



**Biesterfeld**

*Biesterfeld Interowa GmbH & Co KG*

# Konstruktion & Verarbeitung von Kunststoffen

**Your  
Polymercoach!**



# Wir haben den optimalen Kunststoff für Ihre Anwendung!

## HOCHLEISTUNGS- KUNSTSTOFFE

PPSU  
PES  
PEI  
PSU

PI  
TPI  
PEEK  
PFA  
FEP  
ETFE  
PPS  
PA 46  
HTN  
PPA

## TECHNISCHE KUNSTSTOFFE

PPO  
PC  
PC/ABS  
PC/ASA  
PMMA  
PETG  
PCTG

TPC-ET  
TPU  
TPE-V  
PP/EPDM  
MPR

SPS  
PET  
PBT  
PPA  
PA 6, PA 66  
PA 6.66  
PA 6.10  
PA 6.12  
PA 10.10  
POM  
IONOMER  
PTT

## STANDARD KUNSTSTOFFE

ABS  
TR-ABS  
ASA  
SMMA  
S/B Copo  
SBS  
SAN  
GPPS  
HIPS

EVA  
EMA  
EMAA  
EEA  
EBA  
POE  
PBE

PP  
PP COMPOUNDS  
LDPE  
LLDPE  
HDPE

amorphous

FLEXIBLE  
KUNSTSTOFFE

semi-cristalline





# Konstruieren mit Kunststoffen

## Top in Form – 10 Konstruktions Tipps

1. Werkstoffe im Vergleich: Kunststoff ist kein Metall .....	Seite	6
2. Materialauswahl: Die richtige Wahl .....	Seite	9
3. Wanddicken: Soviel wie nötig – so wenig wie möglich .....	Seite	14
4. Verrippungen: Das optimale «Gerippe» .....	Seite	17
5. Angußpositionierung: Der beste Einstieg .....	Seite	20
6. Kostengünstige Konstruktionen .....	Seite	24
7. Verbindungstechnik allgemein: Ideale Verbindungen I .....	Seite	28
8. Verbindungstechnik Schweißen: Ideale Verbindungen II .....	Seite	31
9. Toleranzen: Die heimlichen Preistreiber .....	Seite	35
10. Checkliste: Auf den Punkt gebracht .....	Seite	38

# Verarbeitung von Kunststoffen

## Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

1. Folge: feuchtes Granulat .....	Seite	44
2. Folge: zu kleiner Anguss / Anschnitt .....	Seite	47
3. Folge: falsche Anschnittlage .....	Seite	50
4. Folge: zu kurze Nachdruckzeit .....	Seite	53
5. Folge: falsche Schmelztemperatur .....	Seite	56
6. Folge: Ungünstige Werkzeugtemperatur .....	Seite	59
7. Folge: Oberflächendefekte .....	Seite	62
8. Folge: Schwierigkeiten mit Heißkanälen .....	Seite	65
9. Folge: Verzug .....	Seite	68
10. Folge: Formbelag .....	Seite	71
Notizen .....	Seite	74







**Biesterfeld**

*Biesterfeld Interowa GmbH & Co KG*

# Top in Form - 10 Konstruktions Tipps

*Autoren: Jürgen Hasenauer,  
Dieter Küper und Jost E. Laumeyer*

**Your  
Polymercoach!**



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## 1. Werkstoffe im Vergleich

1. Materialauswahl
2. Wanddicken
3. Verrippungen
4. Angußpositionierung

6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

## 1. Werkstoffe im Vergleich

# Kunststoff ist kein Metall

**Werkstoffe im Vergleich** – Viele Kunststoffkonstruktionen werden heute immer noch von «Metallteilen» abgeleitet. Was bei den Kunststoffen im Vergleich zu den klassischen Konstruktionswerkstoffen zu beachten ist, beschreiben die Autoren in der hier beginnenden Serie.

## Unterschiedliche Materialgrundkennwerte

Die Werkstoffgruppe der Kunststoffe hat eine Variationsbreite, die allen anderen Konstruktionswerkstoffen weit überlegen ist. Durch die Zugabe von Füll- und Verstärkungsstoffen oder Modifikatoren kann das Eigenschaftsbild fast eines jeden Grundpolymers extrem verbreitert werden. Die meisten Grundeigenschaften der Kunststoffe bilden jedoch einen ausgesprochenen

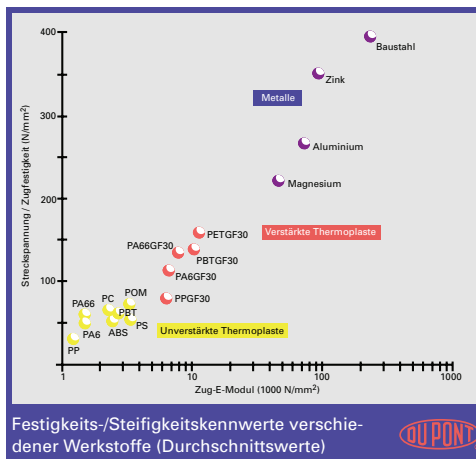


Bild 1

um Größenordnungen höher sind (vgl. z.B. Bild 1). Um funktionsfähige und kostengünstige Formteile aus Kunststoff erhalten zu können, ist daher bei der Werkstoffsubstitution Metall-Kunststoff generell eine Umkonstruktion notwendig. Dies bietet zudem die Möglichkeit einer vollkommenen Überarbeitung des Bauteils mit möglichen Funktionsintegrationen und Geometrievereinfachungen.

- Kontrast zu denen der Metalle. So sind die
- Dichte
  - maximale Gebrauchstemperatur
  - Steifigkeit-Festigkeit
  - Wärmeleitfähigkeit
  - elektrische Leitfähigkeit

bei den metallischen Werkstoffen im direkten Vergleich höher, während bei den technischen Thermoplasten die

- mechanische Dämpfung
- Wärmeausdehnung
- Reißdehnung
- Zähigkeit

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

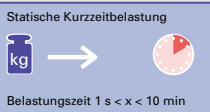

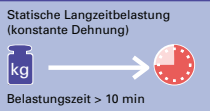

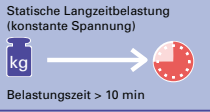

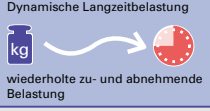
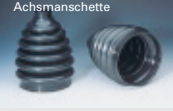
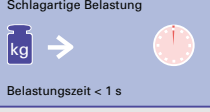

Belastungsart	Anwendungsbeispiel	Auswirkungen auf Verformungsverhalten	Berechnungskenngrößen
<b>Statische Kurzzeitbelastung</b>  Belastungszeit $1\text{ s} < x < 10\text{ min}$	<b>Schnapphaken</b> 	Belastbarkeit bis zur Grundfestigkeit	Spannungs-Dehnungs-Diagramm Verwendung des Sekantenmoduls
<b>Statische Langzeitbelastung (konstante Dehnung)</b>  Belastungszeit $> 10\text{ min}$	<b>Umgebung von Metallinserts</b> 	Zeitliche Abnahme der Anfangsspannung (Relaxation)	Zeitstandfestigkeits-Diagramm Verwendung des Relaxationsmoduls
<b>Statische Langzeitbelastung (konstante Spannung)</b>  Belastungszeit $> 10\text{ min}$	<b>Rohre unter Innendruck</b> 	Zeitliche Zunahme der Anfangsdehnung (Kriechen)	Zeitstandfestigkeits-Diagramm Verwendung des Kriechmoduls
<b>Dynamische Langzeitbelastung</b>  wiederholte zu- und abnehmende Belastung	<b>Achsmanschette</b> 	Deutliche Reduzierung der ertragbaren Dehnungen und Spannungen	Wöhler-Kurve Beachtung des Belastungsbereiches (z.B. Zug-Druck-Wechselbereich/ Zug-Schwellbereich)
<b>Schlagartige Belastung</b>  Belastungszeit $< 1\text{ s}$	<b>Airbagabdeckung</b> 	Gummielastische Werkstoffe zeigen zähes bis sprödes Verformungsverhalten	Rechnerische Abschätzung nur sehr eingeschränkt möglich (Praxisuntersuchungen notwendig)

Bild 2

## Unterschiedliches Materialverhalten

Kunststoffe zeigen im Vergleich zu den metallischen Werkstoffen unter gleichen Einsatzbedingungen ein zum Teil völlig andersartiges Materialverhalten. So kann ein funktionsgerechtes und kostengünstiges Metallformteil durch eine vorschnelle Kunststoffsubstitution leicht zu einem Mißerfolg werden. Der Kunststoffkonstrukteur muß daher um so mehr mit den Besonderheiten der Materialeigenschaften dieser Werkstoffgruppe vertraut sein.

## Temperatur- und Zeitabhängigkeit der Verformungskennwerte

Je näher die Einsatztemperatur eines Werkstoffes bei der Schmelztemperatur liegt, um so deutlicher wird das Verformungsverhalten eines jeden Materials temperatur- und zeitabhängig. Bei den meisten Kunststoffen zeigt sich bereits bei Raumtemperatur oder einer kurzzeitigen Beanspruchung eine Veränderung des mechanischen Grundniveaus. Dagegen weisen die Metalle meist bis in die Nähe der Rekristallisationstemperatur ( $>300^\circ\text{C}$ ) ein weitgehend unverändertes mechanisches Verhalten auf. Wird die Einsatztemperatur oder die Verformungsgeschwindigkeit ausreichend weit variiert, so kann sich das Verformungsverhalten technischer Thermoplaste von hart-spröde bis gummielastisch verändern. Eine Airbagabdeckung zeigt z. B. bei gleicher Materialwahl im Einsatzfall (explosionsartiges Aufreißen und Aufbiegen) ein vollkommen anderes Verformungsverhalten als ein langsam gefügtes Schnapphakenelement (Bild 2). Ebenso ist dieses Schnapphakenelement unter warmen Temperaturbedingungen in anderer Weise zu fügen als in der Kälte. Der Einfluß der Temperatur ist dabei bedeutend größer als der Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit.

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Einflußfaktoren auf die Bauteileigenschaften

Kunststoffkennwerte sind keine reinen Materialkennwerte. Das Grundeigenschaftsniveau eines Kunststoffbauteils kann durch verschiedene Einflußfaktoren (z.B. UV-Strahlung siehe Bild 3) bis zu einer Gebrauchsunfähigkeit hin verändert werden. So kann ein gutdurchdachtes Formteildesign durch eine nicht werkstoffgerechte Verarbeitung leicht zu einer Fehlkonstruktion werden. Ebenso kann der Verarbeiter die Fehler einer falschen Formteilauslegung nicht mehr umfassend im Verarbeitungsprozeß beseitigen. Erst eine Optimierung unter Berücksichtigung aller möglichen Einflußfaktoren (Bild 4) garantiert ein gutes Kunststoffbauteil.

Da Kunststoffe im Vergleich zu den metallischen Werkstoffen eine fehlerhafte Auslegung weniger verzeihen, muß bei der Gestaltung von Bauteilen im höheren Maße werkstoffgerecht gedacht werden. Am Beginn eines jeden Konstruktionsprozesses muß deshalb die genaue Analyse aller Anforderungen und Randbedingungen stehen.



Bild 3

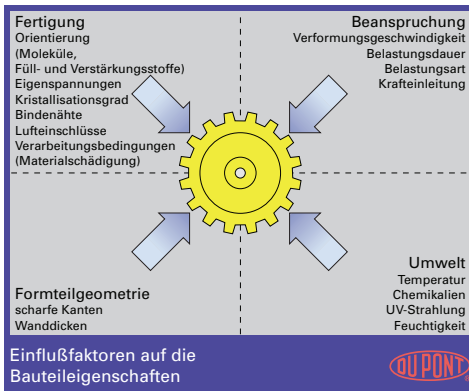


Bild 4



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. **Materialauswahl**
3. Wanddicken
4. Verrippungen
5. Angußpositionierung
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

## 2. Materialauswahl

# Die richtige Wahl

**Materialauswahl** – Es gibt kein schlechtes Material, wohl aber für die spezielle Anwendung den falschen Werkstoff. Es ist daher für den Konstrukteur unumgänglich, die Eigenschaften der in Frage kommenden Werkstoffe zu kennen und alle auf das Spritzgießteil einwirkenden Einflüsse genauestens zu prüfen.

### Gebräuchliche Thermoplaste

Die in der Spritzgießtechnik am häufigsten eingesetzten Materialien sind Thermoplaste, die in amorphe und teilkristalline Kunststoffe eingeteilt sind (Bild 1).

Sie unterscheiden sich durch ihren molekularen Aufbau und in all den Eigenschaften, die durch die Kristallisation beeinflusst werden (Bild 2).

Generell kann man sagen, daß teilkristalline Thermoplaste aufgrund der höheren Festigkeitswerte vorwiegend in mechanisch anspruchsvolle Bauteile eingesetzt werden, während amorphe Thermoplaste durch ihre geringere Verzugsneigung sehr oft in Gehäusekonstruktionen Verwendung finden.

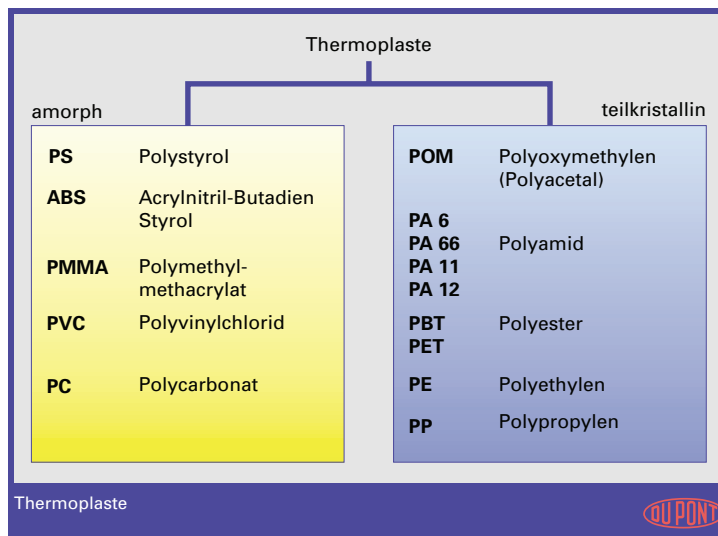


Bild 1

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Füll- und Verstärkungsstoffe

Thermoplaste werden unverstärkt, glasfaserverstärkt, mineral- und glaskugelgefüllt, angeboten. Die Glasfaser z.B. dient in erster Linie der Erhöhung der Festigkeit, Steifigkeit und Einsatztemperatur, während Mineralien und Glaskugeln einen geringeren Verstärkungseffekt aufweisen und vorzugsweise verzugshemmend wirken.

Die Glasfaser hat auch Einfluß auf die Verarbeitungsparameter, besonders auf die Verarbeitungsschwindigkeit. Faserverstärkte Werkstoffe sind daher nicht gegen unverstärkte Thermoplaste oder niedrigverstärkte Werkstoffe ohne Dimensionsveränderungen austauschbar (Bild 3). Durch die Fließrichtung wird die Ausrichtung der Glasfaser bestimmt. Dies hat eine Veränderung der mechanischen Festigkeit zur Folge.

	amorph	teilkristallin
mechanische Eigenschaften	O	+
Kriechneigung	+	O
chemische Beständigkeit	-	+
Biege-Wechselfestigkeit	-	+
kritische Dehnung	0,4% – 0,8%	0,5% – 8%
Kerbempfindlichkeit	-	O
Einsatztemperatur	O	+
Schmelzbereich	Erweichungsbereich	scharfer Schmelzpkt
Schwindung	0,3% – 0,8%	1,0% – 3%

+ günstig O zufriedenstellend - ungünstig


Eigenschaftvergleich Thermoplaste 

Bild 2

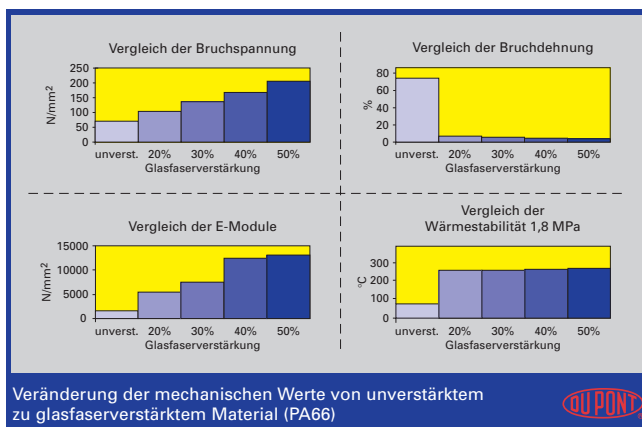


Bild 3

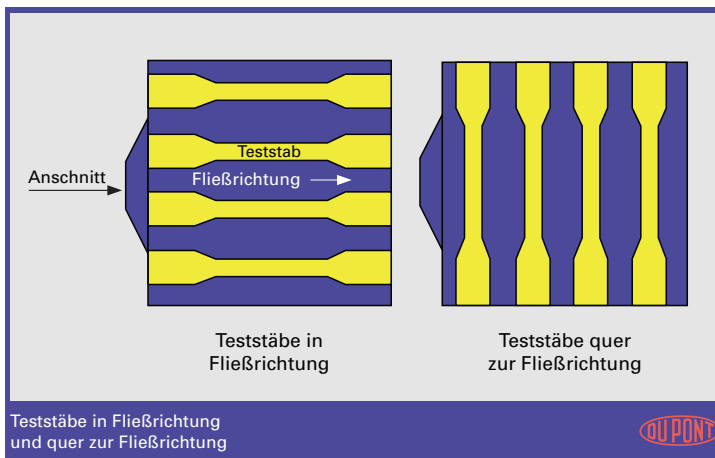
# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

Um diese Auswirkungen zu verdeutlichen, wurden Teststäbe aus spritzgegossenen Platten längs und quer zur Fließrichtung herausgefräst und ihre mechanischen Werte in einer Zugprüfmaschine miteinander verglichen (Bild 4).

Der Festigkeitsabfall quer zur Fließrichtung betrug bei PET 30% glasfaserverstärkt in der Zugfestigkeit 32%, beim Biege-E-Modul 43% und bei der Schlagzähigkeit 53%. Diese Verluste sind in der Festigkeitsbetrachtung durch Sicherheitsfaktoren zu berücksichtigen.

Zusätzlich werden Thermoplaste in großer Anzahl mit den unterschiedlichsten Zusatzstoffen versehen, um das Eigenschaftsbild zu verändern. Bei der Auswahl der Werkstoffe sind daher diese Eigenschaftsveränderungen in Broschüren oder Datenbanken (z.B. Campus) genauestens zu überprüfen oder, besser noch, ist die technische Beratung durch Spezialisten der Rohstoffhersteller anzufordern (Bild 5).



**Bild 4**

Zusatzstoff	max. Anteil in Gew.-%	E-Modul	Dehnung	Schlagzähigkeit	Dimension Stabilität	Flammwidrigkeit
Glasfasern	60	↑↑↑	↓↓↓	↓	↓	↑
Mineralien	40	↑	↓	↓	↑↑	↑
Aramidfasern	20	↑	↓	↓	↓	↑
Elastomere	15	↓	↑↑	↑↑↑	↓	↓
UV-Stabilisatoren	1	↓	↓	↓	—	—
Brandschutz organisch	20	↓	↓↓↓	↓↓↓	↑	↑↑↑
unorganisch	40	↓	↓↓↓	↓↓↓	↑	↑↑↑
Antistatika	5	↓	↓↓↓	↓↓↓	—	—

Effekte durch Zusatzstoffe

DUPONT-Logo unten rechts.

**Bild 5**

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Einfluß der Feuchtigkeit

Einige Thermoplaste, besonders PA6 und PA66, nehmen Feuchtigkeit auf. Dadurch werden die mechanischen Eigenschaften sowie die Dimensionsstabilität zum Teil erheblich beeinflusst. Dieser Eigenschaft ist bei der Werkstoffauswahl besondere Aufmerksamkeit zu schenken (Bild 6, 7).

## Weitere Auswahlkriterien

Zu den Anforderungen gehören auch verarbeitungstechnische Gesichtspunkte sowie Montagearbeiten. Zusätzlich ist zu prüfen, ob nicht mehrere Funktionen in einem Bauteil vereint werden können, die sonst nur durch teure Montagearbeiten zu realisieren sind.

Durch diese Maßnahme können die Fertigungskosten positiv beeinflusst werden. Deshalb ist bei der Preiskalkulation nicht nur der Rohstoffpreis von alleiniger Bedeutung. Außerdem sollte auch beachtet werden, daß des öfteren Materialien mit höherer Steifigkeit zu geringeren Wanddicken und somit zu kürzeren Zykluszeiten führen.

Wichtig ist, alle Kriterien zur Werkstoffwahl in einer Liste aufzuführen und zu bewerten. Ein grobes Auswahl-schema ist in Bild 8 dargestellt.

