

HANSER



Leseprobe

zu

„Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen“

von Andreas Schötz

Print-ISBN: 978-3-446-46131-4
E-Book-ISBN: 978-3-446-46132-1

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46131-4>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	XI
Der Autor	XIII
Informationen zum Buchaufbau	XV
Abmusterungsscheckliste	XV
Bezeichnungen für Abmusterungsfachkräfte	XX
Beschreibung der Informationsboxen	XXI
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 Abmattern	6
1.4.1 Energie- und Leistungsflüsse einer Spritzgießmaschine	7
1.4.2 Energieeinsparpotenziale der Plastifiziereinheit	9
1.4.3 Energieeinsparpotenziale der Schließeinheit	11
1.4.4 Spezifischer Energieverbrauch	12
1.4.5 Fazit der Energieeffizienz beim Abmattern	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
3.2	Werkzeugeinbau	26
3.2.1	Ablauf beim Werkzeugeinbau	26
4	Grundeinstellung der Schließenheit	31
4.1	Werkzeugbewegungen	31
4.1.1	Werkzeug öffnen	31
4.1.2	Werkzeugöffnungsgeschwindigkeit	33
4.1.3	Werkzeug schließen	33
4.1.4	Einstellung der Werkzeugauswerfer	33
4.1.5	Zusatzfunktionen im Werkzeug	34
4.2	Werkzeugsicherung	34
4.2.1	Werkzeugsicherung einstellen	35
4.2.2	Funktionsüberprüfung der Werkzeugsicherung	37
4.3	Grundeinstellung der Werkzeugzuhaltekraft	38
4.4	Werkzeugtemperierung	41
4.4.1	Höhe der Werkzeugtemperatur	42
4.4.2	Gleichmäßige Temperaturverteilung im Werkzeug	48
4.4.3	Überprüfung der Durchflussmenge des Temperiermediums ...	51
4.4.4	Formhälften gemeinsam aufheizen	53
4.5	Literatur zu Kapitel 4	54
5	Grundeinstellung der Plastifiziereinheit	55
5.1	Zylindertemperaturen einstellen	56
5.1.1	Thermisches Verhalten von amorphen und teilkristallinen Thermoplasten	58
5.1.2	Auswirkungen der Schmelzetemperatur auf das Spritzteil und den Spritzgießprozess	60
5.1.3	Zylindertemperaturprofil einstellen	61
5.1.4	Flanschtemperatur (Materialeinzug) einstellen	65
5.2	Plastifiziervorgang einstellen	68
5.2.1	Plastifizierweg bzw. -volumen	68
5.2.2	Plastifiziergeschwindigkeit	72
5.2.3	Schneckenstaudruck	75
5.2.4	Schneckendekompression einstellen	80
5.3	Einspritzvorgang einstellen	81
5.3.1	Einspritzdruck	81

5.3.2	Einspritzgeschwindigkeit	82
5.3.3	Einspritzgeschwindigkeitsprofil	86
5.3.4	Einspritzzeit	88
5.4	Kühlzeit und Entformungstemperatur	89
5.4.1	Kühlzeit	89
5.4.2	Entformungstemperatur des Kunststoffes	90
5.4.3	Grundeinstellung der Kühlzeit	92
5.5	Düsenanlagepunkt abnullen und prüfen	95
5.5.1	Düsenanlagenkraft einstellen	96
5.5.2	Vorgehensweise zur Erstellung eines Düsenabdruckes	97
5.6	Bewegung der Plastifiziereinheit einstellen	97
5.6.1	Bewegungsgeschwindigkeit der Plastifiziereinheit	98
5.7	Begutachtung der Kunststoffschmelze	98
5.7.1	Überprüfung der Schmelzetemperatur	98
5.7.2	Optische Begutachtung der Kunststoffschmelze	99
5.7.3	Überprüfung der Werkzeugtemperatur	100
5.8	Literatur zu Kapitel 5	101
6	Füllstudie, Nachdruck und Werkzeugzuhaltekraft	103
6.1	Füllstudie	104
6.1.1	Erkenntnisse aus der Füllstudie	104
6.1.2	Vorgehensweise der Füllstudie und Ermittlung des Umschaltpunktes bzw. -volumens	106
6.1.3	Art der Umschaltung von Einspritzdruck auf Nachdruck	108
6.1.4	Auswirkungen der Umschaltung auf das Spritzteil und den Spritzprozess	111
6.2	Nachdruck	111
6.2.1	Nachdruckhöhe	113
6.2.2	Nachdruckzeit	114
6.2.3	Nachdruckprofil	117
6.3	Werkzeugzuhaltekraft	119
6.3.1	Experimentelle Optimierung der Zuhaltekraft	122
6.4	Literatur zu Kapitel 6	125
7	Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung	127
7.1	Erste Musterteile fertigen	129
7.2	Wichtiges zur Durchführung einer Abmusterungsanalyse	129
7.2.1	Der Spritzgießprozess	130
7.2.2	Abmusterungsanalyse über Werkzeuginndruckverlauf	137

7.2.3	Abmusterungsanalyse mit Hilfe der Thermografie	145
7.2.4	Analyse der benötigten Durchflussmenge des Temperiermediums	152
7.2.5	Analyse der Verweilzeit der Schmelze im Plastifizierzylinder ..	155
7.2.6	Überprüfung des vorhandenen Materialrockervolumens	157
7.2.7	Überprüfung der Werkzeugtuschierung	158
7.2.8	Überprüfung der Maßhaltigkeit des Spritzteils	158
7.3	Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung	159
7.3.1	Abmusterungsanalyse durchführen	161
7.4	Literatur zu Kapitel 7	170
8	Optimierung der Grundeinstellung	171
8.1	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 1	174
8.1.1	Schritt 1: Festlegung der Optimierungsstrategie	174
8.1.2	Schritt 2: Durchführung von Spritzversuchen	179
8.1.3	Schritt 3: Auswertung der Spritzversuche	189
8.2	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 2	194
8.2.1	Schritt 1: Optimierte Grundeinstellung auf Produktivität bewerten und optimieren	195
8.2.2	Schritt 2: Optimierte Grundeinstellung auf Energieeffizienz bewerten und optimieren	199
8.2.3	Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz	206
8.3	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 3	210
8.3.1	Schritt 1: Prozessfähigkeitsanalyse von Maschineneinstell- und Prozessparametern	210
8.3.2	Schritt 2: Prozess-Run@Rate der optimierten Grundeinstellung	216
9	Dokumentation der Werkzeugabmusterung	223
9.1	Warum ist eine Dokumentation so wichtig?	224
9.2	Dokumentation der Maschineneinstell- und Prozessparameter	224
9.3	Werkzeugabmusterungsbericht	229
9.4	Einberufung eines Kurz-Meetings aller abmusterungsbeteiligten Mitarbeiter	233
10	Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung	235
10.1	Kurz-Meeting (Ideenkonferenz)	235
10.1.1	Vorteile eines Kurz-Meetings	235
10.1.2	Allgemeines zum Kurz-Meeting	236

