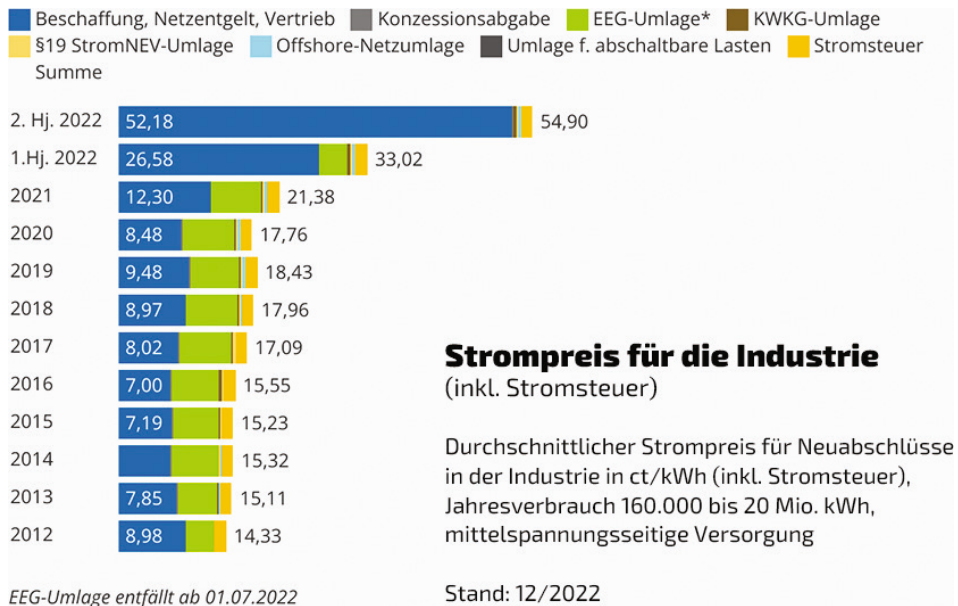


Bild 1.4 Strompreisanalyse für die Industrie (Quelle: BDEW-Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreis-analyse/>)

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.

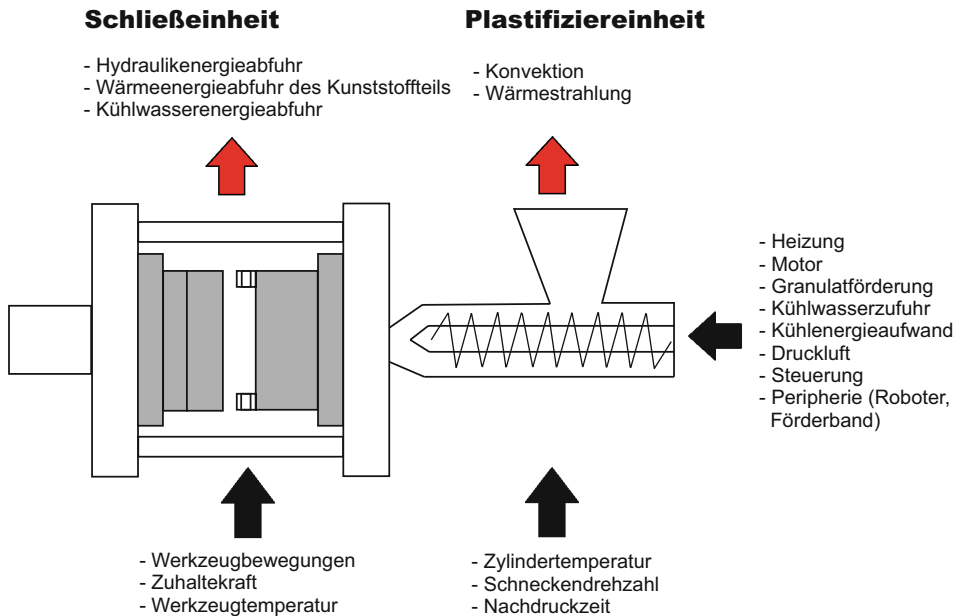
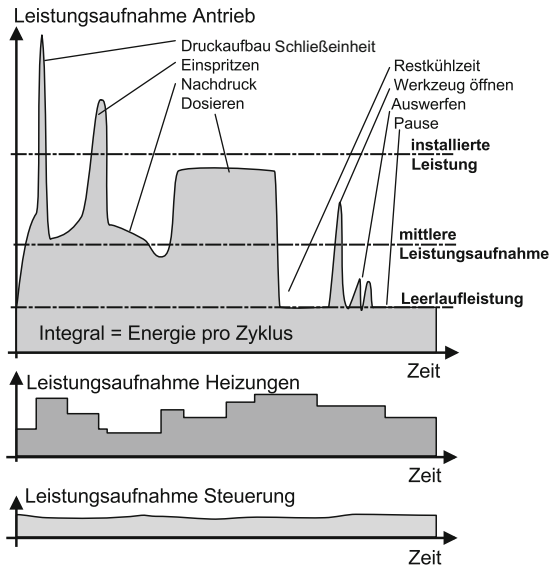