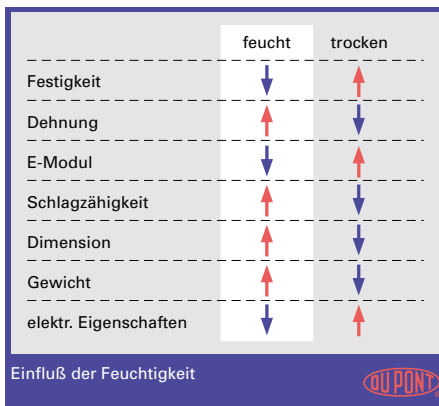


Bild 6

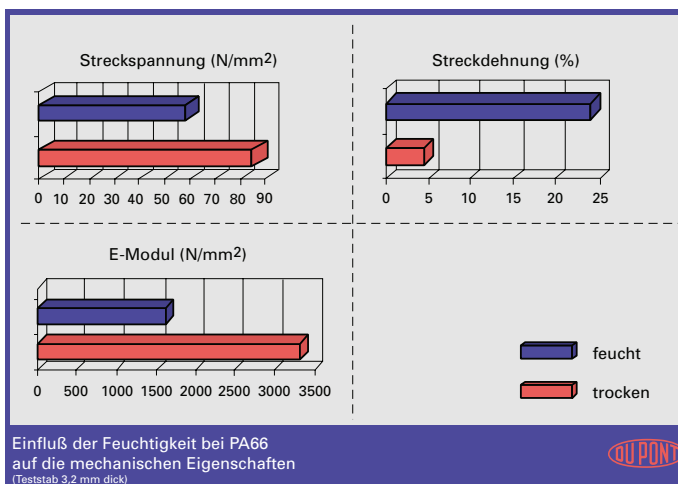


Bild 7

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

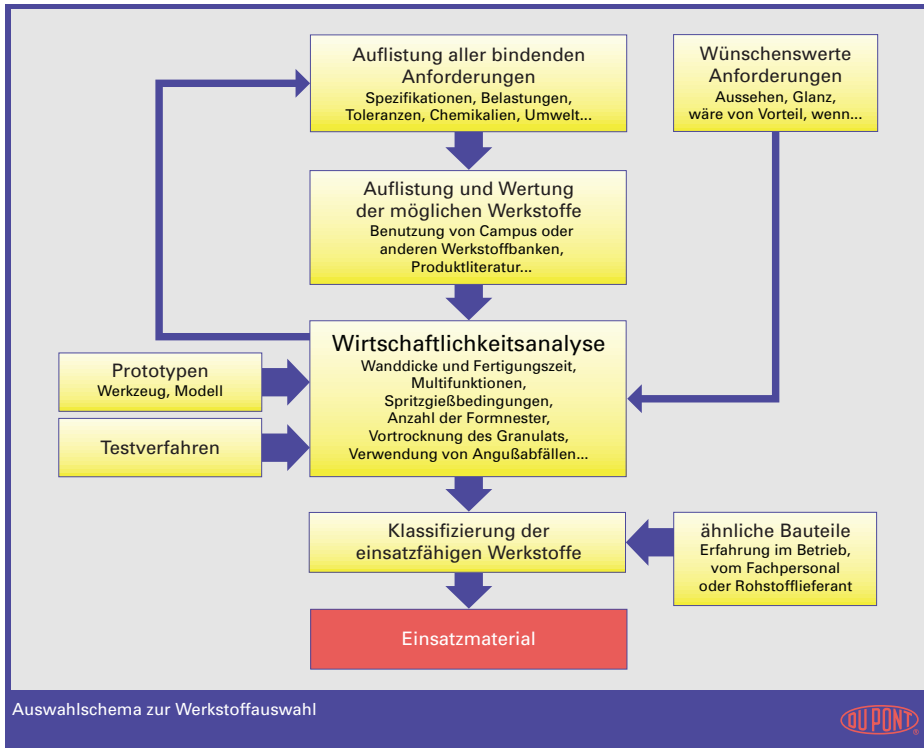


Bild 8



## TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
- 3. Wanddicken**
4. Verrippungen
5. Angußpositionierung
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

### 3. Wanddicken

# Soviel wie nötig – so wenig wie möglich

**Wanddicken** – Bei der Bauteilgestaltung mit technischen Kunststoffen bilden sich erfahrungsgemäß immer wiederkehrende Konstruktionsschwerpunkte heraus, die sich auf einfache Konstruktionsrichtlinien reduzieren lassen. Ein solcher Schwerpunkt ist die Wanddickengestaltung, die einen maßgeblichen Einfluß auf die Bauteilqualität hat.

#### Einfluß auf bestimmte Bauteilkriterien

Mit der Veränderung der Wanddicken eines Bauteils können folgende Haupteigenschaften stark beeinflusst werden:

- Bauteilgewicht
- realisierbare Fließweglängen im Werkzeug
- Zykluszeit des Bauteils in der Produktion
- Formteilsteifigkeit
- Toleranzen
- Qualität des Bauteils im Hinblick auf Oberflächenqualität, Verzug- und Lunkerbildung.

#### Fließweg/Wanddicken-Verhältnis

Schon während der ersten Überlegungen bzgl. Gestaltung und Ausführung sollte man sich die Frage stellen, ob man mit dem gewünschten Werkstoff die geforderten Wanddicken realisieren kann. Das Fließweg/Wanddicken-Verhältnis hat einen entscheidenden Einfluß auf die Füllung der Kavität im Spritzgußprozeß. Sollen bei geringen Wanddicken lange Fließwege in einem Spritzgießwerkzeug realisiert werden, kann nur mit einem Kunststoffprodukt mit verhältnismäßig geringer Schmelzviskosität (leichtfließende Schmelze) gearbeitet werden. Um einen Überblick über das Fließverhalten von Kunststoffschmelzen zu bekommen, können mittels eines speziellen Werkzeugs Fließweglängen ermittelt werden (Bild 1-2).

#### Biege-E-Modul in Abhängigkeit der Wanddicke

Die Biegesteifigkeit einer ebenen Platte wird zum einen vom werkstoffspezifischen E-Modul und zum anderen vom Flächenträgheitsmoment des Plattenquerschnitts bestimmt. Die sorglose Erhöhung der Wanddicke zur Versteifung von Kunststoffbauteilen führt bei teilkristallinen Werkstoffen sehr oft zu erheblichen Problemen. Werden glasfaserverstärkte Werkstoffe eingesetzt, wird bei Wanddickenveränderungen auch die Ausrichtung der Glasfasern beeinflusst.



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

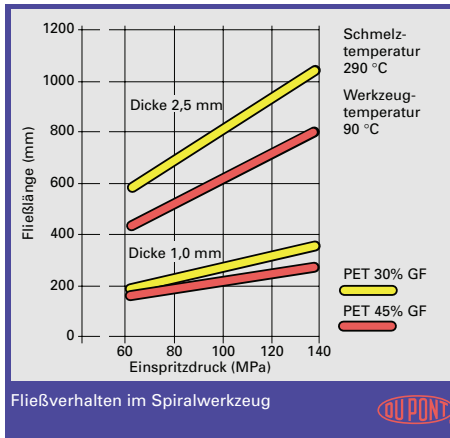


Bild 1

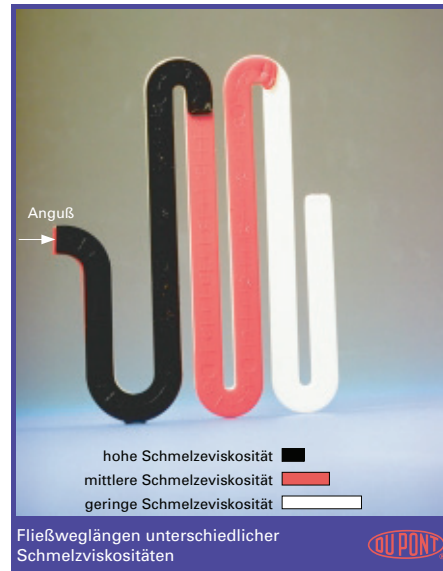


Bild 2

Nahe der Werkzeugwand richten sich die Fasern in Fließrichtung aus. Dagegen liegt in der Mitte des Wandquerschnittes, hervorgerufen durch Strömungsverwirbelung, eine zufällige Faserausrichtung vor. Durch Anhebung der Wanddicke wird hauptsächlich der Querschnittsbereich der verwirbelten Glasfasern vergrößert. Dagegen bleibt die Dicke der Zone der in Fließrichtung orientierten Fasern weitestgehend erhalten (Bild 3).

Dieser Randbereich, der maßgeblich bei glasfaserverstärkten Kunststoffen die Bauteilsteifigkeit bestimmt, wird somit anteilmäßig über den Wandquerschnitt reduziert. Dieses begründet das Absinken des Biege-E-Moduls (Bild 4) bei Erhöhung der Wanddicke. Die Festigkeitswerte, die an genormten Prüfstäben (3,2 mm Dicke) ermittelt wurden, sind daher nicht unmittelbar auf davon abweichende Wanddicken anwendbar. Es müssen zur rechnerischen Abschätzung des Bauteilverhaltens unbedingt Sicherheitsbeiwerte hinzugezogen werden.

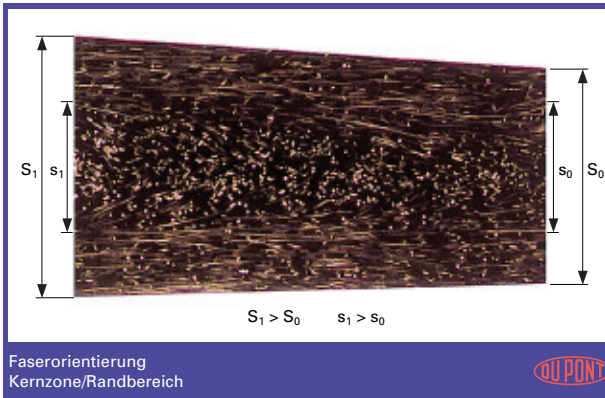
Durch eine gedankenlose Erhöhung der Wanddicke werden somit die Material- und Fertigungskosten erhöht, ohne eine signifikante Steigerung der Steifigkeit zu erreichen.

## Steigerung der Wanddicke?

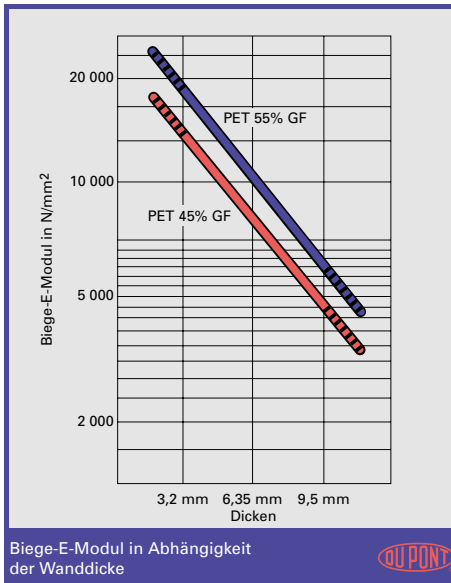
Mit einer Anhebung der Wanddicke werden nicht nur die mechanischen Eigenschaften sondern auch die Qualität des Fertigprodukts maßgeblich bestimmt. Bei der Konstruktion von Kunststoffbauteilen ist eine einheitliche Wanddicke anzustreben. Unterschiedliche Wanddicken verursachen unterschiedliche Schwindungen, die je nach Bauteilsteifigkeit zu großen Verzugs- und Maßhaltigkeitsproblemen führen können (Bild 6). Um einheitliche Wanddicken zu erreichen, sollten dickwandige Formteilebereiche ausgekernt werden (Bild 5). Somit kann man erreichen, daß die Gefahr der Lunkerbildung verhindert wird und die inneren Spannungen herabgesetzt werden. Des weiteren wird die Verzugseignung minimiert. Lunker und Mikroporosität im Bauteil reduzieren drastisch die mechanischen Eigenschaften durch Querschnittsverringerung, hohe innere Spannungen und zum Teil durch Kerbwirkungen.

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONS TIPS

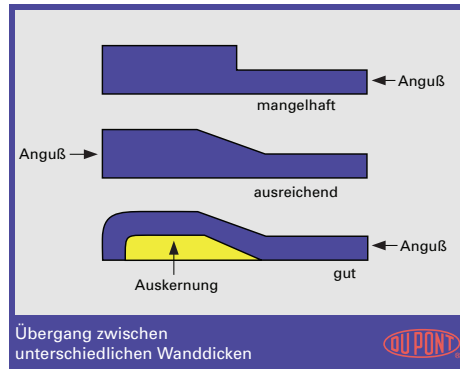
von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer



**Bild 3**



**Bild 4**



**Bild 5**



**Bild 6**



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
3. Wanddicken
4. **Verrippungen**
5. Angußpositionierung
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

## 4. Verrippungen

# Das optimale «Gerippe»

**Verrippungen** – Um den Problemen, die durch große Wanddicken entstehen können, aus dem Wege zu gehen, bietet die Verrippung bei gleichzeitiger Verringerung der Wanddicke das geeignete Mittel zur Steifigkeitserhöhung.

Generell kann eine Steifigkeitserhöhung am Bauteil durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Wanddickenanhebung
- Anhebung des E-Moduls (z.B. Anhebung des Faseranteils)
- Einbringung einer Rippenkonstruktion.

Sollte in einer Konstruktion die geforderte Steifigkeit nicht ausreichen, so empfiehlt es sich, im nächsten Schritt mit einem Material zu arbeiten, welches einen höheren E-Modul als der Ausgangswerkstoff aufweist. Eine Steigerung des E-Moduls ist sehr einfach durch die Anhebung des Faseranteils in einem Polymer zu erreichen. Diese Maßnahme hat bei gleichbleibender Wanddicke allerdings nur einen linearen Anstieg der Steifigkeit zur Folge.

Wesentlich effizienter ist die Versteifung durch eine optimal ausgelegte Rippenkonstruktion. Die Verbesserung der Bauteilsteifigkeit durch eine Verrippung wird durch die Vergrößerung des Flächenträgheitsmomentes begründet.

Generell beinhaltet die optimale Rippendimensionierung produktionstechnische, ästhetische und konstruktive Gesichtspunkte.

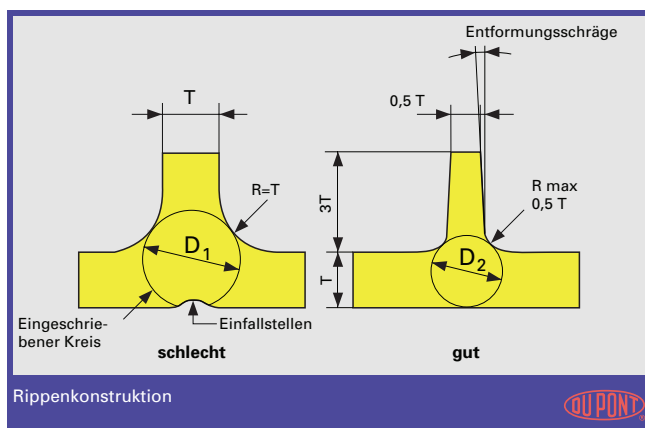


Bild 1

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Optimale Rippendimensionierung

Bei einer Verrippung läßt sich ein grosses Flächenträgheitsmoment am einfachsten durch hohe und dicke Rippen erreichen. Diese Vorgehensweise führt jedoch bei technischen Thermoplasten in den meisten Fällen zu großen Problemen. Diese zeigen sich z.B. in der Gestalt von Einfallstellen, Lunkern und Verzug. Desweiteren besteht bei zu hohen Rippen die Gefahr, daß es bei Belastungen zum Ausbeulen der Rippenstruktur kommt. Aus diesem Grund ist es unumgänglich, eine angemessene Dimensionierung der Rippenkontur einzuhalten (Bild 1).

Um ein einfaches Entformen des verrippten Bauteils zu gewährleisten, müssen unbedingt Entformungsschrägen vorgesehen werden (Bild 2).

## Das Maß für Masseanhäufungen

Bei Bauteilen, die eine sehr gute Oberfläche aufweisen müssen, wie z.B. Radkappen, kommt der Rippendimensionierung eine große Bedeutung zu. Durch die richtige Gestaltung der Rippen läßt sich effizient die Neigung zu Einfallstellen und somit die Qualität des Formteils positiv beeinflussen.

Die Masseanhäufung im Rippenfuß wird durch den «Eingeschriebenen Kreis», definiert. Die dargestellten Dimensionierungen (Bild 1) helfen, dieses Maß gering zu halten, um Einfallstellen zu vermeiden bzw. zu verringern.

Wird der «Eingeschriebene Kreis» dagegen zu groß gewählt, kann es in diesem Bereich der Masseanhäufung zur Lunkerbildung kommen. Dieses führt dazu, daß die mechanischen Eigenschaften drastisch herabgesetzt werden.

	Flache Konizität (weniger als 25 mm tief)	Tiefe Konizität (mehr als 25 mm tief)
POM	0 – 1/4°	1/2°
PA (unverstärkt)	0 – 1/8°	1/4° – 1/2°
PA (GF)	0 – 1/2°	1/4° – 1°
PET / PBT (GF)	1/2°	1/2° – 1°

Entformungsschrägen




Bild 2

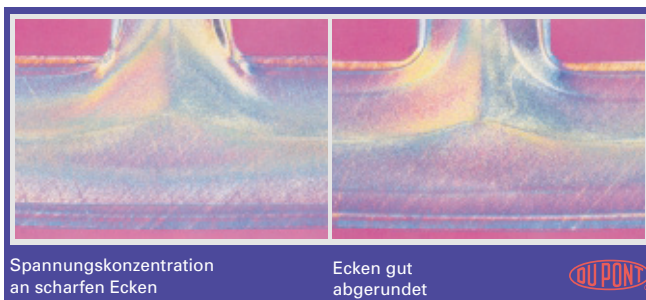


Bild 3

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Spannungsabbau am Rippenfuß

Wird ein verripptes Formteil z.B. durch aufgebrachte Kräfte belastet, können sich Spannungen am Rippenfuß ergeben. Sieht man in diesem Formteilbereich keine Radien vor, so bauen sich hier sehr hohe Spannungsspitzen auf (Bild 3), die nicht selten zur Ribbildung und zum Ausfall des Bauteils führen. Abhilfe schafft ein genügend großer Radius (Bild 1), der eine bessere Spannungsverteilung am Rippenfuß gewährleistet.

Zu große Radien dagegen vergrößern allerdings auch den Durchmesser des «Eingeschriebenen Kreises», was wiederum zu den bereits erwähnten Problemen führen kann.

## Die Wahl der Verrippung

In der Kunststoffkonstruktion hat sich die Kreuzverrippung durchgesetzt, da diese in der Lage ist, eine Vielzahl von Belastungsfällen abzudecken (Bild 4). Eine der Beanspruchung gerechte Kreuzverrippung gewährleistet einen durchgehenden Kraftfluß durch das Bauteil. Die Knotenstellen (Bild 5) dieser Verrippung stellen Werkstoffanhäufungen dar, die allerdings durch eine «Entkernung» verringert werden können. Weiter sollte auch darauf geachtet werden, daß die Rippenanbindung (Bild 6) an den Bauteilrand so angelegt wird, daß auch hier konsequent Werkstoffanhäufungen vermieden werden.

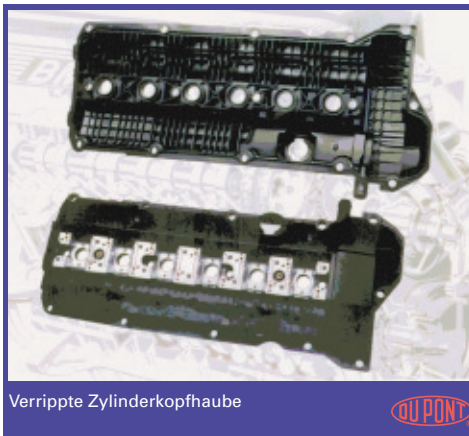


Bild 4

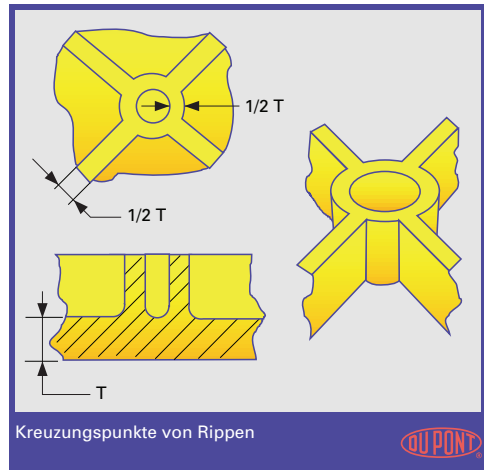


Bild 5

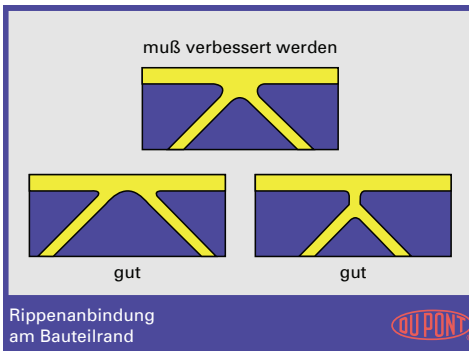


Bild 6

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
3. Wanddicken
4. Verrippungen
- 5. Angußpositionierung**
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

## 5. Angußpositionierung

# Der beste Einstieg

**Angußpositionierung** – Neben verfahrenstechnischen Schwierigkeiten kann eine falsche Auswahl der Art und Positionierung eines Angußsystems einen erheblichen Einfluß auf die Formteilqualität haben. In der Konstruktionsabteilung sollte daher die Frage nach der Angußpositionierung nicht ausgeklammert werden.