10.1.3 Richtige Vorbereitung auf das Kurz-Meeting	237
10.1.4 Neutraler Besprechungsort für Kurz-Meeting	237
10.1.5 Kreativmethoden zur schnelleren Lösungsfindung	237
10.2 Vorgehensweise/Ablauf des Kurz-Meetings	241
10.3 Maßnahmenfestlegung und weiteres Vorgehen	243
10.3.1 Werkzeugkorrekturen bzw. Änderungen	243
11 Folgeabmusterung (Iterationsschleife) oder Freigabe	245
11.1 Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	246
11.1.1 Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	246
11.1.2 Werkzeug rüsten und Einstellung der Schließ- und Plastifiziereinheit	247
11.1.3 Spritzteile fertigen und Abmusterungsanalyse der optimierten Grundeinstellung	247
11.1.4 Optimierung der „optimierten Grundeinstellung“ bei einer Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	248
11.1.5 Dokumentation der Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	248
11.1.6 Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung im Anschluss an die Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	248
11.2 Abmusterungskreislauf	249
11.3 Freigabeprozess (Werkzeugübergabe in die Serienfertigung)	250
11.3.1 Abschluss-Meeting zur Werkzeugübergabe in die Serienfertigung	250
12 Die moderne Abmusterung im Zeitalter von Industrie 4.0	253
12.1 Digitalisierung und Industrie 4.0	254
12.2 Warum den Abmusterungsprozess digitalisieren?	255
12.2.1 Intention der Abmusterungssoftware IMG	255
12.2.2 Vorteile und Nutzen der IMG-Software im Unternehmen	256
12.3 Kurze Einblicke in den IMG	257
12.3.1 Aufbau, Inhalte und Funktionen	258
12.3.2 Rund um die Software	264
13 Schlusswort	269
Stichwortverzeichnis	271

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, Praxisbeispielen 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 Spritzgießtechnik. 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 drei Jahre als Entwicklungs- und Prozessingenieur im Automotivbereich. Hierbei lagen seine Schwerpunkte im Bereich der technischen Beratung, der Produktentwicklung, der Spritzgießwerkzeug-abmusterung und Prozessoptimierung sowie der Spritzgießsimulation und Mitarbeiterschulung. Der Einstieg in die Selbständigkeit folgte im September 2013 mit dem *Ingenieurbüro für Kunststofftechnik* mit Sitz in Nürnberg. Neben der Tätigkeit im Ingenieurbüro übernahm Andreas Schötz den Lehrauftrag an der Hochschule Mosbach im Bereich Maschinenbau Fachrichtung Kunststofftechnik und ist seit 2005 im Prüfungsausschuss für Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik an der IHK Nürnberg ehrenamtlich tätig.

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

- Technische Unternehmensberatung
- Prozessbewertung- und optimierung
- Projektunterstützungen
- Mitarbeiterschulungen

- Werkzeugabmusterungen
- Entwicklung und Vertrieb von Anwendungssoftware



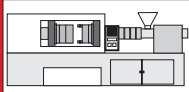
Mehr Informationen unter: www.kunststofftechnik-ingenieurbuero.de

Informationen zum Buchaufbau

■ Abmusterungscheckliste

In den nachfolgenden Kapiteln dieses Fachbuches wird eine Abmusterung in ihrer optimalen Reihenfolge dargestellt. Als Hilfestellung und zur Eigenkontrolle der wichtigsten Abmusterungsschritte wurde eine so genannte „Abmusterungscheckliste“ für die „Fachkraft für Abmusterungen“ entworfen.

Die „Abmusterungscheckliste“ ist so aufgebaut, dass ein kontrolliertes Arbeiten in neun Blöcken erfolgen kann. Die Checkliste hat den Vorteil, dass Routinevorgänge nicht immer neu durchdacht werden müssen und so die Gefahr, wichtige Abmusterungsschritte zu vergessen, minimiert wird. Diese Checkliste wird die „Fachkraft für Abmusterungen“ durch den kompletten Abmusterungsprozess begleiten.

Abmusterungscheckliste		
Artikelbezeichnung:		Art der Abmusterung: <input type="checkbox"/> Erstabmusterung (FOT) <input type="checkbox"/> Folgeabmusterung <input type="checkbox"/> Materialabmusterung <input type="checkbox"/> Reklamation <input type="checkbox"/> Sonstiges
Artikelnummer:		
Werkzeugnummer:		
Kunde:		
Abmusterungstermin:		
Maschinennummer:		
Fachkraft f. Abmusterung:		
Alle Abweichungen (mit „NEIN“ angekreuzte Felder) bitte im Werkzeugabmusterungsbericht mit Begründung/Bemerkung dokumentieren.		

Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Abmusterung				
1	Informationsblatt für die Abmusterung vorhanden und vollständig ausgefüllt?			Block 1
2	Vorbereitung für die Abmusterung an der Spritzgießmaschine abgeschlossen?			

Werkzeug rüsten				
Vor dem Werkzeugeinbau:		JA	NEIN	Block 2
3	Sicherheitsüberprüfungen an der Spritzgießmaschine (Kran bzw. Peripherie) durchgeführt und keine Mängel festgestellt?			
4	Überprüfung des Spritzgießwerkzeuges:			
4.1	Werkzeugtransportbrücke vorhanden und montiert?			
4.2	Werkzeugkennzeichnungen vorhanden und gut sichtbar?			
4.3	Werkzeugabstellfüße vorhanden?			
4.4	Werkzeug frei von optischen Schäden?			
4.5	Backen- oder Schieberwerkzeugsicherung vorhanden?			
4.6	Auswerferplattensicherung vorhanden?			
4.7	Werkzeugeinbaumaße (Werkzeugzentrierungs- \varnothing (Düsenseite), Einbauhöhe, Länge des Auswerferstößels, Maschinenholabstand ausreichend etc.) überprüft?			
4.8	Kühlkreisläufe durchgängig (Druckluftprüfung)?			
4.9	Kreislaufbezeichnung der Ein- und Ausgänge richtig?			
4.10	Durchflussmenge (L/min) geprüft und im Maschineneinstelldatenblatt dokumentiert?			
Bei Heißkanalwerkzeugen:				
4.11	Funktionsprüfung des Heißkanalsystems (HKS) durchgeführt und in Ordnung?			

Werkzeugeinbau:		JA	NEIN	Block 3
5	Ringschraube im Werkzeugschwerpunkt?			
6	Werkzeugaufspannnuten mit ausreichender Spannfläche?			
7	Richtige Einschraubtiefe (ca. 1,5 x \varnothing) der Schrauben beachtet?			
8	Werkzeugkühlung problemlos anschließbar?			
9	Düsenseite und Auswerferseite einzeln ausbaubar?			