Bild 1.5 Energie- und Leistungsflüsse einer hydraulischen Spritzgießmaschine

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 Plastifizierungsphase 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 Plastifizierungsvorgang 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 Energieressourcen 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.

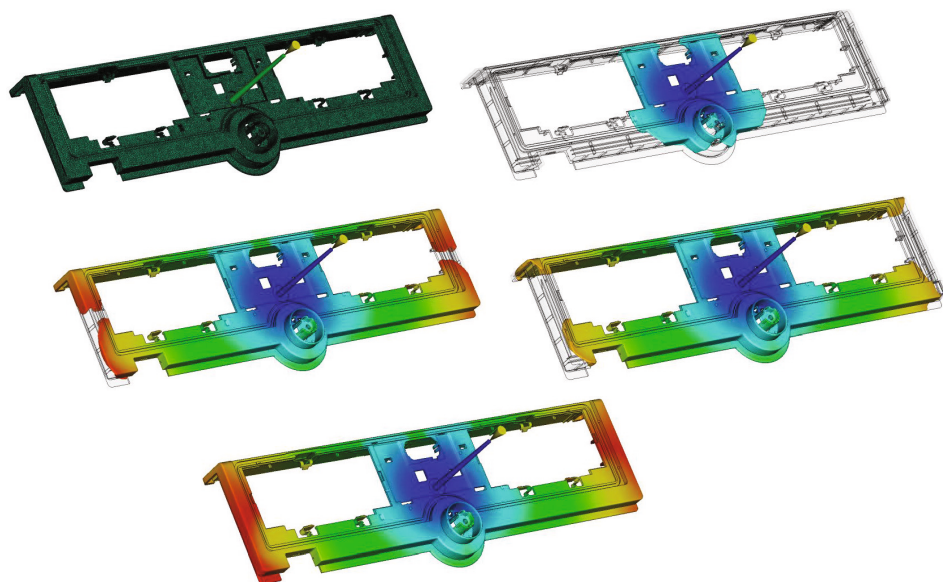


Bild 1.7 Spritzgieß-Simulation mit FEM-Programmen

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 Schmelzetemperatur 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
– hydraulikdruckabhängig 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
Energiemonitoring 213
Energie- und Leistungsflüsse im Spritzgießprozess 7
Entformungstemperatur 99
Enthalpie 161

F

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

G

Geschwindigkeitsprofil 34
– Werkzeug öffnen 34
– Werkzeug schließen 38

H

Hebekran 22
 Heißkanalauflheizphase 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
 Plastifiziertvolumen 71, 75
 Plastifiziertvorgang 70
 Plastifiziertweg 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 Spritzteilkfüllung 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