Der Konstrukteur sollte neben der Gestaltung und Berechnung von Kunststoffbauteilen auch die Formteilanbindung berücksichtigen. Hierbei muß ein Angußsystem ausgewählt und die Anzahl und Positionierung der Anbindungsstellen festgelegt werden. Die unterschiedlichen Angußarten und Anbindungspositionierungen können einen erheblichen Einfluß auf die Formteilqualität haben. Mit der Festlegung einer Angußposition werden folgende Eigenschaften des Kunststoffteils mitbestimmt:

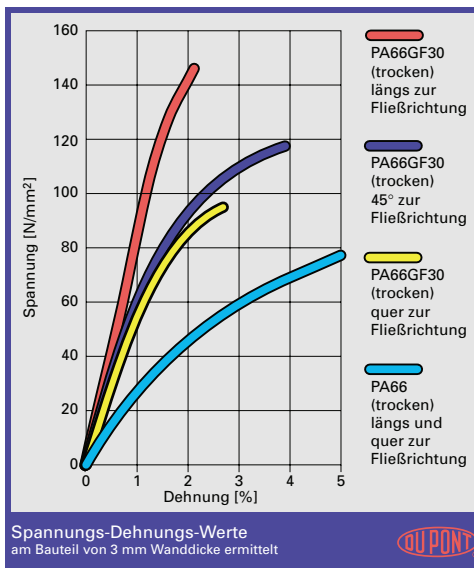


Bild 1

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

- Füllverhalten des Formteils
- Endabmessungen (Toleranzen)
- Schwindungsverhalten, Verzug
- Mechanisches Eigenschaftsniveau
- Oberflächenbeschaffenheit (Ästhetik).

Durch eine Optimierung von Prozessparametern kann der Verarbeiter nur sehr eingeschränkt die Folgen einer ungeeigneten Formteilanbindung vermindern.

## Orientierungen bestimmen Formteileigenschaften

Beim Spritzgießprozeß werden die langen Kunststoffmoleküle und die faserförmigen Füll- und Verstärkungsstoffe überwiegend in Fließrichtung der Kunststoffschmelze ausgerichtet. Dies hat eine Richtungsabhängigkeit (Anisotropie) der Formteileigenschaften zur Folge. In Fließrichtung sind die Festigkeitseigenschaften zum Beispiel deutlich höher als quer zur Fließrichtung (Bild 1). Der Einfluß durch Verstärkungsfasern ist dabei deutlich höher als die Festigkeitsbeeinflussung durch die reine Molekülorientierung. Faserorientierungen bewirken zusätzlich ein in Längs- und Querrichtung unterschiedliches Schwindungsverhalten, was Formteilverzug verursachen kann.

## Qualitätsminderung durch Bindenähte und Lufteinschlüsse

Bindenähte entstehen, wenn zwei oder mehrere Schmelzeströme im Spritzgießwerkzeug zusammen-treffen. Dies liegt vor, wenn z. B. ein Werkzeugeinsatz umflossen werden muß oder wenn Kunststoffteile an mehreren Stellen angespritzt werden (Bild 2a+b). Zusätzlich können auch unterschiedliche Wanddickenverhältnisse in einem Bauteil eine Trennung von Schmelzefronten und damit Bindenähte verursachen.

Lufteinschlüsse ergeben sich, wenn die zu verdrängende Luft durch Schmelzeströme umschlossen wird, und nicht mehr aus dem Spritzgießwerkzeug entweichen kann. Bindenähte oder Lufteinschlüsse sind oft durch Oberflächendefekte zu erkennen. Neben den ästhetischen Gesichtspunkten ist in diesen Bereichen jedoch meist mit einer erheblichen Reduzierung des mechanischen Eigenschaftsniveaus zu rechnen, insbesondere bei Schlagbeanspruchung (Bild 3-4).



Bild 2a

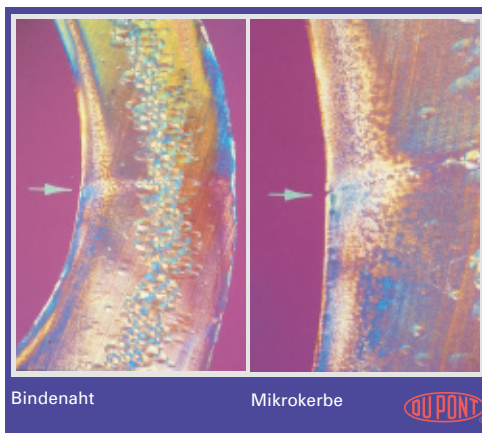


Bild 2b

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Ungeeignete Angußpositionierungen haben Folgen

Da Angüsse immer deutliche Markierungen hinterlassen, sollten sie nicht auf Sichtflächen von hoher Oberflächenqualität gelegt werden. In jedem Anbindungsbereich findet eine hohe Materialbeanspruchung (Scherung) statt, die das Eigenschaftsniveau des verwendeten Kunststoffes erheblich reduziert (Bild 5). Unverstärkte Kunststoffe weisen im direkten Vergleich zu verstärkten Kunststoffen höhere Bindahtqualitäten auf. Die Abminderungsfaktoren im Bindahtbereich sind stark von der Art und dem Anteil der Füll- oder Verstärkungsstoffe abhängig. Ebenso können sich Additive wie zum Beispiel Verarbeitungshilfsmittel oder Flammenschutzmittel störend auswirken. Die Festigkeitsreduzierungen sind somit nur schwierig abzuschätzen. Zudem zeigen Bindahtbereiche, die eine hohe Belastbarkeit bei Zugbeanspruchung aufweisen nicht gleichzeitig auch ein ebenso gutes Verhalten bei Schlag- oder Wechselbeanspruchung.

Bei der Verwendung von faserförmigen Verstärkungsstoffen legen sich die Fasern im Bindahtbereich quer zur Fließrichtung. Dies hat eine deutliche Reduzierung der mechanischen Eigenschaften an dieser Formteilstelle zur Folge (Bild 6).

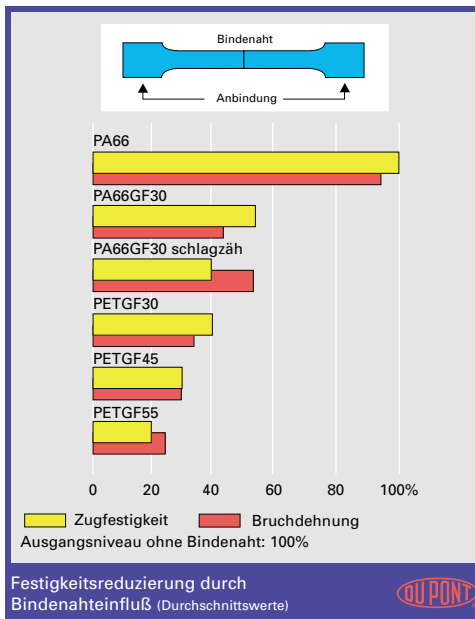


Bild 3

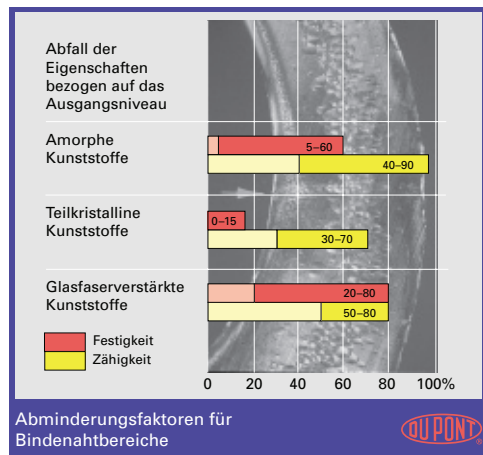


Bild 4



## TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

### Die richtige Angußpositionierung

Komplexe Formteile sind meist nicht ohne Bindenähte zu fertigen. Ist ihre Anzahl nicht zu minimieren, so sollten sie in Formteilbereiche verlegt werden, in denen sie bezüglich Oberflächenqualität und mechanischem Festigkeitsniveau nicht kritisch sind. Dies kann man durch eine Änderung der Angußpositionierung oder durch Anhebung/Reduzierung von Formteilwandstärken erreichen.

#### Grundregeln:

- Formteilanbindungen nicht in hochbelasteten Zonen vorsehen
- Materialzusammenflüsse im Formteil vermeiden oder minimieren
- Bindenähte in hochbelasteten Formteilbereichen vermeiden
- Anbindungsposition bestimmt bei verstärkten Kunststoffen den Formteilverzug
- Lufteinschlüsse durch ausreichende Formteillentlüftungen vermeiden.

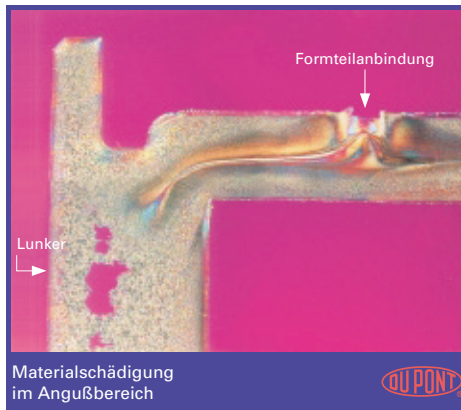


Bild 5

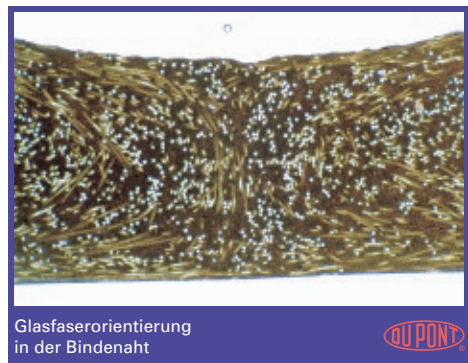


Bild 6





## TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
3. Wanddicken
4. Verrippungen
5. Anfußpositionierung
6. **Kostengünstige Konstruktionen**
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

### 6. Kostengünstige Konstruktionen

# Kostengünstige Konstruktionen

**Konstruktionsgröße Preis** – Der Konstrukteur eines Kunststoffbauteils trägt einen großen Anteil der Kostenverantwortung. Denn durch seine Entscheidungen werden die Kosten für Fertigung, Werkzeugbau und Montage im wesentlichen vorbestimmt. Eine spätere Korrektur oder Optimierung erfordert in der Regel einen hohen Aufwand oder ist nicht mehr realisierbar.

### Kostenbeeinflussung durch Materialeigenschaften

Durch konsequente Ausnutzung bestimmter Materialeigenschaften von Kunststoffen ergibt sich eine Vielzahl von Kosteneinsparungen:

#### *Multifunktions-Konstruktionen*

Reduzierung der Teilevielfalt durch Funktionsintegration.

#### *Anwendung preiswerter Montagetechniken*

Schnappverbindungen, Schweißverbindungen, Nietverbindungen, 2K-Technologie usw.

#### *Ausnutzung der Trockenlaufeigenschaften*

Einsparung zusätzlicher oder nachträglicher Schmierung.

#### *Einsparung von Oberflächenbehandlungen*

Einfärbung im Granulat, Chemikalien- und Korrosionsbeständigkeit, elektrische und thermische Isoliereigenschaften.

#### *Nukleierung*

Materialien der gleichen Produktfamilie weisen unterschiedlich kurze Zykluszeiten auf. Der Grund ist ein Nukleierungszusatz, der eine schnellere Kristallisation der Schmelze während der Abkühlphase bewirkt.



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

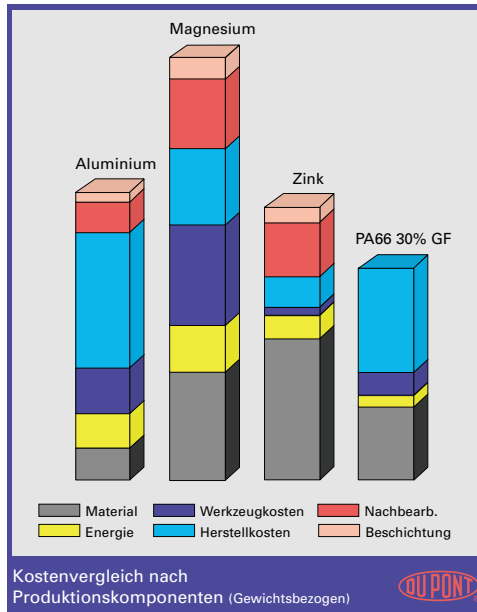


Bild 1

## Kostenbeeinflussung durch die Fertigteilkonstruktion

Durch die Beachtung der nachfolgenden Punkte sind über die o.a. Punkte hinaus weitere Kostenreduzierungen erreichbar:

### Wanddicken

Optimierte Wanddickenverteilung beeinflusst die Materialkosten und kann die Fertigungszeit reduzieren.

### Werkzeuge

2-Plattenwerkzeuge, Reduzierung der Anzahl von Schiebern usw.

### Toleranzen

Überzogen hohe Toleranzanforderungen bewirken eine Steigerung der Ausschußrate und des Aufwands für die Qualitätskontrolle.

### Werkstoffe

Verkürzung der Zyklus- und Kühlzeiten durch die Auswahl schnell erstarrender Materialien, Verringerung der Verzugsprobleme durch Verwendung verzugsarmer Polymere (z.B. Optimierung des Verhältnisses Mineral-/Glasfaserfüllung).

## Kostenvergleich nach Produktionskomponenten

Spritzgießteile sollten, so wie sie aus der Spritzgießmaschine ausgestoßen werden, ohne weitere Nacharbeit zu montieren sein. Falls Nacharbeit erforderlich ist, erreichen Kunststoffteile oft die Kosten metallischer Konstruktionen (Bild 1).

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Die Konstruktion bestimmt die Fertigungskosten

Eine pauschale Anhebung der Wanddicken führt nicht immer zur gewünschten Festigkeitssteigerung eines Bauteils, wohl aber zu einer rapiden Anhebung der Fertigungs- und Materialkosten (Bild 2). Teilkristalline Thermoplaste erstarrten unter Volumenschwindung. Diese Schwindung muß durch Nachfördern von Schmelze in der sogenannten Nachdruckphase ausgeglichen werden.

Die ungefähre Nachdruckzeit beträgt pro 1 mm Wanddicke zum Beispiel für

- POM 8 s
- PA66 unverstärkt 4-5 s
- PA66 verstärkt 2-3 s

(Gültig bis 3 mm Wanddicke).

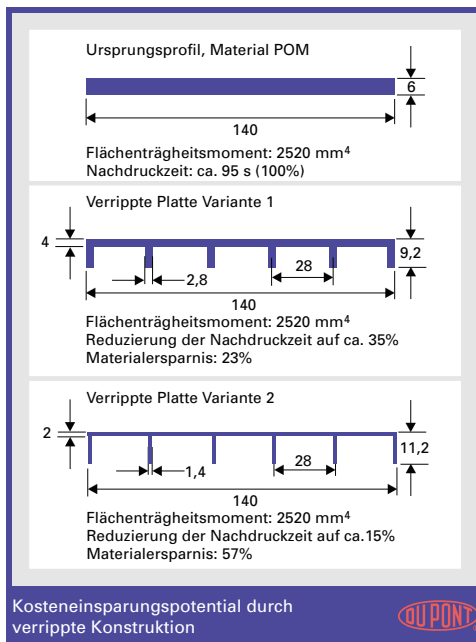


Bild 2

## Anwendungsbeispiele

Im Gegensatz zu metallischen Konstruktionen, die spanend bearbeitet und oft durch viele Montageschritte zu einem einheitlichen Funktionsteil montiert werden müssen, sind in der Kunststofftechnik viele Einsparpotentiale vorhanden.

So ist in diesem Beispiel die Führungs- und Antriebsstange einschließlich Feder und Schnapphaken sowie die Lagerung in einem Stück gespritzt. Die Metallkonstruktion erfordert nicht nur fünf Einzelteile, die montiert werden müssen sondern auch eine Schmierung der Stange für die Anschlagpuffer. Durch die Wahl von einem POM Homopolymer erübrigte sich auch diese Schmierung (Bild 3).



## TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

Montagefreundlich und kostensparend sind Schnapphakenkonstruktionen in Verbindung mit Filmscharnieren, die die Zahl der Einzelteile bei der Montage verringern. Werden spröde Werkstoffe verwendet, übernimmt ein weiterer Schnapphaken bei Bruch des Filmscharniers die Verriegelungsfunktion (Bild 4).

Der Konstrukteur entwirft durch seine Konstruktion zwangsläufig auch die Formhohlung. Damit bestimmt er die Entformung und die Anzahl der erforderlichen Schieber. Auch durch geschickte Anordnung von Hinterschnitten können Schieber durch eintauchende Kerne ersetzt werden (Bild 5).



Bild 3



Bild 4

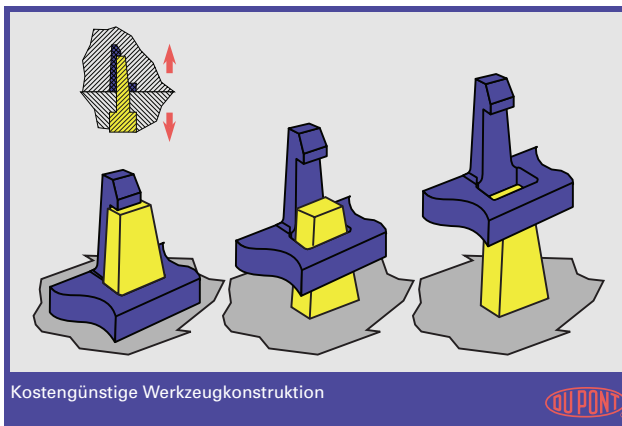


Bild 5



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
3. Wanddicken
4. Verrippungen
5. Angußpositionierung
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. **Verbindungstechnik allgemein**
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

## 7. Verbindungstechnik allgemein

# Ideale Verbindungen I

**Verbindungstechnik allgemein** – Schnapp-, Preß- und Schraubverbindungen stellen sehr einfache Fügetechniken dar, die es dem Konstrukteur erlauben, durch schnelle und einfache Bauteilmontage in der Produktion große Einsparungspotentiale zu nutzen.

Die Verbindungstechniken können in unlösbare und lösbare Verbindungen unterteilt werden.

Zu den unlösbaren Verbindungen zählen folgende Montagetechniken :

- Schweißen
- Nieten
- Kleben
- Einlegetechnik
- Schnappverbindungen mit 90°-Haltewinkel.

Als lösbare Verbindungstechniken gelten :

- Schnappverbindungen mit < 90°-Haltewinkel
- Schraubverbindungen
- Nabenvverbindungen
- Preßverbindung

Werkstoff	zulässige Dehnung in %
POM Homopolymer	ca. 5–8
PA unverstärkt (kond.)	ca. 4–6
PA unverstärkt (trocken)	ca. 3
PA 66 GF (kond.)	ca. 0,9–1,5
PA 66 GF (trocken)	ca. 0,8
PET GF	ca. 0,5–0,8
PBT GF	ca. 0,7–1,5

Zulässige Materialdehnungen  
(Werte gelten nur für einmaligen Fügevorgang)




Bild 1

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

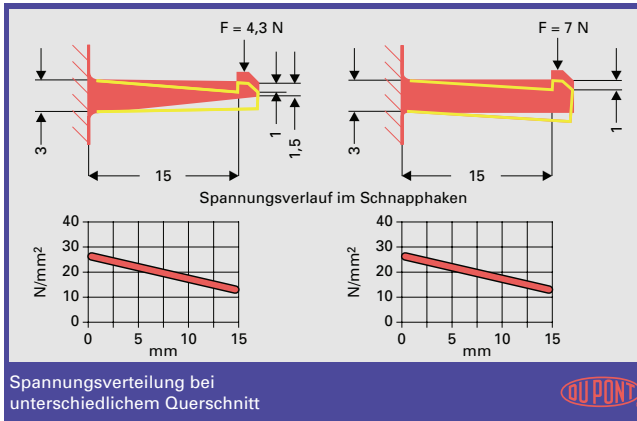


Bild 2

## Schnappverbindungsvarianten

Der große Vorteil der Schnappverbindung besteht darin, daß bei dieser Montagetechnik keine zusätzlichen Elemente zur Verbindung notwendig sind.

Die gebräuchlichsten Schnappverbindungsarten in der Kunststofftechnik sind :

- freitragende Schnapphaken
- zylindrische Schnappverbindungen
- kugelige Schnappverbindungen.

Bei allen aufgeführten Schnappverbindungstechniken sollte vom Konstrukteur sichergestellt werden, daß nach dem Verbinden die Fügegeometrie möglichst spannungsfrei vorliegt, um Spannungsrelaxation zu vermeiden.