Grundeinstellung der Schließeinheit				
Werkzeugbewegungen:		JA	NEIN	Block 4
10	Bewegliche Werkzeugteile geschmiert?			
11	Bewegliche Werkzeugteile (Schieber, Auswerfer etc.) leichtgängig?			
12	Werkzeugbewegungen (Fahrwege, Geschwindigkeiten, Auswerfer, Zusatzfunktionen im Werkzeug (Kerne etc.)) eingestellt?			
12.1	Werkzeug abgenullt?			
13	Werkzeugsicherung eingestellt und auf Funktion überprüft?			
14	Grundeinstellung der Werkzeugzuhaltekraft ermittelt und eingestellt?			
15	Richtige Werkzeugtemperatur eingestellt?			

Grundeinstellung der Plastifiziereinheit				
Temperaturen:		JA	NEIN	Block 5
16	Zylindertemperatur richtig gewählt und eingestellt?			
17	Zylindertemperaturprofil auf Thermoplasten angepasst?			
18	Richtige Flanschtemperatur gewählt und eingestellt?			
Plastifiziervorgang:		JA	NEIN	
19	Erforderliches Plastifiziervolumen bzw. -weg ermittelt und eingestellt?			
20	Plastifiziergeschwindigkeit eingestellt?			
21	Schneckenstaudruck und Schneckendekompression eingestellt?			
Einspritzvorgang:		JA	NEIN	
22	Einspritzdruck eingestellt?			
23	Einspritzgeschwindigkeit und Einspritzgeschwindigkeitsprofil eingestellt?			
Kühlzeit und Entformungstemperatur:		JA	NEIN	
24	Benötigte Entformungstemperatur ermittelt?			
25	Theoretische Restkühlzeit ermittelt und eingestellt?			
Plastifiziereinheit:		JA	NEIN	
26	Düsenanlagepunkt abgenullt?			
27	Düsenabdruck erstellt und in Ordnung?			
28	Bewegungen (z. B. Düse abheben) eingestellt?			

Füllstudie, Nachdruck und Werkzeugzuhaltekraft				
Begutachtung der Kunststoffschmelze:		JA	NEIN	Block 6
29	Schmelzetemperatur und Werkzeugwandtemperatur überprüft?			
30	Begutachtung der Schmelze durchgeführt?			
Füllstudie, Nachdruck und Werkzeugzuhaltekraft:		JA	NEIN	
31	Füllstudie (bis 100% volumetrisch gefüllte Teile) erstellt und Nachdruckhöhe optimiert?			
32	Füllstudie bewertet und dokumentiert?			
33	Erforderliche Nachdruckzeit (Siegelzeit) über das Formteilgewicht ermittelt und dokumentiert?			
34	Erforderliche Zuhaltekraft (kN oder t) über eine Messuhr optimiert?			

Erste Musterteile fertigen und Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung				
Erste Musterteile fertigen:		JA	NEIN	Block 7
35	Maschinenfähigkeit nach VDMA 24470 Teil 1 und 2 gegeben?			
36	Werkzeuginnendrucksensoren an Maschine angeschlossen?			
37	Spritzprozess über mehrere Zyklen (ca. 20-30) eingefahren?			
Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung:		JA	NEIN	
38	Analyse der benötigten Durchflussmenge des Temperiermediums durchgeführt?			
39	Alle auftretenden Fehler am Spritzteil lokalisiert und definiert?			
40	Fehlerursache eingegrenzt in Spritzprozess oder Werkzeug?			

41	Gezielte Analyse von Spritzprozess und Werkzeug durchgeführt?			
42	Allgemeine/Optische Prüfung des Prozesses:			
43	Soll/Ist-Vergleiche aller Maschineneinstellparameter durchgeführt?			
44	Vorhandenes Restmassepolster in Ordnung und im Maschineneinstelldatenblatt dokumentiert?			
45	Verweilzeit der Schmelze im Plastifizierzylinder ermittelt, geprüft und im Maschineneinstelldatenblatt dokumentiert?			
46	Thermische Prüfungen (Thermografie):			
47.1	Wärmebilder (Thermografie) erstellt?			
47.2	Entformungstemperatur (Soll/Ist-Vergleich) in Ordnung?			
47.3	Temperaturverteilung im Werkzeug und Spritzteil in Ordnung?			
47.4	Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklaufemperatur des Temperiergerätes gemessen und in Ordnung?			
47.5	Gleichmäßige Werkzeugwandtemperatur gegeben?			
47.6	Keine Hot Spots im Werkzeug oder am Spritzteil?			
48	Werkzeuginnendruckverlauf:			
48.1	Werkzeuginnendruckkurven aufgenommen und begutachtet?			
48.2	Optimale Einspritzphase gegeben?			
48.3	Optimale Kompressionsphase gegeben?			
48.4	Richtiger Umschaltzeitpunkt auf Nachdruck gegeben?			
48.5	Optimale Nachdruckhöhe und Nachdruckzeit gegeben?			
48.6	Nicht unter Restdruck entformt?			
49	Bewertung des Spritzteils und des Werkzeuges:			Block 7
49.1	Teilenummer und Teilebezeichnung richtig?			
49.2	Formnestkennzahlen richtig?			
49.3	Datumsuhr und Index richtig eingestellt?			
49.4	Spritzteil frei von Spritzgraten?			
49.5	Spritzteil frei von Auswerfermarkierungen?			
49.6	Auswerfer steht nicht vor?			
49.7	Auswerfer steht nicht zurück?			
49.8	Spritzteil voll ausgespritzt?			
49.9	Eingebrachte Werkzeugentlüftungen funktionsfähig?			
49.10	Spritzteil maßlich in Ordnung?			
49.11	Spritzteil ohne Blasenbildung/Luftblasen/Lufteinschlüsse?			
49.12	Spritzteil ohne Verzug?			
49.13	Spritzteil ohne Einfallstellen?			
49.14	Spritzteil ohne Schlieren?			
49.15	Spritzteil ohne Kratzer bzw. Ziehspuren?			
49.16	Spritzteil ohne Spannungsrisse (Weißbruch)?			
49.17	Spritzteil ohne Glanzstellen?			
49.18	Spritzteil ohne matte Stellen?			
49.19	Spritzteil ohne Fließ- und Bindenaht in Sicht- bzw. Problembereichen?			
49.20	Spritzteil ohne Verunreinigungen?			
49.21	Spritzteil ohne Freistrahlbildung?			