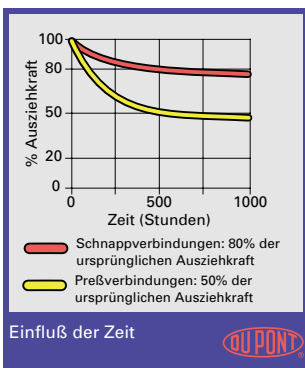


Bild 3

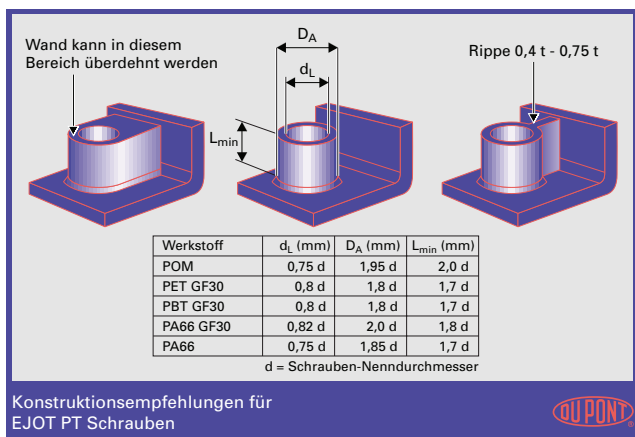


Bild 4

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Grundlegende Hinweise

Die Auslegung einer Schnappverbindung wird durch die zulässige Dehnung des zu verwendenden Werkstoffes bestimmt. Vorsicht ist z.B. bei Polyamid geboten, da bei diesem Material im trockenen Zustand grundsätzlich erheblich geringere zulässige Dehnungen als für den konditionierten Zustand gelten. Ebenso hat der Glasfaseranteil einen großen Einfluß auf die zulässige Dehnung des Materials und somit auch auf die zulässige Auslenkung des Schnapphakens (Bild 1).

Spannungsreduzierend wirkt sich bei einem freitragenden Schnapphaken die konische Auslegung des Biegebalkens aus (Bild 2). Diese Konstruktion erlaubt eine bessere Spannungsverteilung über die gesamte Biegelänge. Spannungsspitzen im Fußbereich werden abgebaut, Montagekräfte deutlich reduziert.

Fehlende oder ungenügend große Radien an Schnapphaken erweisen sich sehr häufig als Schwachstellen. Grundsätzlich sollte ein ausreichend großer Radius zur Vermeidung von Spannungsspitzen vorgesehen werden. Zylindrische- und kugelige Schnappverbindungen müssen zur leichteren Montage oft geschlitzt gestaltet werden, wobei das Schlitzende nicht scharfkantig ausgeführt werden darf.

## Preßverbindungen

Mit Preßverbindungen lassen sich hochfeste Verbindungen von Kunststoffteilen bei minimalen Kosten erzielen. Wie bei den Schnappverbindungen reduziert sich mit der Zeit auch die Haltekraft einer Preßverbindung aufgrund von Spannungsrelaxation (Bild 3), die bei der Konstruktionsberechnung in Betracht gezogen werden muß. Weiter müssen Testversuche mit den zu erwartenden Temperaturzyklen die Machbarkeit der Konstruktion bestätigen.

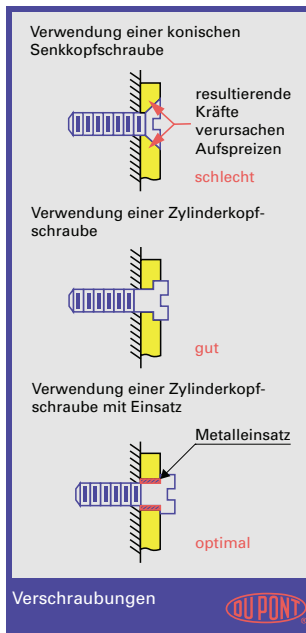


Bild 5

## Schraubverbindungen

Die Verschraubung kann man durch gewindeschneidende- bzw. gewindeformende Schrauben oder durch die Verwendung von Verschraubungen mit eingespritzten Gewindeeinsätzen herstellen. Einen Anhaltspunkt für die einzusetzende Verschraubungstechnik gibt der Biege-E-Modul des zu verwendenden Materials. So kann man z.B. bis zu einem Biege-E-Modul von ca. 2800 MPa auch gewindeformende Schrauben einsetzen. Werden metrische Gewinde verlangt oder soll die Verschraubung mehrfach gelöst werden, ist der Einsatz von Metalleinsätzen erforderlich.

Um ein frühzeitiges Bauteilversagen zu vermeiden, ist auf die richtige Dimensionierung des Einschraubdomes zu achten (Bild 4). Hinweise geben hier auch Empfehlungsrichtlinien der Schraubenhersteller.

Konische Senkkopfschrauben sind in der Kunststofftechnik grundsätzlich zu vermeiden, da die resultierenden Kräfte (Bild 5) ein «Aufspreizen» der Senkbohrungen verursachen. Durch diese zusätzliche Belastung können z.B. Bindenähte sehr leicht aufreißen.

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

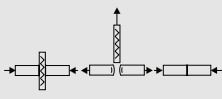
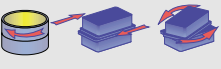
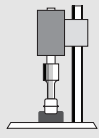



von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. Werkstoffe im Vergleich | 6. Kostengünstige Konstruktionen       |
| 2. Materialauswahl         | 7. Verbindungstechnik allgemein        |
| 3. Wanddicken              | <b>8. Verbindungstechnik Schweißen</b> |
| 4. Verrippungen            | 9. Toleranzen                          |
| 5. Angußpositionierung     | 10. Checkliste                         |

## 8. Verbindungstechnik Schweißen

# Ideale Verbindungen II

**Verbindungstechnik Schweißen** – Zur Verbindung von Kunststoffteilen können neben den in Folge 7 beschriebenen Fügetechniken auch eine Vielzahl von Schweißverfahren eingesetzt werden. Bereits in der Konstruktionsphase ist die Auswahl eines geeigneten Schweißverfahrens und die Berücksichtigung der erforderlichen Fügegeometrie notwendig, um wirtschaftliche und funktionsgerechte Kunststoffkonstruktionen zu realisieren.

	Heizelement	Vibration-Rotation	Ultraschall
Prinzip			
Schweißzeiten	10–20 s	0,2–10 s	0,1–2 s
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abschmelzen von Unebenheiten (z.B. Verzug) im Fügebereich</li> <li>– Hohe Reproduzierbarkeit der Schweißergebnisse</li> <li>– Höchste Schweißqualitäten</li> <li>– Hoher Automatisierungsgrad möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mittelgroße bis große Teile schweißbar</li> <li>– Oxidationsempfindliche Kunststoffe schweißbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verfahrensabwandlung (Nieten, Bördeln, Einbetten)</li> <li>– Kürzeste Zykluszeiten</li> <li>– Verfahren leicht automatisierbar und integrierbar</li> </ul>
Beschränkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Oxidationsempfindliche Werkstoffe</li> <li>– Erhöhter Schweißaustrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Position der Schweißteile zueinander</li> <li>– Mindeststeifigkeit erforderlich (Material-Teilegeometrie)</li> <li>– Definierte Relativbewegung erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nur kleine bis mittelgroße Teile schweißbar</li> <li>– Einflußfaktor Nahfeld – Fernfeld</li> </ul>
Beispiele			

Verschiedene Schweißverfahren im Vergleich



Bild 1

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

Schweißverbindungen zählen zu den unlösbaren, stoffschlüssigen Verbindungen, bei denen ohne Verwendung von Zusatzbauteilen Kunststoffteile zusammengefügt werden können. Die Formteilgeometrie und die Teilegröße sowie die verwendeten Materialien bestimmen die zu wählenden Schweißverfahren. Darüber hinaus sind Wirtschaftlichkeit, Integrierbarkeit in einen Fertigungszyklus und die mechanischen und ästhetischen Qualitätsansprüche an die Fügezonen weitere Auswahlkriterien.

## Verschiedene Schweißverfahren

Für die Verbindung von Kunststoffteilen gibt es eine Vielfalt von wirtschaftlichen Schweißtechniken, die sich für eine industrielle Serienfertigung eignen. Die für technische Kunststoffteile am häufigsten eingesetzten Verfahren sind (Bild 1):

- Heizelementschweißen
- Rotationsschweißen
- Vibrationsschweißen
- Ultraschallschweißen.

Des weiteren ist das

- Hochfrequenz-Schweißen
- Widerstandschweißen
- Warmgasschweißen

zu nennen. Darüber hinaus wird an neuen Verfahren (z.B. Laserschweißen) gearbeitet, die jedoch heute noch keine tiefe Einsatzbreite in der Industrie gefunden haben.

Allen Verfahren ist gemein, daß der Fügevorgang unter Anwendung von Wärme (Aufschmelzen der Fügeflächen) und Druck erfolgt. Dabei kann die Zufuhr von Wärme direkt durch Kontakt oder Strahlung, oder indirekt durch innere oder äußere Reibung sowie durch elektrische Effekte erfolgen.

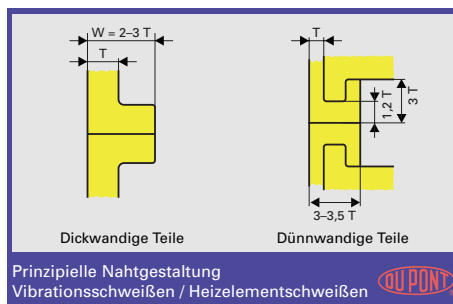


Bild 2

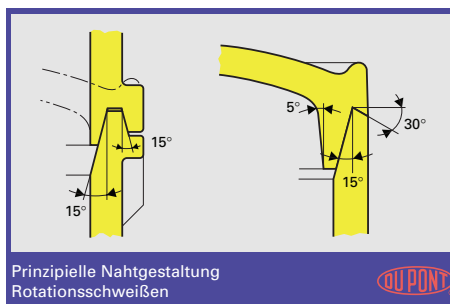


Bild 3

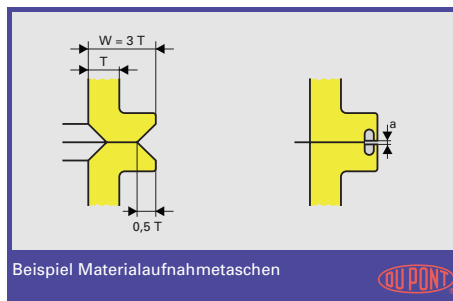


Bild 4



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Die richtige Verfahrenswahl

Sollen reproduzierbar gute Schweißqualitäten erreicht werden, ist die Auswahl eines geeigneten Verfahrens, die einzustellenden Verfahrensparameter und eine dem Verfahren entsprechende Gestaltung der Fügeiteile notwendig. Für die jeweilige Schweißaufgabe bieten die Maschinenhersteller neben Standardausrüstungen verschiedene Sondermaschinen an. Es empfiehlt sich, vor der Entscheidung für ein Schweißverfahren Kontakt zu den Maschinenherstellern oder Rohstofflieferanten aufzunehmen.

## Unterschiedliche Verschweißbarkeit

Theoretisch sind alle thermoplastischen Kunststoffe schweißbar. Das Schweißverhalten der Kunststoffe unterscheidet sich jedoch zum Teil erheblich. Amorphe und teilkristalline Polymere lassen sich nicht miteinander verschweißen. Bei Kunststoffen, die Wasser aufnehmen (z.B. Polyamid) ist eine Vortrocknung notwendig, da Feuchtigkeit schlechte Schweißqualitäten verursacht. Um beste Ergebnisse zu erzielen, sollten Teile aus PA entweder unmittelbar nach dem Spritzgießen verschweißt oder vor dem Schweißen im trockenen Zustand gehalten werden. Zusätze wie Glasfasern, Stabilisatoren oder andere Additive können ebenfalls das Schweißergebnis beeinflussen. Bei unverstärkten Kunststoffen können bei Einhaltung geeigneter Prozeß- und Geometrieparameter Schweißfaktoren in der Nähe der Materialgrundfestigkeiten erreicht werden. Bei glasfaserverstärkten Kunststoffen muß aufgrund von Faserentmischungen oder -umorientierung in der Fügezone mit Abminderungsfaktoren gerechnet werden.

## Die richtige Schweißnahtgestaltung

Voraussetzung für hohe Schweißnahtqualitäten ist eine geeignete Nahtprofilgestaltung. Die in den Bildern 2 und 3 dargestellten Profile haben sich als Grundformen bewährt. Werden zudem hohe ästhetische Ansprüche an den Schweißnahtbereich gestellt, so muß mit speziellen Geometrien gearbeitet werden. Die dargestellten Bilder zeigen Möglichkeiten, durch Materialaufnahmetaschen den entstehenden Grat zu verdecken (Bild 4). Dünnwandige Teile machen eine Führungsaufnahme erforderlich, um ein Ausweichen der Wandungen zu verhindern, damit der notwendige Fügedruck aufgebracht werden kann.

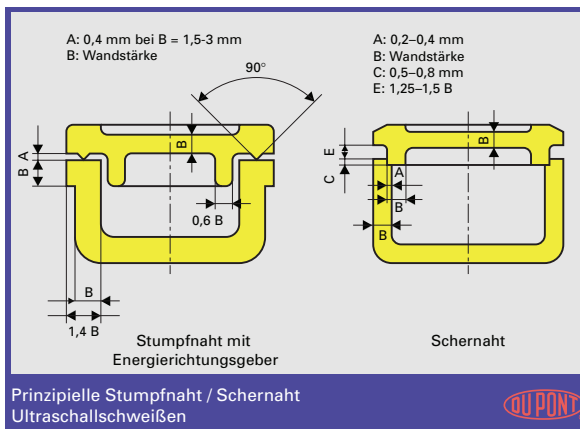


Bild 5

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

## Besonderheiten beim Ultraschallschweißen

Teilkristalline Polymere besitzen einen scharfen Schmelzpunkt und gehen bei Wärmebeaufschlagung schlagartig vom festen in den thermoplastischen Zustand über. Für die Ultraschallschweißung teilkristalliner Kunststoffe wird daher vorzugsweise die Schernäht eingesetzt (Bild 5). Für das Schweißen amorpher Thermoplaste, die einen Erweichungsbereich besitzen, ist die Nahtausbildung weniger kritisch. In Bild 6 ist die Nahfeld- und Fernfeldmethode dargestellt. Sie unterscheiden sich durch die Distanz zwischen der Kontaktstelle der Schwingungseinleitung und der Schweißnaht. Generell werden bei allen Kunststoffen mit der Nahfeldmethode die besten Ergebnisse erzielt. Bei Kunststoffen mit einem geringen Elastizitätsmodul muß allerdings zwingend im Nahfeldbereich verschweißt werden.

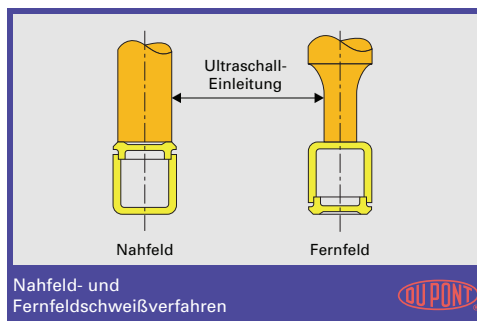


Bild 6

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
3. Wanddicken
4. Verrippungen
5. Angußpositionierung
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. Checkliste

## 9. Toleranzen

# Die heimlichen Preistreiber

**Toleranzen** – Spritzgießteile können nicht mit den gleichen Toleranzanforderungen erstellt werden wie spanend hergestellte Werkstücke. Obwohl das allgemein bekannt ist, werden immer wieder Toleranzanforderungen gestellt, die häufig nicht erreicht werden können und/oder eine wirtschaftliche Fertigung unmöglich machen.

### Toleranzen und ihre wirtschaftlichen Folgen

Man unterscheidet im allgemeinen drei Güteklassen – allgemeiner Spritzguß, technischer Spritzguß und Präzisionsspritzguß. In der DIN 16901 werden sie als Allgometoleranzen und Maße mit direkt eingetragenen Abmaßen der Reihe 1 und Reihe 2 bezeichnet:

- Der «allgemeine» Spritzguß erfordert einen geringen Kontrollaufwand bei niedrigen Ausschußraten und schnellen Fertigungszeiten.
- Der technische Spritzguß wird schon deutlich kostenaufwendiger, da er höhere Anforderungen an Werkzeug und Fertigung stellt, Qualitätskontrollen erfordert und sich damit die Ausschußrate erhöhen kann.
- Die dritte Gruppe, der Präzisionsspritzguß, verlangt Präzisionswerkzeuge, optimale Fertigungsbedingungen und eine 100%ige Produktionsüberwachung mit permanenter Qualitätskontrolle. Dies hat Auswirkungen auf die Zykluszeiten und durch erhöhten Produktions- und Kontrollaufwand auch auf den Einzelpreis. Außerdem muß auch hier mit einer erhöhten Ausschußrate gerechnet werden.

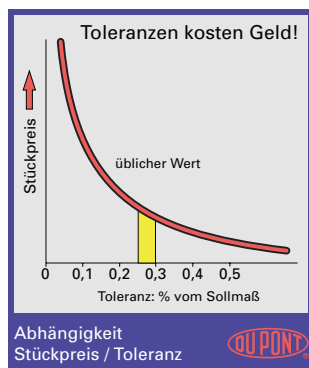


Bild 1

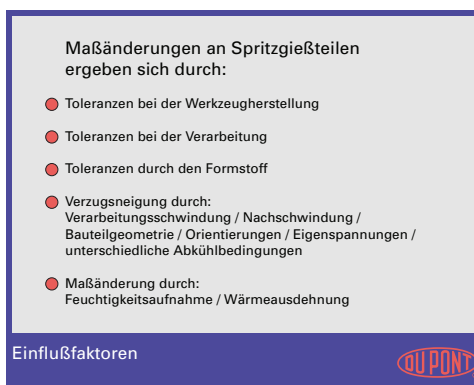


Bild 2

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

Da der Konstrukteur auch für die Kosten eines Spritzgießteils maßgeblich verantwortlich ist, muß er auch für eine wirtschaftliche Tolerierung Sorge tragen. Daher sollten Toleranzen nicht so eng wie möglich sondern vielmehr so gering wie notwendig ausgewählt werden.

Ein wirtschaftlich vertretbarer Wert für eine Fertigungstoleranz wäre 0,25-0,3% vom Sollmaß, der aber je nach Anforderung überprüft werden muß (Bild 1).

Zu beachten ist, daß Thermoplaste aufgrund ihrer Eigenschaften – hohe Dehnung und Elastizität – nicht die engen Toleranzanforderungen metallischer Werkstoffe mit ihrer hohen Steifigkeit, geringen Dehnung und Elastizität benötigen.

## Beeinflussung der Toleranzen.

Zur Vermeidung zu enger Toleranzen an Kunststoffbauteilen muß man sich die Fülle von Einflüssen vor Augen führen, die auf die Maßhaltigkeit eines Spritzgießteils einwirken (Bild 2).

Die Toleranzen bei der Werkzeugherstellung sind relativ gut einzuhalten. Der Konstrukteur sollte aber nicht vergessen, daß Entformungsschrågen für ein leichtes, verzugsfreies Ausstoßen aus dem Spritzgießwerkzeug zwingend notwendig sind (Bild 3).

Problematisch wird die Einhaltung der Toleranzen bei unterschiedlichen Werkstoffen und Wanddicken. Die Formschrångswerte sind richtungs- und dickenabhängig. Am deutlichsten ist dieses Verhalten bei glasfaserverstärkten Materialien zu sehen. Hier kann der Unterschied zwischen der Längs- und Querorientierung der Glasfaser eine wesentliche Schrångsdifferenz hervorrufen, die zu Maßungenauigkeiten führt.

Zusätzlich hat die Geometrie des Bauteils Einfluß auf die Schrångung und damit auch auf die Toleranz (Bild 4).

Sollen komplizierte Formteile mit engen Toleranzen erstellt werden, ist eine Prototypenform unumgänglich, um genaue Aussagen über den tatsächlichen Wert der Schrångung und über das Verzugverhalten zu erhalten.

## Fertigungs- und Funktionstoleranz

Weiter ist zu unterscheiden, ob nur eine Fertigungstoleranz oder auch eine Funktionstoleranz vorliegt, da Thermoplaste auf Umwelteinflüsse reagieren.

So spielt die Wärmeausdehnung, die oft einen 10fach höheren Wert gegenüber metallischen Werkstoffen aufweist (Bild 5) sowie die z.B. bei Polyamiden besonders ausgeprägte Tendenz zur Feuchtigkeitsaufnahme für die Funktionssicherheit eine entscheidende Rolle.

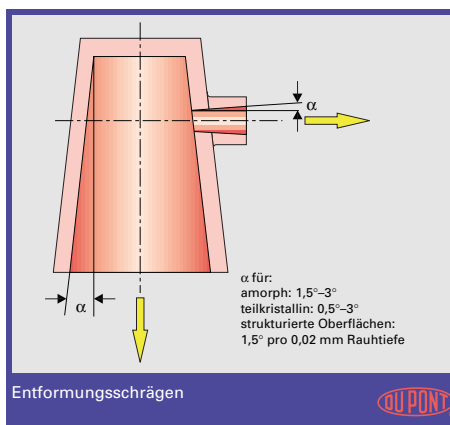


Bild 3

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

Zusätzlich ist die Nachschwindung bei teilkristallinen Werkstoffen zu beachten, die in erster Linie in Abhängigkeit von den Spritzbedingungen zu Maßänderungen an Fertigteilen nach der Entformung führt.

Die Qualitätskontrolle sollte nicht sofort direkt nach der Entformung vorgenommen werden. DIN 16901 schreibt vor, die Kontrolle erst nach 16 Stunden bei Normklima (23°C, 50 % Luftfeuchtigkeit) oder nach entsprechender Vorbehandlung durchzuführen.

## Empfehlungen

Als Anhaltspunkt für wirtschaftliche Teilefertigung kann die Tolerierung nach DIN 16901 verwendet werden. Die verbesserte Technik heutiger Spritzgießmaschinen läßt jedoch eine deutliche Unterschreitung dieser Toleranzwerte zu.

Für Präzisions-spritzgießteile haben einzelne Industriezweige gesonderte Toleranztabellen entwickelt, da hierfür die DIN 16901 nicht ausreichend ist.

Auf jeden Fall aber sollte bei enger Tolerierung mit dem Spritzgießer oder Rohstofflieferant darüber diskutiert werden, ob die geforderten Toleranzen fertigungstechnisch eingehalten werden können und ökonomisch vertretbar sind (Bild 6).

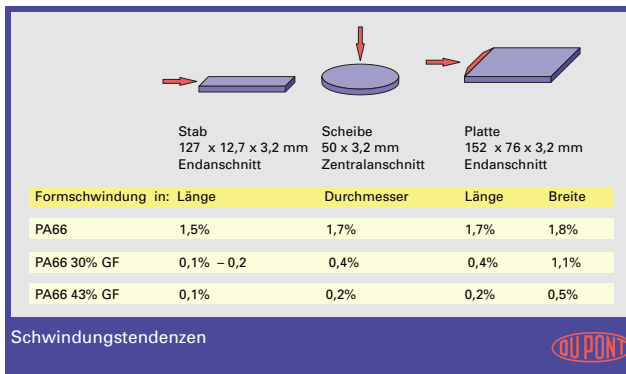


Bild 4

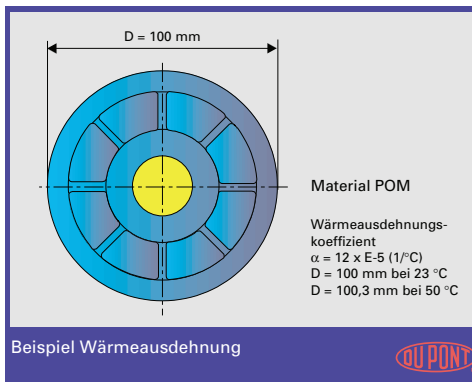


Bild 5

- Teilkristalline Thermoplaste weisen höhere Nachschwindungswerte auf als amorphe Thermoplaste
  - Verstärkte Thermoplaste schwinden längs und quer zur Glasfaserorientierung unterschiedlich
  - Dicke Wandstärken führen zu Einfallstellen, Maßabweichungen und Verzug
  - Formteilgestaltung und Verarbeitungsbedingungen sind oft ausschlaggebend für die Einhaltung geforderter Toleranzen
  - Temperatur und Feuchteaufnahme führen zu Maßänderungen, die für die Funktionstoleranzen zu berücksichtigen sind
- Zusammenhänge

Bild 6

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

1. Werkstoffe im Vergleich
2. Materialauswahl
3. Wanddicken
4. Verrippungen
5. Angußpositionierung
6. Kostengünstige Konstruktionen
7. Verbindungstechnik allgemein
8. Verbindungstechnik Schweißen
9. Toleranzen
10. **Checkliste**

## 10. Checkliste

# Auf den Punkt gebracht

**Konstruktions-Checkliste** – Das Ziel bei der Neu- oder Weiterentwicklung eines Produktes ist es, eine technisch gute Lösung und eine kostengünstige Herstellung zu realisieren. Die Konstruktionsaufgabe beinhaltet dabei im wesentlichen die Werkstoffauswahl, die Wahl eines Herstellungsverfahrens, die Festigkeitsberechnung und die Formteilgestaltung.

Nur die vollständige Berücksichtigung und Umsetzung dieser Entwicklungsschritte führt zu einem Formteil von hoher Qualität und wirtschaftlicher Vertretbarkeit. Vielfach wird in den Konstruktionsabteilungen nur auf eine funktionsgerechte Lösung geachtet. Es sollte jedoch deutlich herausgestellt werden, daß die Funktionalität und die Wirtschaftlichkeit eines Kunststoffbauteils nicht mehr gegeben sein kann, wenn außer Acht gelassen wird, daß auch werkstoff- und fertigungsgerechte Lösungen entwickelt werden müssen.

### Kunststoffeigenschaften sind keine reinen Materialkennwerte

Das Eigenschaftsbild von Kunststoffen kann sich durch den Einfluß der Umgebung, der Verarbeitung, der Formteilauslegung und der Betriebsbedingungen entscheidend verändern (Bild 1). Kunststoffkennwerte werden durch Versuche unter Laborbedingungen ermittelt. Dabei werden die Teststäbe in

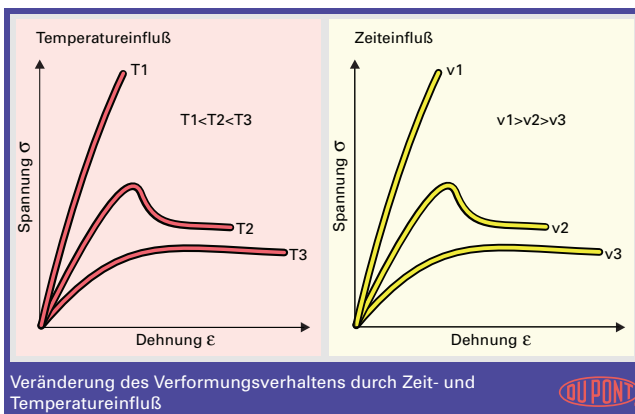


Bild 1

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

hochpolierten Werkzeugen mit optimalen Parametern gefertigt und unter Normbedingungen bei genau festgelegten Belastungen getestet. In der Praxis werden Kunststoffbauteile jedoch nie genau unter diesen Bedingungen gefertigt und im Einsatzfall auch nicht genau den gleichen Belastungen ausgesetzt sein. Es muß daher an dieser Stelle nochmals vor dem zu sorglosen Umgang mit Kunststoffkennwerten gewarnt werden.

Zu Beginn einer jeden Kunststoffkonstruktion sollte eine genaue Analyse und Auflistung der Anforderungen und Randbedingungen vorgenommen werden. Hierbei kann eine Konstruktions-Checkliste Hilfestellung leisten (Bild 2).

## Herstellung von Prototypen

Um ein Bauteil von der Konstruktionsphase bis zur Marktreife zu bringen, ist es in der Regel erforderlich, Prototypen für Versuche und Modifikationen anzufertigen. Es sollte dabei darauf geachtet werden, daß das Fertigungsverfahren zur Herstellung der Prototypen dem der späteren Produktion weitgehend entspricht. Technische Teile, die im Spritzgießverfahren hergestellt werden, sollen auch als Prototypen spritzgegossen werden. Steht kein Werkzeug zur Verfügung, wird auch manchmal


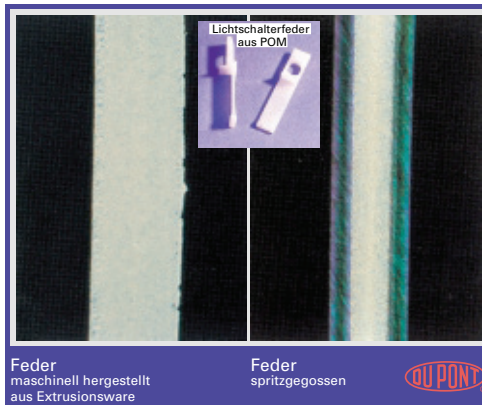
<b>A. Allgemeines</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Funktion des Bauteils (der Baugruppe)</li><li>2. Änderungs- und Integrationsmöglichkeiten (Steigerung der Funktionalität)</li></ol>
<b>B. Einsatzbedingungen</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Belastungen: Art, Dauer, Höhe<ul style="list-style-type: none"><li>- statisch, dynamisch</li><li>- kurzzeitig, langfristig, stoßartig</li><li>- Maximal- und Minimalwerte</li></ul></li><li>2. Einsatztemperatur<ul style="list-style-type: none"><li>- Maximal- und Minimalwerte</li><li>- Einsatzdauer</li></ul></li><li>3. Umgebungsmedien<ul style="list-style-type: none"><li>- Luft – Wasser – Feuchtigkeit</li><li>- Chemikalien</li><li>- UV-Belastung</li><li>- ...</li></ul></li></ol>
<b>C. Konstruktionsanforderungen</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Toleranzen</li><li>2. Max. zulässige Formteilverformungen</li><li>3. Montage – Demontage (Verbindungstechniken)</li><li>4. Spezifikationen und Zulassungen<ul style="list-style-type: none"><li>- Behördliche Vorschriften</li><li>- Firmeninterne Richtlinien</li></ul></li><li>5. Oberflächenbeschaffenheit<ul style="list-style-type: none"><li>- Zulässige Markierungen</li></ul></li></ol>
<b>D. Testbedingungen</b> <p>Alle Testverfahren, die zur Überprüfung des Leistungsverhaltens und zur Qualitätsbeurteilung der Kunststoffteile dienen, sind detailliert aufzulisten.</p>
<b>E. Wirtschaftlichkeit</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. System- oder Teilekosten der alten Baugruppe</li><li>2. Produktionsmenge</li></ol>
<b>F. Sonstiges</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Umweltauflagen</li><li>2. Einzuhaltende Sicherheitsfaktoren</li><li>3. Alle zusätzlichen Informationen, die ein völliges Verständnis der Teilefunktion, der Einsatzbedingungen, der mechanischen und Umgebungsbelastungen sowie der fehlerhaften Benutzung erlauben, der das Teil widerstehen muß.</li></ol>
Konstruktionscheckliste 

Bild 2

# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer



**Bild 3**

auf spanend hergestellte Versuchsbauteile zurückgegriffen. Aus folgenden Gründen ist dies jedoch nicht immer unproblematisch:

- Der Einfluß von Bindenähten im Spritzgießteil kann nicht untersucht werden.
- Die durch maschinelle Bearbeitung hervorgerufene Riefen können die Festigkeitseigenschaften gegenüber denen eines Spritzgießteils teilweise erheblich verschlechtern.
- Festigkeit und Steifigkeit können wegen des höheren Kristallinitätsgrades von extrudierten Stäben und Platten höher sein als bei einem Spritzgießteil.
- Der Einfluß der Faserorientierung kann nicht untersucht werden.

Für eine Lichtschalterfeder, hergestellt aus einem extrudierten Material, ergab der spanend hergestellte Prototyp im Belastungstest 180000 Zyklen ohne Ermüdung der Feder. Das gleiche Formteil zeigte spritzgegossen schon nach 80000 Zyklen einen Ermüdungsbruch. Fehlerursache war die unterschiedliche Kristallinitätsstruktur der beiden Formteile (Bild 3).

## Prototypenwerkzeuge

Zur Herstellung von Prototypen werden häufig die vorhandenen Druckgußwerkzeuge oder Prototypenwerkzeuge aus leicht zu bearbeitenden oder preiswerten Materialien wie Aluminium, Messing, usw. verwendet. Es ist jedoch davor zu warnen, da wichtige Spritzgießparameter wie z. B. Temperatur und Druck nicht eingehalten werden können. Weiter führt die unterschiedliche Kühlung zu abweichendem Schwindungs- und Verzugsverhalten. Zu empfehlen sind vorläufige Produktionswerkzeuge aus nicht gehärtetem Stahl. Dabei kann es sich um ein Einfach-Werkzeug oder um ein einzelnes Formnest in einem Mehrfachwerkzeug halten.

## Erprobung von Kunststoffkonstruktionen

Mit Hilfe moderner Computersimulationsverfahren – Festigkeitsanalyse, Fließanalyse – können mögliche Schwachstellen in der Konstruktion oder bei der Verarbeitung manchmal recht frühzeitig aufgezeigt werden. Eine 100%ige Garantie für die Qualität des Endproduktes und das Verhalten unter wirklicher Belastung kann jedoch nicht gegeben werden. Am aussagekräftigsten ist stets eine Erprobung von Prototypen unter realen Betriebsbedingungen, die zumindest bei technischen Formteilen mit hohen Funktions- und Qualitätsanforderungen stets durchgeführt werden sollte.

Stellt sich die Durchführung unter realen Umgebungsbedingungen als schwierig heraus, so können auch Tests herangezogen werden, bei denen die späteren Einsatzbedingungen simuliert werden. Der Wert solcher Versuche hängt jedoch stark davon ab, wie genau die Betriebsbedingungen simuliert werden können.



# TOP IN FORM – 10 KONSTRUKTIONSTIPS

von Jürgen Hasenauer, Dieter Küper und Jost E. Laumeyer

Zeitaufwendige Testreihen zur Beurteilung des langzeitigen Formteilverhaltens unter Last oder Wärme sind manchmal unpraktikabel oder wirtschaftlich nicht zu verantworten.

Jedoch sind auch Voraussagen über das Langzeitverhalten anhand zeitgeraffter, erschwerter Tests nicht immer eindeutig und mit äußerster Vorsicht zu verwenden. Das Kunststoffverhalten unter Belastung im Langzeittest kann durchaus ein völlig anderes sein als das durch kurzfristige, beschleunigte Testverfahren ermittelte.

## Innovationen mit Kunststoff umsetzen

Eine Vielzahl von Anwendungen aus allen industriellen Bereichen beweisen, daß den Kunststoffen die Zukunft gehört. Werden die Materialeigenschaften von Polymeren konsequent eingesetzt, so können multifunktionale Konstruktionen entstehen, die wirtschaftlich und funktionell den Vorgängerbauanteilen überlegen sind.

Die heutigen Konstruktionsaufgaben verlangen nach immer komplexeren Geometrien und Materialien. Der Werkstoff Kunststoff kann und wird hier in vielerlei Hinsicht Problemlöser sein. Wichtig ist es ihn «artgerecht» einzusetzen. Bei Rohstoffherstellern liegen darüber umfangreiche Erfahrungswerte vor. Dieses Erfahrungspotential gilt es zu nutzen, damit Ideen mit dem Werkstoff Kunststoff zur Wirklichkeit werden.

- Masseanhäufungen vermeiden
- Gleichmäßige Wandstärken anstreben
- Wandstärken so dünn wie möglich und so dick wie notwendig gestalten
- Mit Verrippungen statt Wanddickenerhöhungen konstruieren
- Radien vorsehen
- Ebene Flächen vermeiden
- Entformungsschrägen vorsehen
- Hinterschneidungen vermeiden
- Nicht genauer als notwendig konstruieren
- Multifunktionale Bauteile gestalten
- Wirtschaftliche Montagetechniken anwenden
- Formteile an der dicksten Wandung anbinden

Bei der Substitution von Metallen ist immer eine Neukonstruktion notwendig!

Regeln für den  
Kunststoffkonstrukteur



Bild 4





**Biesterfeld**

*Biesterfeld Interowa GmbH & Co KG*

# Die Top Ten der Spritzgießprobleme

*Autoren: Ernst A. Poppe,  
Karl Leidig und Karl Schirmer*

**Your  
Polymercoach!**



# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



Beim Spritzgießen teilkristalliner technischer Kunststoffe (POM, PA, PBTP, PETP usw.) treten häufig die unten aufgelisteten zehn Probleme auf. Wie sie sich auf einfache Weise vermeiden lassen, beschreiben die Autoren in dieser Serie.

## 1. Folge: feuchtes Granulat






1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

	Symptome beim Spritzgießen	Symptome bei Sichtprüfung der Spritzlinge	Einfluß auf mechanische Eigenschaften
<b>PA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmelze quillt aus der Düse</li> <li>• ausgespritzter Schmelzkuchen zeigt starke Blasenbildung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenschlieren in Fließrichtung</li> <li>• verstärkte Gratbildung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reduzierte Zähigkeit und Festigkeit</li> </ul>
<b>PET PBT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine nennenswerten Symptome</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorsicht ! Keine Schlieren erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stark reduzierte Zähigkeit und Festigkeit</li> </ul>
<b>POM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• evtl. Blasenbildung in ausgespritzten Schmelzkuchen</li> <li>• evtl. Formbelag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mögliche Oberflächen schlieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keiner</li> </ul>
<b>TEEE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine nennenswerten Symptome</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• leicht verstärkte Gratbildung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reduzierte Zähigkeit und Festigkeit</li> </ul>
<b>Wie erkennt man zu hohe Feuchtigkeit ?</b>			

Quelle DuPont

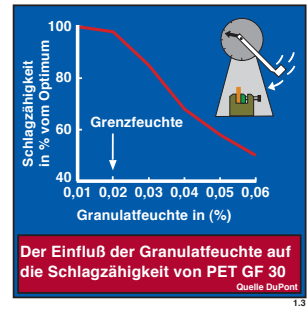
Viele Kunststoffe nehmen, je nach Typ, Feuchtigkeit aus der Luft auf. Die im Granulat enthaltene, oder auch nur oberflächlich als Kondenswasser vorliegende Feuchtigkeit kann gerade bei technischen Thermoplasten zu Problemen führen. Es können die unterschiedlichsten Effekte auftreten, wie z.B. Verarbeitungsprobleme, Oberflächendefekte oder Einbußen bei mechanischen Eigenschaften. Durch einfache Sichtprüfung läßt sich dies selten nachweisen. Dieser Beitrag soll dem Spritzgießer, der eine Vielfalt von Kunststoffen verarbeitet, wertvolle Hinweise zum Umgang mit feuchteempfindlichen Polymerwerkstoffen geben.



					
PA	0,2 %	80°C	2 - 4 h	Nur bei offen gelagerter Ware notwendig	
PBT	0,05 %	120°C	3 - 4 h	Stets trocknen !	
PET	0,02 %	130°C	3 - 4 h	Stets trocknen !	
TEEE	0,1 %	80°C - 110°C	2 - 4 h	Temperatur je nach Härtegruppen	
POM	0,05 %	80°C	1 h	Nur bei Verdacht auf Oberflächenfeuchte	

**Trocknungsempfehlungen für die maximale Granulatfeuchte, Trocknungstemperatur und Trocknungszeit**

Quelle DuPont



## Vortrocknen von Kunststoffen

Die meisten technischen Kunststoffen erfordern für die Verarbeitung die Einhaltung eines maximalen Grenzwerts für die Granulatfeuchte. Die Notwendigkeit der Vortrocknung hängt in erster Linie von der Empfindlichkeit des Rohstoffs gegenüber Wasser ab. Selbstverständlich sind Anlieferungsfeuchte, die Art der Verpackung und die Lagerzeit wichtige Kriterien. Beispielsweise wird Polyamid größtenteils in Säcken mit einer Sperrschicht aus Aluminium verpackt, die ein direktes Verarbeiten vom Sack ermöglicht. Die meisten Verarbeiter von Polyamiden trocknen jedoch prinzipiell vor, um natürliche (Anlieferungsfeuchte, Lagerungszeit) und unnatürliche (angebrochene und beschädigte Verpackung) Schwankungen auszugleichen. PET und PBT hingegen sind in Bezug auf Wasser wesentlich kritischer und müssen immer vorgetrocknet werden, da sonst mit erheblichen Einbußen der Schlagzähigkeit gerechnet werden muß. Hinzu kommt die schnelle Feuchtigkeitsaufnahme nach dem Trocknen, sodaß dem richtigen Umgang mit geöffneten Behältern, dem Transport in Förderanlagen sowie der Verweilzeit im Trichter besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. So kann unter ungünstigen klimatischen Bedingungen PET innerhalb von 10 Minuten soviel Feuchte aufnehmen, daß der zulässige Grenzwert (0,02%) überschritten wird. Besondere Beachtung verdient die Trocknung von Mahlgut und voll gesättigtem Granulat (z.B. durch offen herumstehende Behälter). Hier reichen die empfohlenen Trocknungszeiten in der Regel nicht aus. Voll gesättigtes Polyamid kann Trocknungszeiten von mehr als 12 Stunden erfordern. Die damit verbundene Vergilbung ist kaum zu vermeiden. Daher sollten stets die Grundsätze gelten:

- Angüsse und Mahlgut immer in verschlossenen Behältern lagern!
- Angebrochene Verpackungen stets verschliessen!
- Auf den Trichter gehört stets der Deckel!

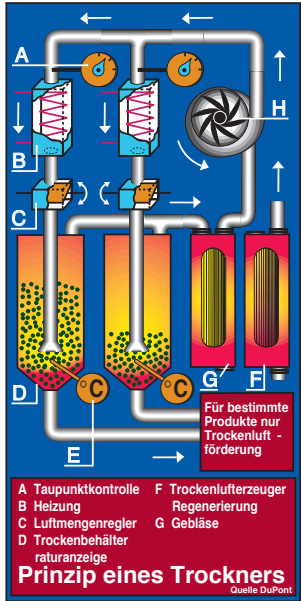
## Trocknertechnik

Das Trocknungsverfahren entscheidet über das Resultat. Während einfache Frischluft- und Umlufttrockner den hohen Ansprüchen der Trocknung z.B. von Polyestern nicht genügen, haben sich Trockenluftsysteme weitgehend durchgesetzt. Nur diese gewährleisten klimaunabhängig eine gleichmäßige und ausreichende Trocknung. Neben der korrekten Trocknungstemperatur und -zeit ist eine Taupunkttemperatur  $\leq -20^\circ\text{C}$  sicherzustellen. Beim Betrieb von Mehrbehälteranlagen mit unterschiedlicher Füllhöhe und Schüttdichte ist zusätzlich auf den erforderlichen Luftdurchsatz in den einzelnen Behältern zu achten. Ein weiteres wichtiges Detail ist, daß das Granulat im Fördersystem nicht mit Umgebungs-, sondern möglichst mit Trockenluft zu fördern ist.