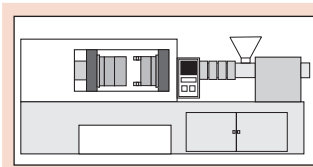
49.22	Spritzteil ohne Kaltverschiebungen (Material)?			Block 7
49.23	Anspritzung (Angussbereich) optisch in Ordnung?			
49.24	Anspritzung (Anguss) optisch in Ordnung?			
49.25	Funktion der Entnahmeeinrichtung gegeben?			
49.26	Spritzteil ohne Dieseleffekt/Verbrennungen?			
49.27	Spritzteil ohne Schallplatteneffekt?			
49.28	Entformung des Spritzteils problemlos?			
50	Auswertung der Abmusterungsanalyse:			
50.1	Wurde die Auswertung vollständig durchgeführt und dokumentiert?			
50.2	Liegen keine Mängel im Spritzgießwerkzeug vor?			
50.3	Kann eine Optimierung der Grundeinstellung ohne negativen Einfluss durch das Werkzeuges erfolgen?			
50.4	Kann die Abmusterung fortgesetzt werden?			

Optimierung der Grundeinstellung				
Optimierung der Grundeinstellung Teil 1:		JA	NEIN	Block 8
51	Optimierungsstrategie festgelegt?			
52	Spritzversuche durchgeführt?			
53	Spritzversuche ausgewertet?			
Optimierung der Grundeinstellung Teil 2:		JA	NEIN	
54	Grundeinstellung auf Produktivität bewertet und optimiert?			
55	Grundeinstellung auf Energieeffizienz bewertet und optimiert?			
Optimierung der Grundeinstellung Teil 3:		JA	NEIN	
56	Prozessanalyse von Maschineneinstell- und Prozessparametern durchgeführt und bewertet?			
57	Prozess Run@Rate der optimierten Grundeinstellung durchgeführt und bewertet?			

Dokumentation der Werkzeugabmusterung				
58	Maschineneinstell- und Prozessparameter im Maschineneinstell-datenblatt dokumentiert?			Block 9
59	Alle Erkenntnisse, Probleme etc. aus der Abmusterung wurden im Teil „Beurteilung der Fachkraft für Abmusterungen“ des Werkzeugabmusterungsberichtes im Detail dokumentiert?			
60	Alle Abmusterungsdokumente (Vorlagen) wurden richtig und vollständig bearbeitet?			
61	Die Dokumente wurden vollständig dem Abmusterungsverantwortlichen übergeben?			

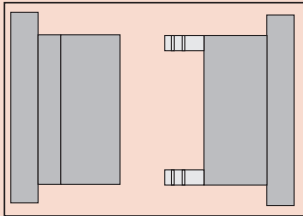
■ Bezeichnungen für Abmusterungsfachkräfte

Um den Abmusterungsprozess transparenter zu gestalten, sind in der folgenden Tabelle für alle abmusterungsbeteiligten Fachkräfte spezielle Symbole erstellt worden. Diese Symbole kennzeichnen, in welcher Abmusterungsphase die jeweilige Fachkraft zum Einsatz kommt und erleichtern so das Verfolgen des Prozesses. Des Weiteren sind zusätzlich die notwendigen Dokumente der einzelnen Fachkräfte mit diesen Symbolen versehen.



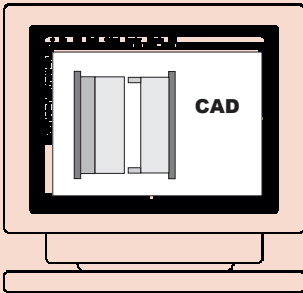
Fachkraft für Abmusterungen

z. B. Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik, Kunststofftechniker



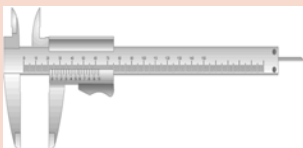
Fachkraft für Werkzeugbau

z. B. Werkzeugmechaniker



Fachkraft für Konstruktion

z. B. Techniker, Ingenieur



Fachkraft für Qualitätswesen/Messtechnik

z. B. Qualitätsbeauftragter, Qualitätssicherung



Abmusterungsverantwortlicher

z. B. Projektleiter, Abteilungsleiter, Ingenieur, Techniker, Meister

■ Beschreibung der Informationsboxen

Die einzelnen Kapitel des Fachbuches werden durch Informationsboxen begleitet. Diese Informationsboxen sollen Ihnen ein transparenteres und übersichtlicheres Arbeiten ermöglichen.



PRAXISTIPP:

Hier gibt es für Sie wertvolle Praxistipps zum jeweiligen Themengebiet.



HINWEIS:

Folgendem sollten Sie besondere Aufmerksamkeit schenken.



HINTERGRUNDWISSEN:

In dieser Informationsbox können Sie Hintergrundwissen (weiterführende Informationen) zum jeweiligen Themengebiet nachlesen.



ENERGIEEFFIZIENZ:

Hier wird beschrieben, wo es großes Potenzial zur Erhöhung der Energieeffizienz gibt.



MERKE:

An dieser Stelle werden Ihnen wichtige Sachverhalte vermittelt, die im Gedächtnis bleiben sollten.



PRAXISBEISPIEL:

Praxisbeispiele veranschaulichen Ihnen hier die beschriebenen Sachverhalte. Hierbei begleitet Sie das Praxisbeispiel der „Gehäuseabdeckung“ durch das Fachbuch.

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.

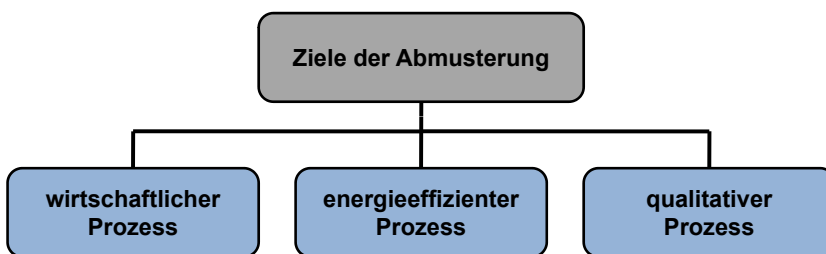


BILD 1.1 Ziele der Abmusterung

■ 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 mit Hilfe eines Flussdiagramms (Bild 1.2) der Abmusterungsprozess übersichtlich dargestellt. Dieser Ablauf wird in den nachfolgenden Kapiteln systematisch behandelt.

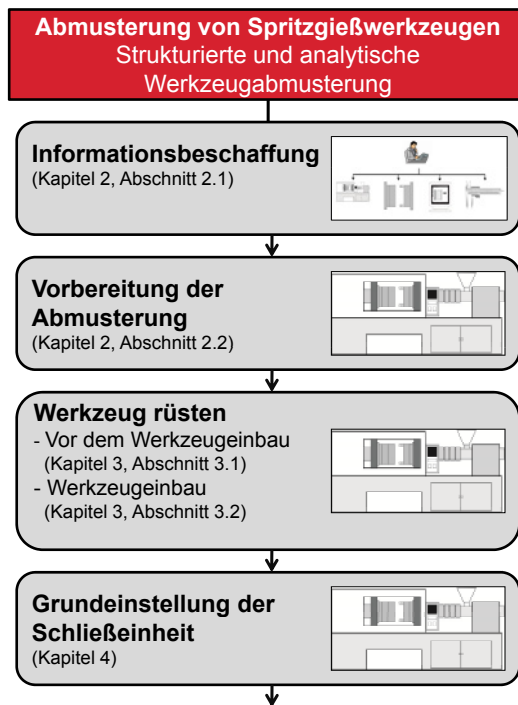


BILD 1.2 Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (Fortsetzung nächste Seite)

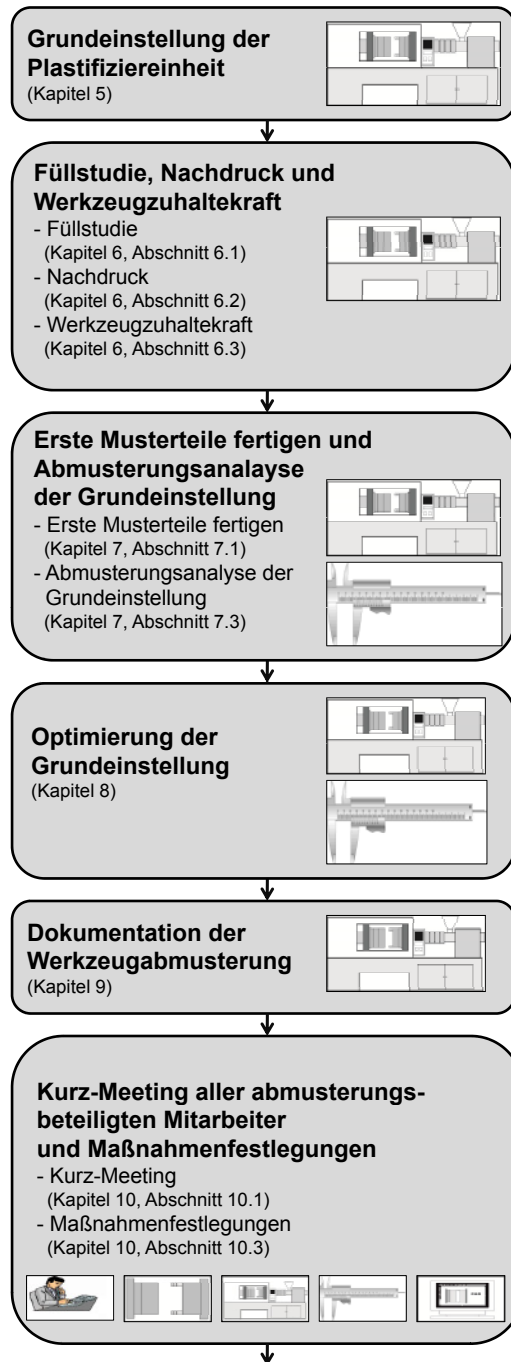


BILD 1.2 (Fortsetzung) Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses (Fortsetzung nächste Seite)

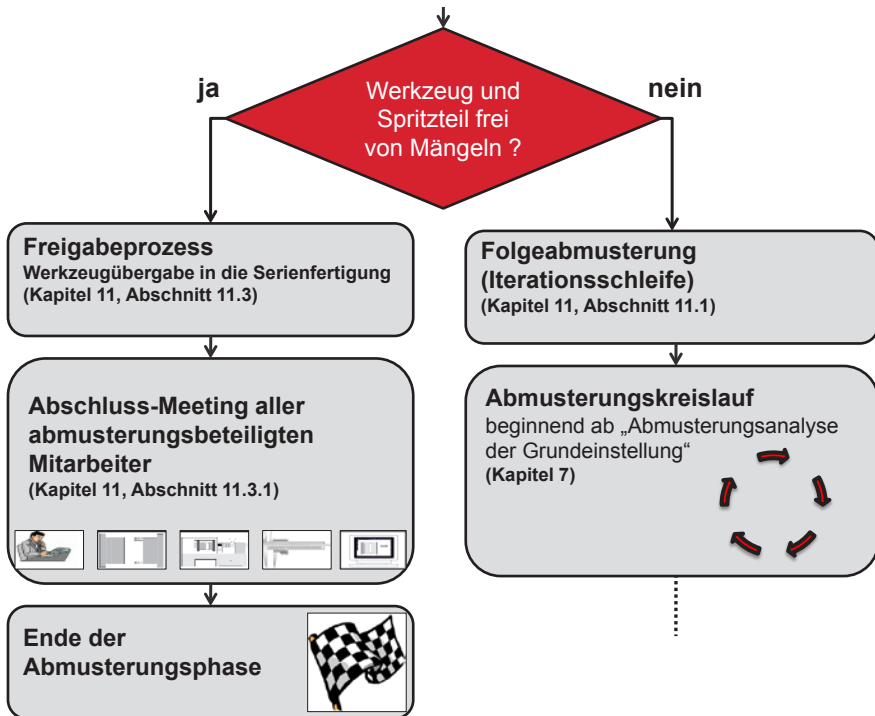


BILD 1.2 (Fortsetzung) Flussdiagramm des Abmusterungsprozesses

■ 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 Kundenreklama-

tionen, 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 und CO₂, eine entscheidende Rolle (Bild 1.3).

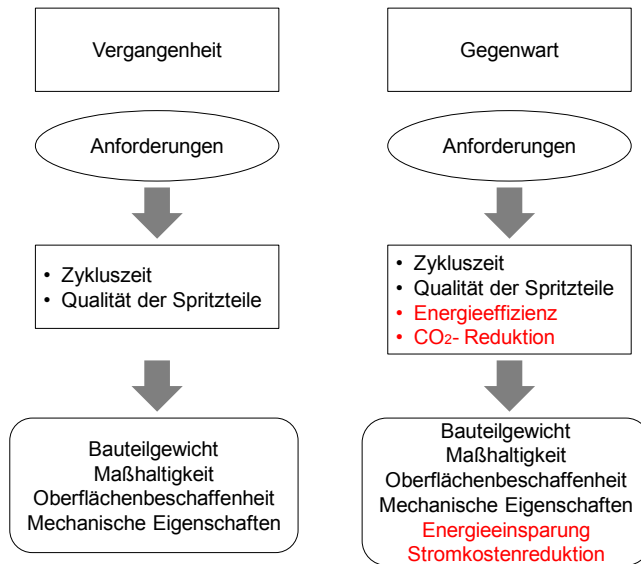


BILD 1.3 Neue Anforderungen an die kunststoffverarbeitenden Unternehmen

Im folgenden Bild 1.4 ist zu sehen, wie sich die Strompreise für Industriestrom in den letzten Jahren mehr als verdoppelt haben, dieser Trend wird sich fortsetzen.