## Feuchtigkeitsüberprüfung

Die Granulatfeuchte läßt sich mit handelsüblichen Prüfgeräten, nach manometrischer oder Karl-Fischer Methode, messen. Um hier Fehlerquellen zu vermeiden, sollte die Probe weit unten im Trichter entnommen und in einem geeigneten Behältnis verschlossen werden. Hier bewähren sich spezielle verschweißbare Taschen, die mit Aluminium und PE kaschiert sind, oder luftdicht verschließbare Glasbehälter aus dem Laborbereich.





Probenentnahme

Quelle DuPont

**Bevorzugte Entnahmestelle**

Quelle DuPont

**Behältnis für Granulatproben**

Quelle Brabender Messtechnik

↑ manometrische  
Methode

Quelle Metrohm

Karl - Fischer  
Methode ↑

Feuchtemeßgeräte

1.5

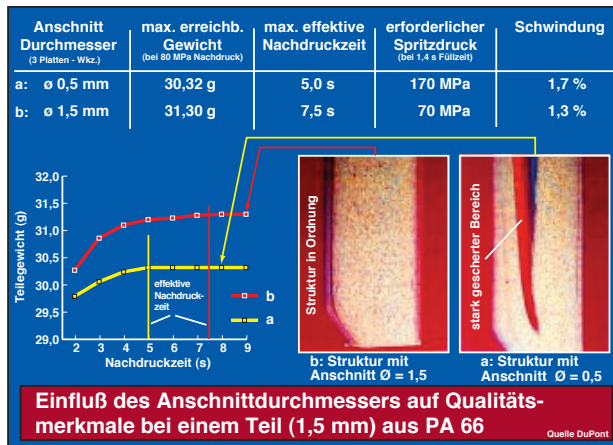
# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

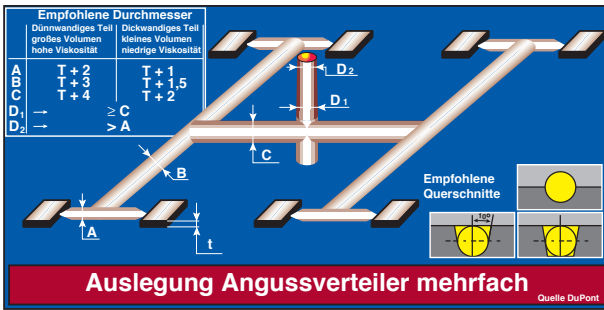
Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



## 2. Folge: zu kleiner Anguss / Anschnitt

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelztemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag





2.2

Bauteile aus technischen Kunststoffen werden heutzutage mit aufwendigen Hilfsmitteln wie CAD, FEM und Fließberechnungen ausgelegt. Leider wird hierbei die Wichtigkeit der korrekten Anguß- und Anschnittauslegung manchmal unterschätzt.

In diesem Beitrag werden die Grundsätze der Angußauslegung für teilkristalline Polymere behandelt. Die Anwendung dieser Grundsätze kann aber nur dann dem Spritzgießer Vorteile bringen, wenn eine korrekte Anschnittlage und Nachdruckzeit gewährleistet sind. Diese Themenkreise werden in den nächsten Folgen behandelt.

## Besonderheit der teilkristallinen Kunststoffe

Teilkristalline Thermoplaste verringern ihr Volumen beim Übergang von der Schmelze in den festen Zustand (Kristallisation) bis zu 14%, je nach Typ. Diese Volumenkontraktion sollte in der Nachdruckphase durch Nachführen von Schmelze möglichst kompensiert werden. Dies ist nur möglich, wenn eine flüssige Seele, aufgrund einer optimalen Auslegung von Anguß- und Anschnittquerschnitt, während der Nachdruckphase beibehalten wird.

## Erkennen eines zu kleinen Angusses bzw. Anschnitts an den Folgen

Bei zu knapp bemessenen Angußsystemen bzw. Anschnitten (siehe Beispiel) kann der Nachdruck nicht über die gewünschte Nachdruckzeit wirksam bleiben. Der Volumenschwund kann dann nur mangelhaft kompensiert werden, und die markantesten Symptome sind Lunker und Einfallstellen (besonders bei unverstärkten Typen) sowie Mikroporositäten (bei verstärkten Typen). Unter dem Mikroskop können diese Symptome beobachtet werden. Weitere Konsequenzen für den Spritzling sind starke Schwankungen in der Maßhaltigkeit, zu hohe Schwindungswerte und verstärkte Verzugsneigung.

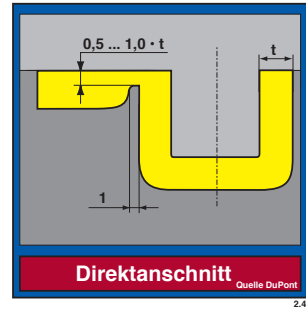
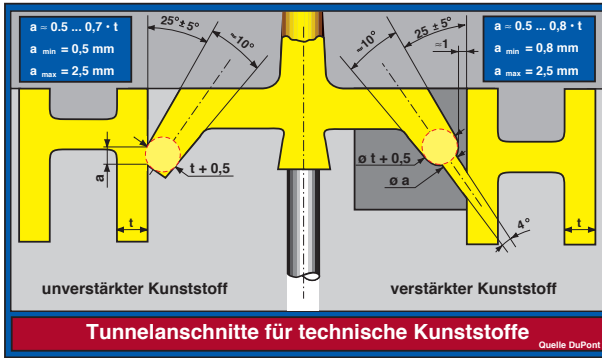
Lunker und Mikroporosität haben einen negativen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften. Sie wirken wie innere Kerben und reduzieren drastisch Bruchdehnung und Zähigkeit. Bei faserverstärkten Typen verursachen zu enge Querschnitte zusätzlich eine Verkürzung der Fasern, was zu einer weiteren Schwächung des Bauteils führt.

Hohe Spritzdrücke und lange Füllzeiten können ein weiterer Hinweis für zu klein dimensionierte Angüsse sein. Dies läßt sich z.B. dadurch erkennen, daß unterschiedliche Einstellungen der Spritzgeschwindigkeit nur wenig Einfluß auf die gemessene Füllzeit haben.

Auch Oberflächendefekte können durch zu kleine Anschnitte auftreten. Überhöhte Scherung kann Entmischung von Additiven wie Zähmodifikatoren, Pigmenten, Flammenschutzmittel und Fasern verursachen. Ebenso verstärkt sich die Neigung zu Freistrahlbildung. Die Folge sind dann Schlieren, matte Stellen, «Marmoreffekt» und in Anschnittnähe «Hofbildung». Die Tendenz zu Formbelagsbildung nimmt zu.







24

## Auslegung des Angußsystems

Grundsätzlich sollte man im ersten Ansatz das Angußsystem von der Teilwandstärke  $t$  ausgehend auslegen (siehe Skizze). An keiner Stelle sollte der Durchmesser des Verteilers kleiner sein als die Wandstärke des Spritzlings. Ausgehend vom Anschnitt darf der Kanaldurchmesser an jeder Verzweigung so erweitert werden, daß annähernd eine gleichmäßige Schergeschwindigkeit beibehalten wird.

Um zu verhindern, daß der stets auftretende kalte Propfen aus der Maschinendüse bis ins Teil gelangt, sollte immer ein Propfenfänger als Verlängerung der Angußstange vorgesehen werden. Dieser sollte in etwa dem Durchmesser der Stange haben, sodaß der Propfen sicher aufgenommen wird.

Für teilkristalline unverstärkte Polymere empfiehlt sich eine minimale Anschnittlänge von 50% der Teilwandstärke. Für die Kristallisationsvorgänge wäre dies auch für die verstärkten Typen ausreichend. Um die Schädigung der Fasern zu minimieren und um der höheren Viskosität dieser Typen Rechnung zu tragen, empfehlen sich Anschnittlängen bis zu 75%.

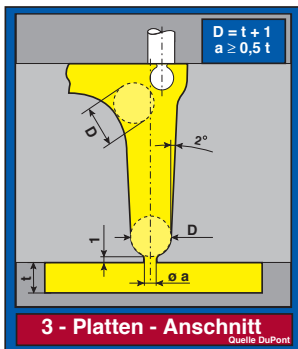
Besondere Beachtung verdient die Anschnittlänge. Um ein frühzeitiges Einfrieren des Anschnittes zu verhindern, bewähren sich Anschnittlängen von  $\leq 1$  mm. Dadurch heizt sich das Werkzeug im Anschnittbereich entsprechend auf und ermöglicht eine optimale Nachdruckwirksamkeit.

Zur Wiederholung die einfachen Grundregeln:

- Immer einen Propfenfänger vorsehen !
- Verteilerdurchmesser größer als Teilwandstärke !
- Anschnittlänge mindestens 50% der Teilwandstärke !

Diese Grundsätze berücksichtigen lediglich das Kristallisationsverhalten der technischen Polymere. Für die Abschätzung der Füllbarkeit können Daten über entsprechende Fließweglängen des Polymers hinzugezogen werden, nötigenfalls empfiehlt sich eine Fließberechnung.

Sicherlich gibt es Anwendungen, die aufgrund ihrer Rahmenbedingungen im Angußdesign von diesen Empfehlungen abweichen. Dies sind dann meistens Kompromisse zwischen Qualität und Wirtschaftlichkeit.



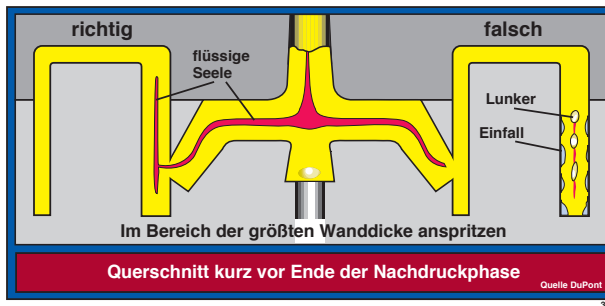
# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer

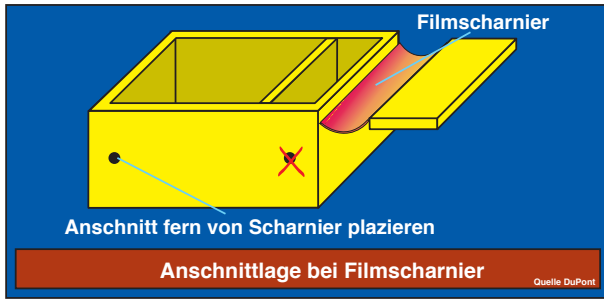


## 3. Folge: falsche Anschnittlage

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag



Die Anschnittlage ist ausschlaggebend für den Fließfrontverlauf und die Nachdruckwirksamkeit, somit für Festigkeit und Eigenschaften des Spritzlings. Da die Positionierung des Anschnitts meistens durch den Konstrukteur bzw. Werkzeugmacher definiert wird, richtet sich dieser Beitrag besonders an diese Personengruppe. Nichtsdestotrotz sollte auch der Spritzgießer in der Planungsphase mit eingebunden werden, um voraussehbare Probleme zu vermeiden.



## Symptome einer ungünstigen Anschnittlage

Die Eigenschaften eines ansonsten richtig ausgelegten Teils aus einem technischen teilkristallinen Polymer können durch eine ungünstige Anschnittpositionierung zunichte gemacht werden. Dies kann sich mit folgenden Symptomen für unverstärkte als auch verstärkte Typen äußern:

Bindenähte und Lufteinschlüsse werden durch den Fließfrontverlauf bestimmt. Sie können die Oberflächengüte und insbesondere für faserverstärkt Typen die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen. Durch Spritzparameter lassen sie sich kaum beeinflussen.

Einfallstellen und Lunker treten auf, wenn eine dicke Wandung über eine recht dünne Wand gefüllt wird. Da die dünnere Wand früher kristallisiert (siehe Illustration), kann die dickere, die eine längere Nachdruckzeit benötigt, nicht mehr mit Schmelze versorgt werden. Neben den optischen und mechanischen Problemen stellt sich in diesem Bereichen eine höhere Schwindung ein, die speziell bei unverstärkten Typen auch zu Verzug führen kann.

Bei einer ungünstigen Lage und Anzahl der Anschnitte können unzulässig lange Fließwege bzw. hohe Fülldrücke entstehen. Dies kann bei geringen zur Verfügung stehenden Zuhaltekräften, bzw. niedrigviskosen und langsamkristallisierenden Polymeren zu verstärkter Gratbildung führen. Weiterhin wird das Verarbeitungsfenster stark eingegrenzt, sodaß gewisse Toleranzen nicht mehr über die Spritzparameter feinkorrigiert werden können.

## Empfehlungen für die optimale Anschnittlage

- Möglichst immer an der dicksten Wand anspritzen.
- Anschnitt an hochbelasteten Stellen meiden (Druckbelastung ist zulässig).
- Längliche Teile möglichst längs anstelle quer oder mittig anspritzen.
- Bei 2 oder mehr Kavitäten die Teile möglichst punktsymmetrisch zur Stange anordnen und anspritzen.
- Rotationsymmetrische Teile (Zahnräder, Scheiben, Laufräder) möglichst mit Schirmanguß mittig oder 3 – fach (oder mehr) mit 3 – Plattenwerkzeug anspritzen, um gute Rundlaufeigenschaften zu erzielen.
- Filmscharniere möglichst quer durchfließen und Anschnitte asymmetrisch setzen, sodaß die Bindenaht außerhalb des Scharniers liegt.
- Becherförmige Teile (kleine Gehäuse, Kondensatorbecher) möglichst in Bodennähe anspritzen um Lufteinschlüsse zu vermeiden.
- Bei rohrförmigen Teilen sollte die Schmelze mittels einer Fließhilfe zuerst den Umfang ringförmig an einer Stirnseite füllen und dann das Rohr längs füllen, um stumpfe Bindenähte zu vermeiden.
- Beim Umspritzen von Stiftkernen, Schmelzkernen oder Blechpaketen sollte die Schmelze ringförmig den Einsatz umfließen können um den Kernversatz gering zu halten.
- Optisch anspruchsvolle Sichtflächen, die keinen Anspritzpunkt zulassen, können eventuell mit einem Hilfsanguß (Zapfen mit langem Tunnel) von der Unterseite angespritzt werden.
- Anschnittlage derart wählen, daß kurzzeitige Fließfrontstillstände (komplexe Teile, Mehrfachformen mit verschiedenen Geometrien) während des Füllens vermieden werden.





Diese Empfehlungen können natürlich nicht die ganze Bandbreite der möglichen Anwendungen abdecken. Es wird je nach Komplexität der Spritzlinge immer wieder Kompromisse geben. Dennoch sollten in der Planungsphase diese Kriterien möglichst gut berücksichtigt werden. Füllsimulationen sind hier ein wichtiges Hilfsmittel.

**Punktsymmetrisch füllen (Gratbildung)**

---

**Vorzugsweise stirnseits anspritzen (wegen Verzug)**

---

**Einlegeteile ringförmig umfließen**

**Anschnittlagen**  
Quelle DuPont

3.3

**Rohre längs füllen**

**Becher in Bodennähe anspritzen**

**Evtl. Hilfsanguß benutzen**

**Anschnittlagen**  
Quelle DuPont

3.4



# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



## 4. Folge: zu kurze Nachdruckzeit

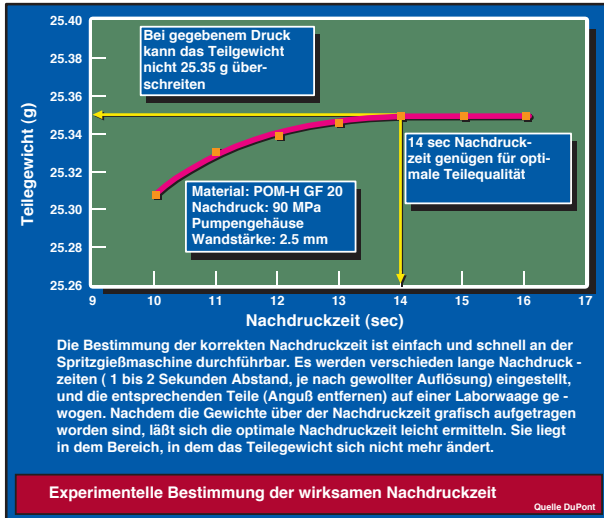
1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Die Praxis zeigt, daß viele Spritzgießer aus ihrer Erfahrung mit amorphen Kunststoffen mit kurzer profilierter Nachdruckzeit und langer Kühlzeit arbeiten. Leider wird dann diese Einstellstrategie auch bei der Verarbeitung von teilkristallinen technischen Kunststoffen (POM, PA, PBT, PET, etc.) angewendet. Dieser Beitrag soll dem Einsteller die wichtigsten Grundlagen vermitteln, um die Spritzgießmaschine in bezug auf die Nachdruckzeit möglichst optimal einzustellen.



## Was passiert während der Nachdruckphase?

Nach dem Füllen der Kavität beginnt die Kristallisation der Moleküle, d.h. die Molekülketten ordnen sich in organisierter Form aneinander und es entsteht eine höhere Packungsdichte. Dieser Vorgang beginnt in der Randzone und endet in der Mitte der Wand (siehe Bilder zur Anschauung). Der hierdurch verursachte Volumenschwund kann z.B. bei POM bis zu 14% betragen. Dieses Materialvolumen muß so weit wie möglich in Form von neuer Schmelze während der Nachdruckphase in die Kavität nachgeführt werden. Ist die Nachdruckzeit zu kurz, so entstehen kleine Hohlräume (Lunker oder Mikroporosität) die die Formteileigenschaften vielfältig negativ beeinflussen können.



Material	Kristallisierungszeit pro mm Wandstärke
POM - H	7,5 - 8,5 $\frac{s}{mm}$
PA 66	3,5 - 4,5 $\frac{s}{mm}$
PA 66 (schlagzäh)	3,0 - 4,0 $\frac{s}{mm}$
PA 66 GF 30	2,5 - 3,5 $\frac{s}{mm}$
PET GF 30	3,0 - 4,0 $\frac{s}{mm}$
PBT	3,5 - 4,5 $\frac{s}{mm}$
PBT GF 30	2,5 - 3,5 $\frac{s}{mm}$

Kristallisationsgeschwindigkeit für 3 mm Wandstärke

Quelle DuPont

## Wie erkennt man eine zu kurze Nachdruckzeit-Einstellung?

Oftmals treten an Teilen mit zu kurzer Nachdruckzeit hohe Schwindungswerte, Verzug, Einfallstellen, Lunkerbildung und teilweise auch enorme Einbußen bei den mechanischen Eigenschaften auf. Zusätzlich können starke Maßschwankungen entstehen.

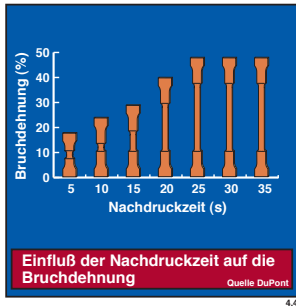
In manchen Fällen wird dann fälschlicherweise versucht einzelne Mängel durch längere Kühlzeiten zu kompensieren. Die Folge sind unnötig lange Zykluszeiten.

Eine Methode, die Auswirkungen einer zu kurzen Nachdruckzeit zu erkennen, besteht bei unverstärkten Polymeren darin, den Spritzling im Bereich der größten Wandstärke durchzutrennen. Die polierte Schnittfläche kann dann auf Lunker und Mikroporositäten untersucht werden. Hier sind einfache Hilfsmittel wie Lupe oder Auflichtmikroskop ausreichend für eine erste Beurteilung. Ein aufwendigeres Verfahren ist die Herstellung von Mikrotomschnitten (siehe Abbildung). Damit lassen sich auch noch feinste Unregelmäßigkeiten mit dem Durchlichtmikroskop sichtbar machen.

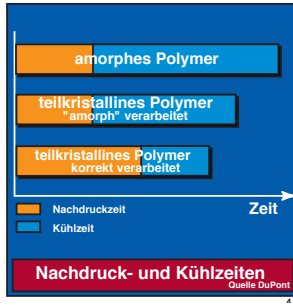
Bei verstärkten Typen lassen sich Fehlstellen gut an einer Bruchfläche im Bereich der größten Wanddicke erkennen. Ist die Nachdruckzeit zu kurz, tritt eine schaumähnliche Struktur im Bruchbereich auf. Bei entsprechender Vergrößerung werden im Bruchbild freiliegende Fasern sichtbar, die keine Ummantelung mit Polymer aufweisen. Oder man stellt einen Schliff her, bei dem sich Porosität unter dem Mikroskop nachweisen läßt.

Die wirksame Nachdruckzeit läßt sich an der Spritzgießmaschine über die Gewichtsmethode (siehe Beschreibung) bestimmen. Dies ist die beste Methode um unter Praxisbedingungen die für ein bestimmtes Teil erforderliche Nachdruckzeit zu bestimmen.

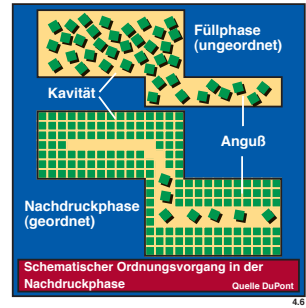
Als grobe Richtlinie kann man für eine Optimierung auch Erfahrungswerte (siehe Tabelle) zum Vergleich heranziehen. Diese gelten nur für die angegebene Wandstärke und können nicht alle Randbedingungen (Temperaturen, nukleierende Additive und Pigmente, Füllzeit usw.) der Anwendung berücksichtigen. Bei kleineren Wandstärken fallen diese Werte niedriger, bei größeren höher aus.



4.4



4.5



4.6

## Die richtige Einstellstrategie

Zur Erzielung optimaler Eigenschaften des Spritzlings sollte die Nachdruckzeit über die Gewichtsmethode, wie beschrieben, bestimmt werden. Die Kühlzeit ist auf das erforderliche Minimum (meist knapp über Dosierzeit) herabzusetzen. Ein positives Ergebnis ist natürlich nur bei vernünftiger Anschnittlage und korrekter Angußauslegung zu erzielen (siehe Folge 2 und 3). Weiterhin ist darauf zu achten, daß die Nachdruckhöhe konstant gehalten wird. Je nach Material befindet sich das erforderliche Druckniveau im Bereich zwischen 60 und 100 MPa.



# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

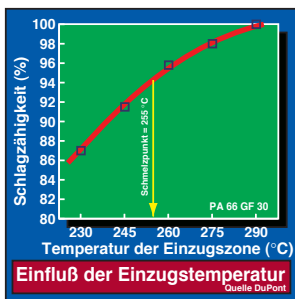
Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



## 5. Folge: falsche Schmelzetemperatur

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Die Wahl der richtigen Schmelzetemperatur ist bei der Verarbeitung der teilkristallinen technischen Kunststoffe entscheidend für die Formteilqualität. Der Spielraum ist in der Regel geringer als bei amorphen Rohstoffen. Hier nimmt der Spritzgießer an der Maschine direkten Einfluß auf die Eigenschaften des Fertigproduktes. In diesem Beitrag wird auf die Besonderheiten beim Umgang mit POM, PA, PBT und PET eingegangen.



5.1

Material	Schmelzpunkt	empfohlene Schmelzetemperatur
POM - H	175 °C	215 ± 5 °C
PA 66	255 °C	290 ± 10 °C
PA 66 GF 30	255 °C	295 ± 10 °C
PA 6	225 °C	250 ± 10 °C
PA 6 GF 30	225 °C	270 ± 10 °C
PBT	225 °C	250 ± 10 °C
PBT GF 30	225 °C	250 ± 10 °C
PET GF 30	255 °C	285 ± 5 °C

**Verarbeitungstemperaturen**  
Quelle DuPont

5.3



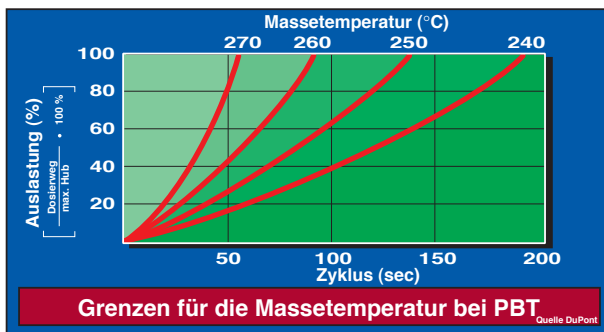
## Was passiert bei «falscher» Schmelzetemperatur?

Sowohl eine zu hohe als auch eine zu niedrige Schmelzetemperatur kann im Einzelfall falsch sein. Zusätzlich ist noch der Faktor Homogenität, d.h. die gleichmäßige Temperaturverteilung zu berücksichtigen.

Zu hohe Temperaturen verursachen thermischen Abbau des Polymers, d.h. daß die Molekülketten zerstört werden. Ebenso können sich Additive (z.B. Pigmente, Schlagzähmodifikatoren etc.) zersetzen. Die Konsequenzen sind geringere mechanische Eigenschaften (kürzere Molekülketten), Oberflächendefekte (Abspaltprodukte) und Geruchsbelästigung.

Bei zu niedriger Temperatur tritt Inhomogenität im Gefüge auf. Diese reduziert drastisch die Schlagzähigkeit und führt meistens zu starken Schwankungen der mechanischen Eigenschaften.

Neben der Temperatur spielt aber auch die Verweilzeit des Polymers in der Spritzeinheit eine gewichtige Rolle. Erfahrungsgemäß werden bei qualitativ hochwertigen Anwendungen Verweilzeiten im Bereich von 2 bis 9 Minuten beobachtet. Bei längeren Verweilzeiten kann unter Umständen bei normalen Temperaturen thermische Zersetzung auftreten. Bei sehr kurzen Verweilzeiten reicht meist die Zeit zum vollständig homogenen Aufschmelzen nicht aus.



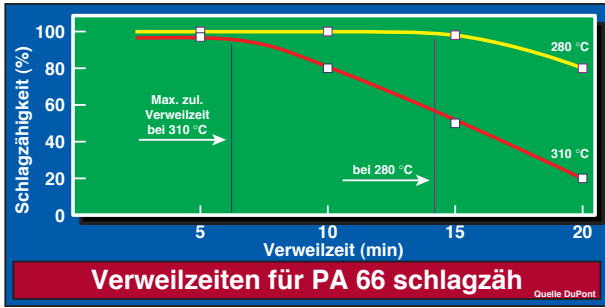
## Wie erkennt man falsche Schmelzetemperaturen?

Bei POM äußert sich eine thermische Überbelastung mit Blasenbildung in der Schmelze durch Abbauprodukte. Dies läßt sich sehr gut am Querschnitt eines ausgespritzten Schmelzekuchens beobachten. Weitere Symptome sind vermehrte Belagsbildung und Geruchsbelästigung. Die mechanischen Eigenschaften werden bei POM-Homopolymer allerdings kaum beeinträchtigt.

PA zeigt unter extremen Bedingungen, auch bei Überhitzung durch ungünstig beheizte Maschinendüsen, Verfärbungserscheinungen. Bei allen PA-Typen äußert sich die thermische Zersetzung in reduzierten mechanischen Eigenschaften. Labortechnisch läßt sich der thermische Abbau durch Messungen der Lösungsviskosität, die vom Verarbeiter in der Regel aber nicht durchführbar sind, ermitteln.

Noch stärker auf thermische Überbelastung reagieren PBT und PET mit ihren Zähigkeitseigenschaften. Während der Verarbeitung sind kaum Mängel zu erkennen. Wenn keine geeignete Qualitätskontrolle erfolgt, werden Schäden häufig erst bei der Montage oder im Einsatz erkannt. Tritt Verfärbung auf, kann man von einer außerordentlich hohen Schädigung ausgehen. Für die Praxis bieten sich Tests an, mit denen stichprobenartig teilspezifische Zähigkeitseigenschaften ermittelt werden. Untersuchungen der Viskosität an Fertigteilen sind aufwendig und teuer.

Zu niedrige Schmelzetemperaturen lassen sich bei unverstärktem PA oder PBT anhand der unaufgeschmolzenen Partikeln beim Ausspritzen eines Schmelzekuchens beobachten.



5.4

## Die richtige Schmelzetemperatur

Der optimale Schmelzetemperaturbereich ist den jeweiligen Datenblättern der einzelnen Typen zu entnehmen. Prinzipiell sollte man sich nicht auf die Einstellung der Zylinderzonen temperatur verlassen. Denn neben der zugeführten Wärmeenergie durch die Heizbänder tritt zusätzliche Erwärmung durch Friktion auf. Diese ist von einer Anzahl Faktoren wie Schneckenengeometrie und -drehzahl sowie dem Staudruck abhängig.

Für eine präzise Messung kann folgendes empfohlen werden:

- Durchmesser des Fühlers <math>< 1,5 \text{ mm}</math> (Ansprechverhalten!)
- Messfühler vorheizen
- Schmelze mit einem wärmeisolierenden Behältnis aufnehmen
- Während der Messung rühren

Für Erstabmusterungen oder bei Fehlen von Erfahrungswerten, sollte man ein Temperaturprofil wählen, daß in der Einzugszone etwa  $10\text{--}15^\circ\text{K}$  über dem Schmelzpunkt und in der Meteringzone etwa  $5\text{--}10^\circ\text{K}$  unter der gewünschten Schmelzetemperatur liegt. Je nach gemessener Schmelzetemperatur kann dann die Temperatur feinjustiert werden. Bei langen Verweilzeiten und kurzen Dosierwegen ergeben sich in der Regel ansteigende Profile, für kurze Verweilzeiten und lange Dosierwege können flache Profile zu den besten Ergebnissen führen. Keinesfalls sollte eine Temperaturzone unterhalb des Schmelzpunktes des Polymers eingestellt werden.



5.5



5.6



# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

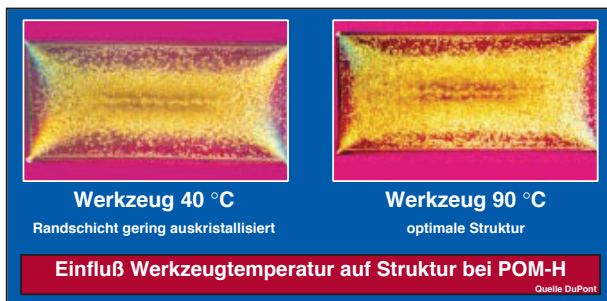
Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



## 6. Folge: Ungünstige Werkzeugtemperatur

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelztemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Das Einhalten der richtigen Werkzeug- Oberflächentemperatur ist bei den teilkristallinen technischen Thermoplasten wie POM, PA, PBT und PET besonders wichtig. Die Grundvoraussetzungen für eine optimale Verarbeitung sind in der Werkzeugkonstruktion zu schaffen. Nur dann ist der Verarbeiter in der Lage, unter Verwendung geeigneter Temperiergeräte, eine gute Formteilqualität zu gewährleisten. Intensive Zusammenarbeit in der Planungsphase vermeidet Einschränkungen bei der späteren Produktion.



## Mögliche negative Folgen einer ungünstigen Werkzeugtemperatur

Am einfachsten erkennbar ist eine schlechte Oberflächenqualität von Formteilen. Zu niedrige Oberflächentemperatur im Werkzeug ist hier häufige Ursache.

Bei den teilkristallinen Polymeren besteht eine starke Abhängigkeit von Schwindung und Nachschwindung von der Wzt. und der Wandstärke des Formteiles. Ungleichmäßige Wärmeabfuhr im Werkzeug führt daher zu Schwindungsdivergenzen. Dies kann dazu führen, daß Formteiltoleranzen nicht einhaltbar sind. Im ungünstigsten Fall entstehen nicht korrigierbare Verzugserscheinungen, die sowohl bei unverstärkten als auch bei verstärkten Produkten vorkommen.

Maßabweichungen von Teilen bei hohen Einsatztemperaturen werden durch generell zu niedrige Oberflächentemperatur verursacht, da trotz der niedrigeren Verarbeitungsschwindigkeit eine wesentlich erhöhte Nachschwindung auftritt.

Ist eine lange Anfahrphase notwendig bis sich die Abmessungen stabilisiert haben, dann ist das ein Hinweis auf mangelnde Temperaturkonstanz, das Werkzeug heizt sich auf.

Auch die mechanischen und thermischen Eigenschaften dieser Rohstoffe sind abhängig von der Werkzeugtemperatur. So nimmt z.B. die thermische Belastbarkeit von PET bei zu tiefer Werkzeugtemperatur erheblich ab.

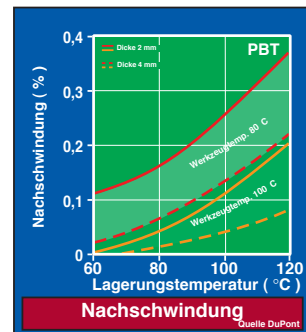
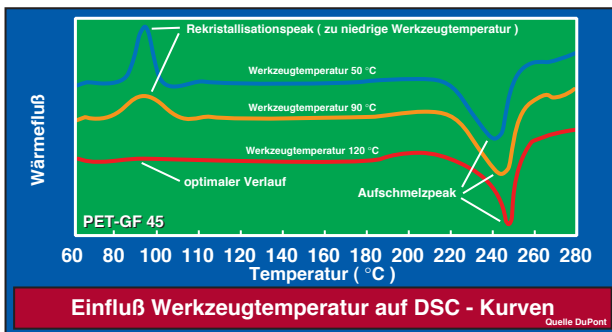
Schlechte Wärmeableitung in einzelnen Bereichen des Werkzeuges können erhebliche Verlängerungen der Zykluszeit verursachen.

Ungünstige Werkzeugtemperaturen lassen sich teilweise auch mit analytischen Methoden wie Strukturuntersuchungen (z.B. bei POM) und DSC-Untersuchungen (z.B. bei PET) feststellen.

## Empfehlungen für eine optimale Werkzeugtemperatur

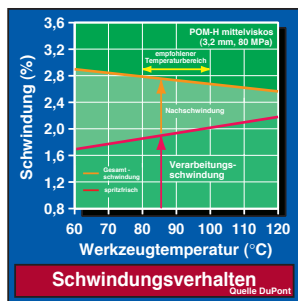
Die Komplexität der Werkzeuge und damit die Schwierigkeiten optimale Bedingungen für die Temperierung zu schaffen nimmt ständig zu. Abgesehen von einfachen Formteilen ist das Temperiersystem immer ein Kompromiß. Die folgende Aufzählung empfohlener Maßnahmen kann daher nur eine grobe Leitlinie sein.

- Temperierung muß Teil der Werkzeugkonstruktion sein.
- Bei Teilen mit kleinem Schubgewicht und großer Werkzeugmasse guten Wärmeaustausch im Aufbau vorsehen.
- Durchflußquerschnitte im Werkzeug und den Zuleitungen groß bemessen.
- Möglichst Wasser als Temperiermedium verwenden. Zu- und Überbrückungsleitungen in druck- und temperaturbeständiger Ausführung für Druckwassergeräte vorsehen.



- Leistung der Temperiergeräte den Gegebenheiten des Werkzeuges anpassen. Entsprechende Angaben sind den Unterlagen der Gerätehersteller zu entnehmen.
- Druckfeste Wärmeisolationsplatten zwischen Werkzeug und Maschine.
- Düsen- und Auswerferseite getrennt temperieren.
- Getrennte Kreisläufe für Schieber und Kerne, sodaß man mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen fahren kann.
- Unterschiedliche Kreisläufe nur in Reihe, nicht parallel schalten.
- Die Anzeige von Vor- und Rücklaufemperatur am Temperiergerät ist vorteilhaft.
- Zur Prozesskontrolle empfiehlt es sich einen Thermofühler in das Werkzeug einzubauen, um während der laufenden Produktion eine Kontrollfunktion für Werkzeugtemperatur zu haben.

Als konstante Oberflächentemperatur im Werkzeug stellt sich nach 20–30 Zyklen ein thermisches Gleichgewicht ein, das von einer Vielzahl von Faktoren abhängt. Daher ist es notwendig, in einer kurzen Zyklusunterbrechung, die Temperatur an einer markanten Stelle in der Kavität zu messen. Hierfür sind schnell ansprechende Oberflächenfühler zu verwenden. Danach kann die Vorlaufemperatur am Temperiergerät so korrigiert werden, daß man die Solltemperatur für den jeweiligen Kunststoffes erreicht. Die empfohlene Temperatur ist den Datenblättern der einzelnen Rohstofftypen zu entnehmen. Diese Empfehlungen stellen den besten Kompromiß zwischen Oberflächengüte, mechanische Eigenschaften, Schwindungsverhalten und Zykluszeit dar.



6.4

Material	empfohlene Werkzeugtemperatur
POM - H	90 °C
PA 66	70 °C
PA 66 GF 30	110 °C
PA 6	70 °C
PA 6 GF 30	85 °C
PBT	80 °C
PBT GF 30	80 °C
PET GF 30	110 °C

**Werkzeugtemperaturen**  
Quelle DuPont

6.5

# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



## 7. Folge: Oberflächendefekte

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Der Einsatz von teilkristallinen technischen Thermoplasten wie POM, PA, PBT und PET wird überwiegend mit den hervorragenden mechanischen, thermischen und elektrischen Eigenschaften begründet. Weitere Vorteile gegenüber den amorphen Rohstoffen sind die gute Chemikalienbeständigkeit und geringe Neigung zu Spannungsrißkorrosion. Bei zahlreichen Anwendungen werden noch zusätzlich hohe Anforderungen an die Oberflächengüte gestellt. Dieser Beitrag soll eine Hilfestellung zur Beseitigung von eventuell auftretenden Oberflächendefekten sein.

### Lokalisieren und definieren von Defekten

Zur Lösung von Problemen ist zunächst Ort und zeitliches Auftreten des Fehlers zu untersuchen. Hier empfiehlt es sich das Auftreten des Defektes während des Spritzgießens zu beobachten. So ist z.B. zu klären:

- tritt der Defekt bei jedem Schuß oder unregelmäßig auf?
- tritt der Defekt immer in den gleichen Kavitäten auf?
- tritt der Defekt immer an der gleichen Stelle des Teiles auf?
- kann der Defekt bereits bei einer Füllstudie schon erkannt werden?
- ist der Defekt schon auf dem Verteiler erkennbar?
- wie verhält sich der Defekt nach einem Chargenwechsel?
- tritt der Defekt nur auf einer Maschine oder auf mehreren auf?



## Analysieren möglicher Ursachen für Oberflächendefekte

Die Ursache von Oberflächendefekten kann sehr unterschiedlich sein. Hier kommen z.B. folgende Punkte in Frage:

- Aufbereitung wie Trocknung, Mahlgutqualität und Verschmutzung (Fremdmaterial)
- Spritzgießparameter wie Schmelzetemperatur, Spritzgeschwindigkeit und Umschaltpunkt
- Zustand der Spritzeinheit wie Verschleiß und Verweilstellen
- Auslegung des Heißkanalsystems (Fließquerschnitt, Massestillstände)
- Werkzeugauslegung wie Anschnittlage und -querschnitt, Pfropfenfänger, Entlüftung, usw.
- Zusatzstoffe wie Pigmente, Farbstoffe
- Polymer

## Rückschlüsse aus den verschiedenen Erscheinungsformen

### 1. Regelmäßige lokale Defekte

Bei Defekten, die stets an der gleichen Stelle auftreten ist es möglich, daß es in der Maschinen- oder Heißkanaldüse eine Problemzone gibt. Die Geometrie des Angußverteilers, des Anschnitts oder des Teiles selbst (z.B. scharfe Kanten, Wandstärkensprünge, usw.) können ebenso verantwortlich sein. Von Seiten der Verarbeitung kann in diesem Fall auch das Einspritzprofils oder der Umschaltpunkt die Ursache sein.

### 2. Unregelmäßige lokale Defekte

Bei sporadischen Defekten, die an unterschiedlichen Stellen auftreten, empfiehlt es sich zunächst die Materialaufbereitung (Mahlgutqualität sowie Staubanteil), zu betrachten. Niedrige Massetemperatur und Dosierparameter wie Staudruck, Schneckendrehzahl und Schneckenrückzug können eine wichtige Rolle spielen.

### 3. Großflächige Defekte

Diese Art von Defekt geht meist über das ganze Formteil und ist häufig schon auf dem Verteilerkanal sichtbar. In diesem Fall ist vorrangig zu prüfen ob eine Zersetzung der Schmelze vorliegt. Zu diesem Zwecke spritzt man einen Schmelzekuchen aus und beobachtet ob z.B. Blasenbildung auftritt. Beim Einsatz von Heißkanalsystemem ist diese Methode nur bedingt anwendbar. Die Ursachen der Zersetzung können thermischer Abbau des Polymers bzw. dessen Additive durch zu hohe Temperaturen oder zu lange Verweilzeiten sein. Bei hygroskopischen Polymeren spielt zusätzlich der hydrolytische Abbau bei ungenügender Trocknung eine gewichtige Rolle.

## Generelle Empfehlungen






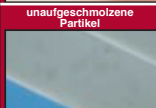
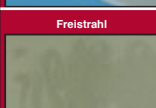

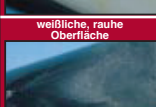
Optisch anspruchsvolle Teile aus technischen teilkristallinen Polymeren sollte man möglichst nicht direkt mit einem Heißkanal anspritzen. Es empfiehlt sich einen Unterverteiler vorzusehen. Dies erlaubt eine gute thermische Trennung von Düse und Teil was die Gefahr von Oberflächenmarkierungen reduziert.

Der kalte Pfropfen aus der Maschinen- oder Heißdüse sollte in einem Pfropfenfänger gegenüber der Angußstange aufgefangen werden, so daß er nicht in das Teil gelangt.

In der nebenstehenden Tabelle sind einige Oberflächendefekte und ihre mögliche Beseitigung aufgeführt. In der Praxis treten allerdings auch Kombinationen von Defekten auf, deren Ursachenforschung wesentlich komplizierter wird und zur Beseitigung einen größeren Aufwand erfordern.