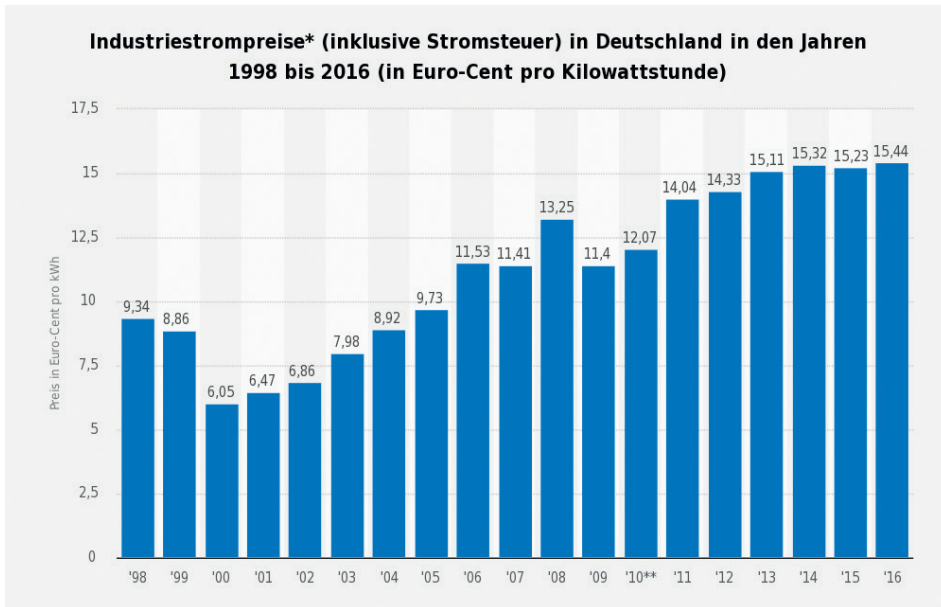


BILD 1.4 VIK-Strompreisentwicklung der Industrie in Deutschland
[Bildquelle: BDEW Bundesverband der Energie-Abnehmer, © Statista 2016]

Um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es aufgrund der steigenden Strompreise wichtig, den Strombedarf im Spritzgießprozess bei gleichbleibender Zykluszeit und Qualität zu senken. Weiter werden in naher Zukunft die großen Konzerne neben niedrigen Stückpreisen mit hoher Qualität auch auf eine optimale CO₂-Bilanz bei der Produktion der Spritzteile achten müssen.



MERKE: Ein sehr wichtiger Effekt eines energieeffizienten Spritzgießprozesses, neben den Kosten- und Wettbewerbsvorteilen, ist, dass jede gesparte Kilowattstunde (kWh) an Energie ca. 600 g an CO₂-Emissionen reduziert und somit erheblich zum Klima- und Umweltschutz beiträgt.

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.

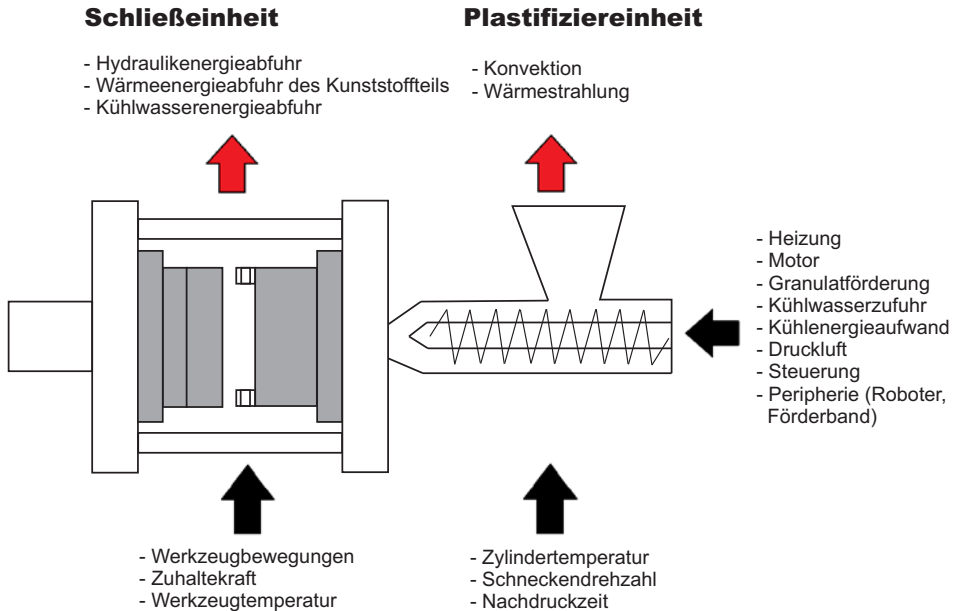


BILD 1.5 Energie- und Leistungsflüsse einer hydraulischen Spritzgießmaschine

Das 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.

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) graphisch 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. mit Hilfe einer Zylinderisolation gesenkt werden kann. Die Leistungsaufnahme der Steuerung ist konstant jedoch vernachlässigbar, da diese kein entscheidender Energieverbraucher im Spritzgießzyklus ist.

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

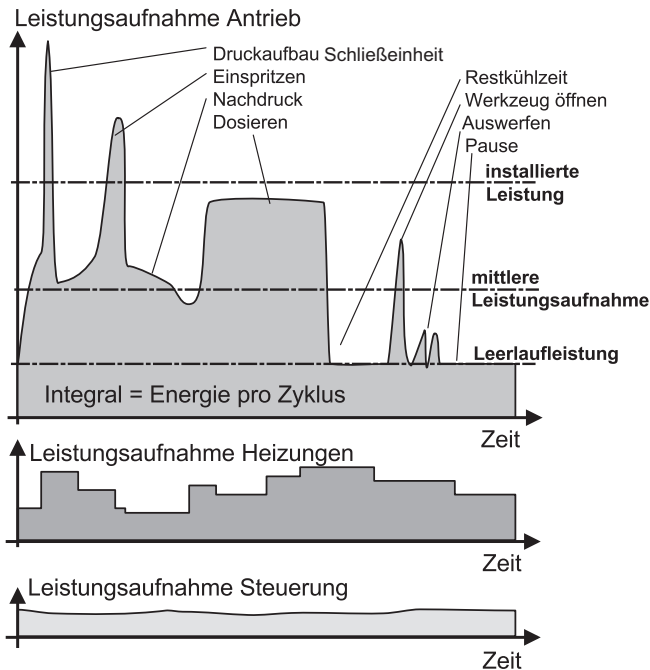


BILD 1.6 Energieverbrauch einer hydraulischen Spritzgießmaschine über den Spritzzyklus
[Bildquelle: Stitz S., Keller W.: Spritzgießtechnik, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 2004, Seite 330, Bildnummer 3.71]

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 Energierverbrauch 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 Abmattern herangezogen werden und stellen keine Fixwerte für eine spätere Produktion dar. Hier sollte die „Fachkraft für Abmattern“ 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 Zuhaltkraft

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

1.4.3.2 Werkzeugbewegungen

Betrachten wir die Werkzeugbewegungen neben den zu hohen Zuhaltkräften, 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 Abmattern“ 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 Abmattern

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 Abmatternungsphase 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 Abmatternungsprozess bewusst sein. Das Ziel einer jeden Abmatternung 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.

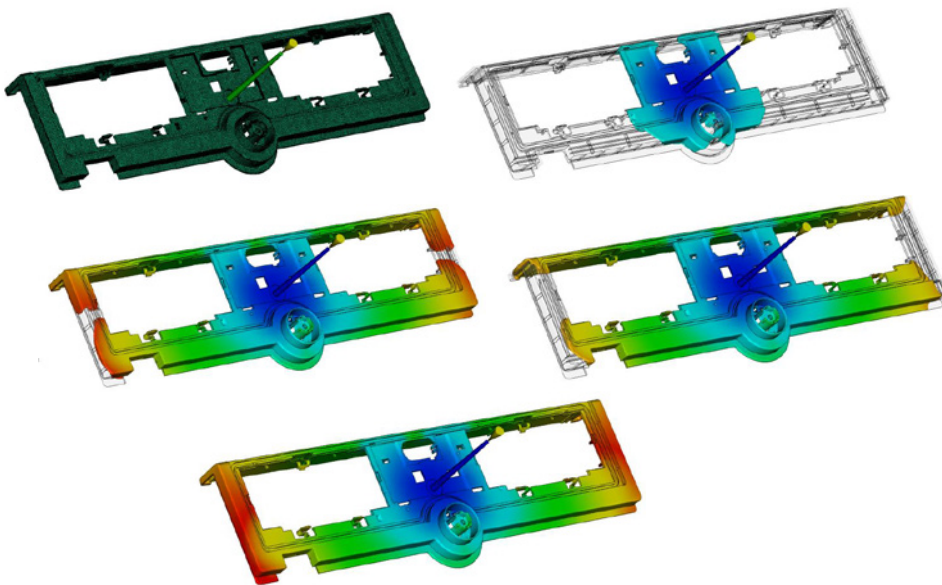


BILD 1.7 Spritzgieß-Simulation mit FEM-Programmen

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 gewonnen 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.

12

Die moderne Abmusterung im Zeitalter von Industrie 4.0

Im letzten Kapitel meines Fachbuches möchte ich Ihnen aufzeigen, wie Sie eine strukturierte und systematische Vorgehensweise einer Werkzeugabmusterung effizient in Ihrem Unternehmen digitalisiert umsetzen bzw. integrieren können.

Hierzu möchte ich Ihnen die eigens entwickelte und weltweit erste Software für Werkzeugabmusterungen und Prozessoptimierungen näher vorstellen, den *IMG - Injection Molding Guide (IMG)*.

Zunächst jedoch begeben wir uns kurz in die Welt der Digitalisierung und Industrie 4.0 sowie weiter zu Notwendigkeiten und den zukünftigen Trends in der Spritzgießtechnik.



BILD 12.1 Digitale Abmusterung

■ 12.1 Digitalisierung und Industrie 4.0



HINTERGRUNDWISSEN:

Was bedeutet Digitalisierung?

Der Begriff *Digitalisierung* bezeichnet im Allgemeinen die Veränderungen von Prozessen, Objekten und Ereignissen bzw. das Umwandeln von analogen Werten in digitale Formate, welche bei einer zunehmenden Nutzung von digitalen Geräten erfolgt.

Im Falle unserer Werkzeugabmusterungen bedeutet dies, eine digitale Umwandlung und Darstellung von Information und Kommunikation in digitaler Form zu speichern, zu verteilen oder zu verarbeiten.

Die Erstellung, Speicherung, Verteilung und Verarbeitung der digitalen Daten erfolgt mithilfe moderner Informationstechnik wie Computern, Smartphones, Kommunikationsnetze, Internetanwendungen und Datenbanken. Die besonderen Vorteile in digitalen Formaten zu arbeiten sind, diese sind wesentlich flexibler und können schneller Informationen verarbeiten als analoge Systeme. Gerade im Bereich Werkzeugabmusterung fördert dies die so notwendige Kommunikation unter den einzelnen Fachabteilungen.

Was bedeutet Industrie 4.0?

Die Idee Mensch, Maschinen und Produkte direkt miteinander zu vernetzen. Hier kommunizieren z. B. Schrauben mit den Montagerobotern oder selbst fahrende Gabelstapler lagern in Hochregale ein. Weiter können intelligente Maschinen selbständig Fertigungsprozesse koordinieren.

Gerade beim Werkzeugabmusterungsprozess sind viele Fachabteilungen oder externe Unternehmen involviert, die Schritt für Schritt bei der Entstehung eines Formteils bzw. Spritzgießprozesses ihren Teil beitragen. *Digital vernetzt* können diese Schritte besser abgestimmt und die notwendigen Maßnahmen besser geplant und durchgeführt werden.

Einsatz von Daten: zum Ablauf der Produktion und zum Zustand eines Formteils, Spritzgießwerkzeugs oder Prozesses werden Daten zusammengeführt und können ausgewertet werden. Die gemeinsame Datennutzung bzw. Datenanalyse der Fachabteilungen geben Hinweise wie ein Produkt effizienter hergestellt werden kann. Industrie 4.0 umzusetzen ist ein komplexes Vorhaben. Je mehr Abläufe digitalisiert und vernetzt werden, desto mehr Schnittstellen entstehen zwischen verschiedenen Akteuren. Einheitliche Normen und Standards für kunststoffverarbeitende Unternehmen, IT-Sicherheit und Datenschutz spielen dabei eine ebenso zentrale Rolle wie der gesetzliche Rahmen, die Veränderung der Bildung und Arbeit, die Entwicklung neuer Geschäftsmodellen sowie die notwendige Forschung.

■ 12.2 Warum den Abmusterungsprozess digitalisieren?

Während auf der einen Seite die Komplexität der Kunststoffbauteile stetig zunimmt, werden auf der anderen Seite die Projektphasen von der Idee bis zur Serienfertigung immer kürzer. Kunststoffverarbeitende Unternehmen müssen sich dieser Herausforderung tagtäglich neu stellen.

Eine wichtige Rolle für den späteren Erfolg der Serienproduktion spielt hierbei die standardisierte Werkzeugabmusterung, ein komplexer Prozess, an dem unterschiedliche Fachabteilungen im Unternehmen mitwirken. Alle Beteiligten müssen dabei zum richtigen Zeitpunkt Hand in Hand arbeiten, um den Abmusterungsprozess effektiv zu steuern. Diese Aufgabe bereitet vielen Unternehmen neben immer kürzeren Projektphasen fachliche und logistische Probleme.



HINWEIS: Die meisten Abmusterungen werden immer noch als loses Blattwerk oder als unübersichtliche Excel-Lösungen geführt!

Die Grundproblematik ist sehr häufig, dass Unternehmen ihre Werkzeugabmusterungen nicht standardisiert und digitalisiert durchführen. Dies führt dazu, dass der Datenaustausch, die Kommunikation und Dokumentation vor, während und nach der Abmusterung stark negativ eingeschränkt werden.

Auch liegt bereits in der optimalen Vorbereitung einer Abmusterung schon das Problem, dass hier aus verschiedensten Ordnerstrukturen Daten entnommen bzw. zusammengetragen werden müssen wie z.B. Daten zum Werkzeug, Kunststoff oder zur Spritzgießmaschine. Weiter liegen wichtige Informationen wie der Werkzeugtemperierplan oder Daten zum Heißkanalsystem zu Beginn der Abmusterung an der Maschine nur als loses Blattwerk oder meist gar nicht vor. Es fehlt schlichtweg ein System, das alle Informationen komplett über die Projektlaufzeit eines Formteils beinhaltet.

12.2.1 Intention der Abmusterungssoftware IMG

Die Erfahrung aus vielen Jahren standardisierter Abmusterungsprozesse in Unternehmen einzuführen zeigt immer mehr computergestützte Einführung von Systemen wie SAP, ERP/PDM oder Maschinen- bzw. Produktionsleitständen. Dabei wird leider um den wichtigsten Prozess eines Spritzgießunternehmens, die Werkzeugabmusterung, sehr viel herum gebaut aber dieser wird nicht direkt angegangen. Dieses Phänomen führt bei modernen Unternehmen weiterhin für nicht optimal durchgeführte Abmusterungsprozesse und stört die Effizienz, gezielte Maßnahmenfestlegung sowie die Kommunikation unter den Fachabteilungen.

Stichwortverzeichnis

A

Abmusterungsanalyse 160
– Ablauf 160
Abmusterungscheckliste XV
Abmusterungsfachkräfte XX
Abmusterungskreislauf 249
Abmusterungsprozess 2
Abmusterungsunterlagen 19
Abmusterung von Heißkanalwerkzeugen
24
Allgemeine Informationsbeschaffung 15
amorphe Thermoplaste 44
Art der Umschaltung 108
– hydraulikdruckabhängige 109
– weg- bzw. volumenabhängig 109
– werkzeuginnendruckabhängig 110
– zeitabhängig 109
Auswerferweg 33

B

Brainstorming 237

D

Datentransfer 257
Design of Experiments (DoE) 177
Digitalisierung 254
Dokumentation 224
Durchflussmenge 152
Düsenabdruck 97
Düsenanlagenkraft 96
Düsenanlagepunkt 95

E

Ein-Faktor-Methode 176
Einspritzdruck 81
Einspritzgeschwindigkeit 82
Einspritzgeschwindigkeitsprofil 86
Einspritzvorgang 81
Einspritzzeit 88
Energieeffizienz 6
Energieeinsparpotenziale 12
Energie monitoring 200
Energie- und Leistungsflüsse im
Spritzgießprozess 7
Entformungstemperatur 90
Enthalpie 152

F

Faktorielle Versuchsplanung 177
faserverstärkte Kunststoffe 64
Flanschttemperatur 65
Folgeabmusterung (Iterationsschleife)
245
Freigabeprozess 250
Frikionswärme 72
Füllstudie 104
– Erkenntnisse 104

G

Geschwindigkeitsprofil 32
– Werkzeug öffnen 32
– Werkzeug schließen 36

H

Hebekran 22
 Heißkanalauflaufphase 25

I

IMG-Injection Molding Guide 257
 Industrie 4.0 253
 Informationsblatt für Abmusterungen
 18
 Injection Molding Doctor® (IMD) 266

K

Kernzüge 34
 Kühlzeit 89
 – Näherungsformel 92
 – Simulationstechnik 92
 Kunststoffschmelze 98
 Kurz-Meeting (Ideenkonferenz) 233,
 235

M

Maschineneinstelldatenblatt 224
 Maschinenfähigkeit 133
 Massepolster 69
 Maßhaltigkeit 158
 Maßnahmenfestlegung 243
 Materialdatenblatt 81
 Materialdurchsätze 64
 Mindmap 239
 Mustervorbereitung 18

N

Nachdruck 111
 Nachdruckhöhe 113
 Nachdruckprofil 117
 Nachdruckzeit 114

O

Optimierung der Grundeinstellung 173f.

P

Plastifiziergeschwindigkeit 74
 Plastifizierhub 68f.
 Plastifiziervolumen 69, 72
 Plastifiziervorgang 68
 Plastifizierweg 68
 Produktivität 195
 Prozessfähigkeitsanalyse 210
 Prozess-Run@Rate 216
 Prozesssicherheit 211

R

Restmassepolster 69

S

Scher- und Dehnbeanspruchung 85
 Schmelzekristallinität 65
 Schmelzetemperatur 60, 98
 Schneckendekompression 72, 80
 Schneckenstaudruck 75
 – Funktion 75
 Schneckenumfangsgeschwindigkeit 72
 Schubmodul-Temperaturkurve 90
 Schussvolumen 69
 Siegelpunkt 114
 spezifischer Energieverbrauch 12,
 204
 Spritzgießprozess 130
 – Aufbau 131
 – Einflussfaktoren 132
 – Energieeffizienz 194
 – Produktivität 194
 Spritzgießsimulation 16
 Spritzgießwerkzeug 51
 – Durchflussmenge 51
 – Temperaturverteilung 41
 Spritzversuche 179
 Spritzzyklus 196
 statistische Versuchsplanung 177

T

- Thermisches Verhalten 58
 - amorphe Thermoplaste 58
 - teilkristalline Thermoplaste 44, 58
- Thermografie 145
 - Emissionsgrad 148
 - Heißkanalsystem 151
 - Reflexionsgrad 148
 - Spritzgießwerkzeug 150
 - Spritzteil 150
 - Transmissionsgrad 148
- Tuschierung 158

U

- Umschaltpunkt 107
- Ursache-Wirkungsdiagramm 164

V

- Verweilzeit 155
- Vicat-Erweichungstemperatur 91
- Viskosität 84
- volumetrische Spritzteillfüllung 107

W

- Wärmemenge 152
- Wasseranschlussplan 29
- Werkzeugabmusterungsbericht 229
- Werkzeugeinbau 26
- Werkzeugeinbauhöhe 27
- Werkzeuginnendruck 138
- Werkzeuginnendruckkurve 138
- Werkzeugkühlplan 28
- Werkzeugmaße 23
- Werkzeugöffnungsgeschwindigkeit 33
- Werkzeugöffnungsweg 31
- Werkzeugsicherung 34
 - Funktionsüberprüfung 37
 - Kraft 38
 - Weg 35
 - Zeit 35
- Werkzeugtemperierung 41
- Werkzeugzuhaltkraft 38
 - Optimierung 122
- Wirtschaftlichkeit 194

Z

- Ziele der Abmusterung 1
- Zuhaltkraft 120
- Zylindertemperatur 56
 - Profil 58