Symptom	Typen	Typen	mögliche Erklärung	mögliche Beseitigung
<b>Schlieren in Fließrichtung</b> 	alle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei jedem Schuß über größere Flächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• feuchtes Granulat (bei PA)</li> <li>• thermische Zersetzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulatfeuchte prüfen</li> <li>• Trocknung überprüfen</li> <li>• Schmelzetemperatur überprüfen</li> </ul>
<b>Mamoreffekt</b> 	mineralverstärkte Typen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei jedem Schuß</li> <li>• hinter scharfen Kanten</li> <li>• in Anschnittnähe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zu hohe Scherung</li> <li>• Slip-stick Effekt (Außenhautwanderung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spritzgeschwindigkeit senken (evtl. Profil)</li> <li>• scharfe Kanten abrunden</li> <li>• Anschnitt vergrößern</li> </ul>
<b>kalter Propfen</b> 	alle, vorzugsweise bei verstärkten Typen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tritt meist an nur einer Stelle auf</li> <li>• geht durch die ganze Wandstärke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kalter Pfropfen oder inhomogene Schmelze aus Düsen- oder Heißkanalspitze gelangt bis in das Teil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propfenfänger vorsehen</li> <li>• evtl. Düsentemperatur anheben</li> </ul>
<b>Einfallstelle</b> 	alle, vorzugsweise bei verstärkten Typen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gegenüber von Rippen</li> <li>• im Bereich von Masseanhäufungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere Schwindung bei Massenanhäufung, da dort der Nachdruck nicht ausreichend lang wirksam ist</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Designverbesserung (Rippen dünner, gleichmäßige Wandstärken)</li> <li>• Anschnittverlegung</li> </ul>
<b>verbrannte Oberfläche</b> 	alle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• immer an der gleichen Stelle (Zusammenfluß, Fließwende,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxidation durch komprimierte Luft, die nicht entweichen kann (Diseleffekt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entlüftungen vorsehen bzw. verbessern</li> <li>• langsamer einspritzen</li> </ul>
<b>unaufgeschmolzene Partikel</b> 	alle, vorzugsweise unverstärkte Typen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sporadisch an unterschiedlichen Stellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polymer wird nicht korrekt aufgeschmolzen bzw. homogenisiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmelzetemperatur prüfen (evtl. zu niedrig)</li> <li>• Staudruck erhöhen</li> <li>• Schneckendrehzahl prüfen</li> <li>• ggf. größeren Zylinder benutzen (längere Verweilzeit)</li> </ul>
<b>Freistrah</b> 	alle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei jedem Schuß</li> <li>• meist vom Anschnitt ausgehend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmelzestrah</li> <li>• tritt ohne Wandhaftung aus dem Anschnitt in das Teil</li> <li>• kein Fließwiderstand, der Quellfluß unterstützt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• langsamer einspritzen (evtl. Profil) um Quellfluß zu erhalten</li> <li>• Fließbremse bzw. Hindernis hinter Anschnitt vorsehen</li> <li>• ggf. Anschnitt verlegen</li> </ul>
<b>sporadische braune Flecken</b> 	alle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 - 15 Schuß sind i.O., dann tritt über 1-2 Schuß der Defekt auf, danach sind wieder 5-15 Schuß i.O., usw...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verweilstelle in Düse oder Heißkanal (z.B. Vorkammer). Erst wenn das Polymer zersetzt ist, wird es in den Schmelzestrom gedrückt. Danach füllt sich die Verweilstelle wieder mit frischer Schmelze, usw.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verweilstelle beseitigen</li> <li>• Umlenkungen verbessern</li> </ul>
<b>weißliche, raue Oberfläche</b> 	verstärkte Typen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• am Fließwende</li> <li>• hinter Kanten und Umlenkungen</li> <li>• im Rippenbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kurzzeitiger Schmelzefrontstillstand beim Füllen</li> <li>• Polymer kristallisiert bevor es an die Wand gepreßt wird</li> <li>• Glasfasern liegen an der Oberfläche.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spritzgeschwindigkeit erhöhen</li> <li>• Schmelzetemperatur prüfen (evtl. zu niedrig)</li> <li>• Umschaltpunkt und -modus überprüfen (nicht mit Nachdruck füllen !)</li> </ul>

**Typische Oberflächendefekte und deren mögliche Beseitigung**

Quelle DuPont

71





# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Karl Leidig, Ernst A. Poppe, Karl Schirmer



## 8. Folge: Schwierigkeiten mit Heißkanälen

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelztemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Die Wahl des richtigen Heißkanalsystems bestimmt bei der Verarbeitung der teilkristallinen technischen Kunststoffe wesentlich die Funktion des Werkzeuges und die Formteilqualität. Im Vergleich zu amorphen Rohstoffen sind die Anforderungen in bezug auf die Temperaturführung wesentlich höher. Der Heißkanaltyp und dessen Installation entscheiden über die Eigenschaften der Fertigteile.

In diesem Beitrag wird auf die wesentlichsten Punkte hingewiesen, die bei der Auswahl eines geeigneten Heißkanals für POM, PA, PBT und PET notwendig sind.

### Was passiert beim Einsatz nicht geeigneter Heißkanäle?

Ungeeignete Systeme verursachen in der Regel hohe Druckverluste und sind, wenn überhaupt, nur mit überhöhten Temperaturen zu betreiben. Die Folge sind meist thermischer Abbau des Polymers mit allen Folgen wie bereits in TOP 5 «falsche Schmelztemperatur» erläutert.

Hinzu kommen Schlieren, Verfärbungen oder Oberflächenstörungen. Dies wird verursacht durch örtliche Überhitzungen im System. Es entsteht thermische Überbelastung die teilweise bis zur Zersetzung der Rohstoffe mit Blasenbildung oder anderen negativen Erscheinungen durch Abbauprodukte führt.

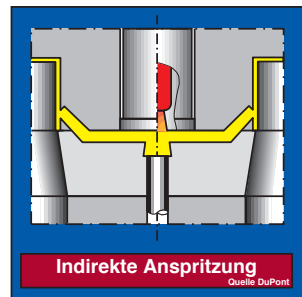
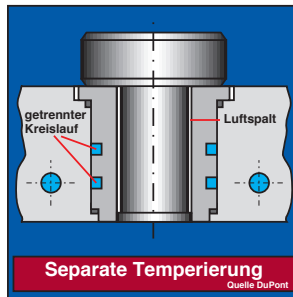
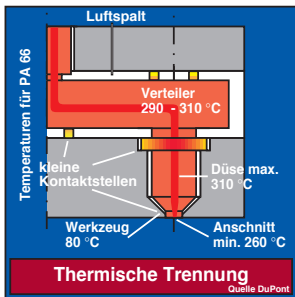
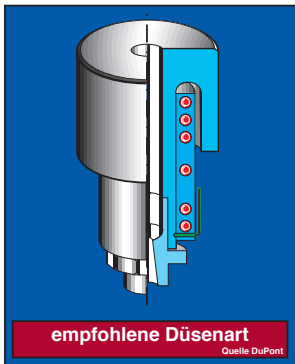
## Worauf ist bei der Auslegung eines neuen Heißkanalwerkzeuges zu achten?

Die hier erwähnten Rohstoffe weisen alle einen kleinen Spielraum zwischen empfohlener Massetemperatur und der Erstarrungstemperatur auf. Daher ist eine gute thermische Trennung zwischen Heißkanal und Werkzeugaufbau notwendig. Dies bezieht sich auf Verteiler und die Düsen.

Die Düsenanordnung ist so zu wählen, daß natürlich balancierte Verteiler einsetzbar sind. Nur dies gewährleistet den gleichen Druckverlust und die gleiche Materialverweilzeit zu allen Kavitäten.

Bei kleinen Schußgewichten ist speziell mit glasfaserverstärkten Materialien eine indirekte Anspritzung der Direkten vorzuziehen. Der Materialdurchsatz pro Düse wird höher und dadurch die thermische Belastung besser beherrschbar. Der Anschnitt an der HK-Düse kann groß gewählt werden, der Anschnitt am Teil bleibt durch die konventionelle Anbindung klein. Auf jeden Fall ist ein Pfropfenfänger gegenüber der HK-Düse vorzusehen. Nur so ist zu vermeiden, daß kaltes Material aus der Düse in das Teil gelangt.

Für den HK- Einlauf, den Verteiler und jede Düse sind separate Regler zu installieren. Nur so ist eine



individuelle Abstimmung aller Bereiche auf die empfindlichen Rohstoffe möglich. Es sind Regler einzusetzen, die durch Anpassung der Leistungszufuhr eine gute Temperaturkonstanz gewährleisten (z.B. PID).

Die mechanische Abstützung des Heißkanalbereiches ist vergleichbar mit der im Auswerferbereich zu handhaben. Im Bereich des Verteilers entsteht eine Schwächung des Werkzeuges die durch entsprechende Abstützungen weitestgehend auszugleichen ist.

Separate Temperierkreisläufe im unmittelbaren Bereich der Heißkanaldüsen ermöglichen die unabhängige Optimierung der Werkzeugoberflächentemperaturen.

## Was sind die wichtigsten Auswahlkriterien für Heißkanalverteiler und Düsen?

Verteiler mit vollem Fließquerschnitt und symmetrisch eingebrachten Heizleitern sind die beste Lösung. Innenbeheizte Systeme, die nur einen Ringquerschnitt haben, verursachen zu hohe Druckverluste und sollten möglichst vermieden werden.

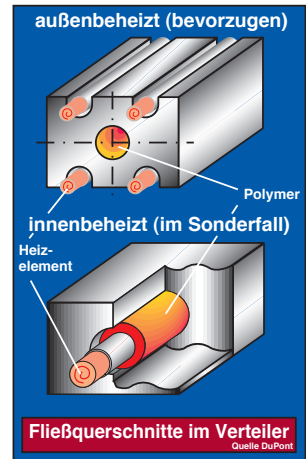
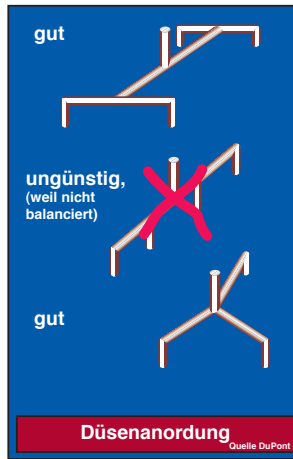
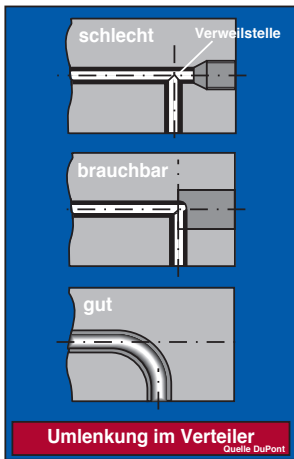
Bei der hohen thermischen Empfindlichkeit von z.B. POM oder auch den flammhemmend ausgerüsteten Rohstoffen muß die Umlenkung im Verteiler möglichst optimal sein.

Bei den Düsen ist, wenn immer möglich, mit außen beheizten offenen Systemen mit vollem Fließquerschnitt zu arbeiten. Die Aufteilung der Masse im Anschnittbereich in mehrere Einzelströme ist zu vermeiden. Die Verteilung der installierten Leistung sollte auf die Verhältnisse in eingebautem Zustand abgestimmt sein, daß eine gleichmäßige Temperaturverteilung entsteht. Vorteilhaft sind austauschbare Spitzen, falls abrasive Materialien verarbeitet werden. Zusätzlich sind Kompromisse mit kleinen Torpedos möglich, wenn der Abriß optimiert werden muß.

Bei der Verarbeitung von POM ist von Verschußsystemen generell abzuraten.

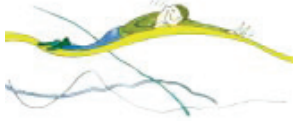
Falls bei den anderen Rohstoffen mit Nadelverschluß gearbeitet werden muß gilt, daß Düsen / Nadel Kombinationen einzusetzen sind, die den Druckverlust möglichst gering halten.

Es werden eine große Anzahl Heißkanalsysteme angeboten, die bei entsprechender Berücksichtigung der aufgeführten Empfehlungen zu sehr guten Ergebnissen führen.



# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Karl Leidig, Ernst A. Poppe, Karl Schirmer



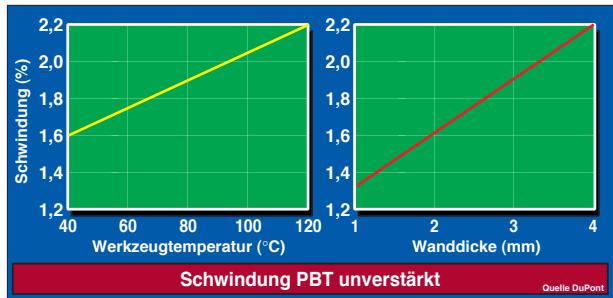
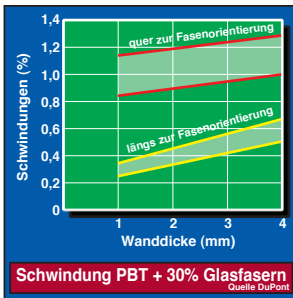
## 9. Folge: Verzug

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Die Neigung zu Verzugserscheinungen ist bei den teilkristallinen Rohstoffen POM, PA, PBT und PET erheblich größer als bei amorphen Materialien. Diese Eigenschaft ist bereits bei der Formteilkonstruktion und der Werkzeugauslegung entsprechend zu berücksichtigen. Versäumnisse aus dieser Phase können in den seltensten Fällen bei der Verarbeitung ausgeglichen werden. Dieser Beitrag soll einige Hinweise über die Ursache, die Vermeidung und Reduzierung von Verzug geben.

## Was sind die Hauptursachen für Verzug?

Die Schwindung ist bei den teilkristallinen Materialien relativ hoch und wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. So gibt es bei den unverstärkten Produkten eine starke Abhängigkeit von der Formteilmwanddicke und der Werkzeugoberflächentemperatur. Dementsprechend verursachen hier Wanddickenunterschiede und ungünstige Werkzeugtemperatur den Hauptanteil an Verzugserscheinungen. Bei den glasfaserverstärkten entsteht durch die Orientierung ein vollkommen anderes Schwindverhalten. Der Wanddickeneinfluß auf die Schwindung ist vergleichsweise gering. Hauptverursacher von Verzugserscheinungen ist hier die Differenz zwischen Faserorientierung längs und quer zur Fließrichtung. Verzugserscheinungen werden im Wesentlichen durch Wanddickenverteilung, Anschnittlage, Fließbehinderungen und Umlenkungen, sowie durch die Eigensteifigkeit der Konstruktion vorgegeben. Diese unterschiedlichen Verzugsursachen zwischen unverstärkt und verstärkt führen häufig beim selben Teil zu entgegengesetzten Verzugsphänomenen.





9.3



9.4



9.5

## Wie ist konstruktiv und werkzeugtechnisch vorzubeugen?

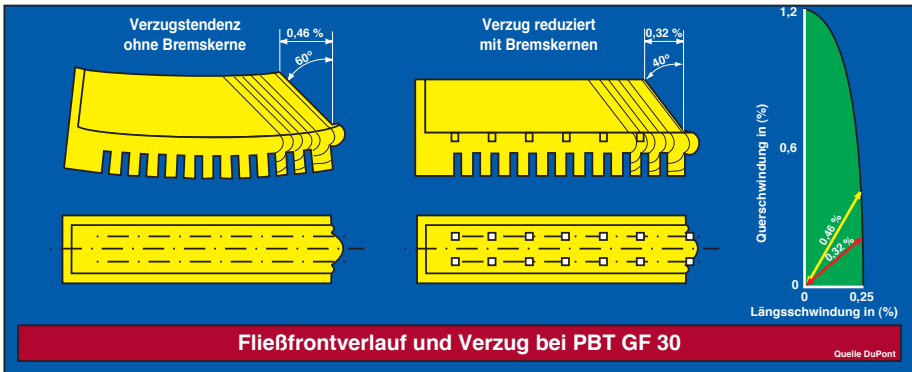
Unverstärkte Materialien erfordern möglichst gleichmäßige Wanddicken. Masseanhäufungen sind weitestgehend auszukernern. Es kann mit Mehrfachanbindungen gearbeitet werden, um Schwindungsunterschiede durch hohes Druckgefälle minimal zu halten. Die Temperierung des Werkzeuges ist so zu gestalten, daß eine möglichst gleichmäßige Wärmeabfuhr entsteht (siehe Top 6).

Bei den glasfaserverstärkten Materialien ist neben einer gleichmäßigen Wanddicke die Symmetrie der Teile ein wesentlicher Faktor. Asymmetrien stören den Materialfluß, damit die Orientierung und wirken als Verursacher von Verzug. So sind z.B. zur Balancierung von Asymmetrien Blindkerne notwendig. Dies ist in der Planungsphase des Werkzeuges zu berücksichtigen. Wesentlich ist auch die Lage des Anschnittes. Jede Umlenkung oder Bindaht ist ein potentieller Verursacher von Verzug.

## Welche Möglichkeiten hat der Verarbeiter?

Optimale Formteil-, Anguß- und Werkzeugkonstruktion vorausgesetzt kann er bei den unverstärkten Materialien den Verzug zu einem gewissen Maße über Nachdruckhöhe und die Werkzeugtemperatur beeinflussen. Die Verwendung mehrerer Temperierkreise zur Optimierung der Wärmeabfuhr ist gängige Praxis. Bei den verstärkten ist neben der Einspritzgeschwindigkeit meist nur ein Absenken der Werkzeugtemperatur eine geringe Hilfe.

Grundsätzliche Versäumnisse der Formteil- oder Werkzeugkonstruktion können nicht durch Variation der Verarbeitungsparameter ausgeglichen werden.



9.6





## Was kann man tun, wenn Verzug auftritt?

Die Erstellung einer Füllstudie, d.h. teilweise Füllung des Werkzeuges in mehreren Stufen ist der wichtigste Schritt, insbesondere bei den glasfaserverstärkten Materialien. Anhand des Fließfrontverlaufes läßt sich tendenziell die Faserorientierung nachvollziehen. Nimmt man das Schwindungsdiagramm der verstärkten Produkte zur Hilfe, so können in vielen Fällen Maßnahmen zur Verzugsreduzierung in Form von Fließhilfen oder Fließbremsen entwickelt werden. Man erzeugt Veränderungen des Fließfrontverlaufes und nimmt damit Einfluß auf den Verzug.

Diese Methode erfordert praktische Erfahrung und erhöht gleichzeitig den Wissensstand für vorbeugende Maßnahmen zukünftiger Bauteile.

Auch diese Methode hat ihre Grenzen, die durch die Eigenschaften des Rohstoffes und physikalische Zusammenhänge gegeben sind. So wird man nicht die Verzugsfreiheit eines amorphen Werkstoffes erreichen können. An dieser Stelle ist auf verzugsarme teilkristalline Rohstoffkombinationen hinzuweisen. Diese stellen durch chemische Modifikation oder Kombination verschiedener Verstärkungskomponenten vom Standpunkt Eigenschaften und Verzug einen Kompromiß dar. Als letzte und meist teuerste Möglichkeit bleibt nur die Gegenkorrektur des Werkzeuges. Hat man bereits Erfahrung mit vergleichbaren Teilen, dann sind korrigierbare Einsätze für die kritischen Partien die beste Vorsorge.



# Technische Kunststoffe: Die Top Ten der Spritzgießprobleme

Von Ernst A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer



## 10. Folge: Formbelag

1. feuchtes Granulat
2. zu kleiner Anguss / Anschnitt
3. falsche Anschnittlage
4. zu kurze Nachdruckzeit
5. falsche Schmelzetemperatur
6. Ungünstige Werkzeugtemperatur
7. Oberflächendefekte
8. Schwierigkeiten mit Heißkanälen
9. Verzug
10. Formbelag

Belag im Werkzeug kann bei der Verarbeitung nahezu aller Thermoplaste auftreten. Mit steigenden Anforderungen werden die Rezepturen durch mehr Zuschlagstoffe wie Modifikatoren, Flammschutzmittel usw. immer komplexer. Nicht selten fördert dies vermehrte Belagsbildung.

Die Ursachen für einen Aufbau von Belag können vielfältig sein. Die wesentlichen verarbeitungstechnischen Einflüsse sind:

- thermische Zersetzung
- zu hohe Scherung
- unzureichende Entlüftung

Häufig ist eine Kombination mehrerer Dinge verantwortlich. Eine intensive Untersuchung nach der richtigen Maßnahme ist notwendig. Erschwerend kommt hinzu, daß Belag in vielen Fällen erst nach mehreren Stunden oder Tagen auftritt.

## Belagstypen

Spezielle Produktfamilien weisen ganz bestimmte Belagstypen auf. Bei Polymeren die durch Additive flammhemmend ausgerüstet sind kann es bei zu hohen Temperaturen zu Reaktionen kommen. Dies verursacht entsprechende Zersetzungsprodukte, die Belagsbildung hervorrufen können.

Schlagzähmodifizierte Typen sind häufig neben der begrenzten Temperaturbelastbarkeit zusätzlich noch scherempfindlich. Modifikatoren können unter ungünstigen Bedingungen vom Grundpolymer getrennt werden und lagern sich an der Oberfläche der Kavität ab.

Farbzusätze können bei technischen Thermoplasten, die hohe Verarbeitungstemperaturen erfordern, die thermische Stabilität des Grundmaterials herabsetzen. Die Folge kann Belagsbildung aus Abbauprodukten des Polymers und zersetzten Farbstoffen sein.

	mögliche Ursachen	mögliche Abhilfen
thermische Zersetzung	Zu hohe Schmelzetemperatur, zu lange Verweilzeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmelzetemperatur messen und auf das empfohlene Niveau absenken.</li> <li>• Ausgespritzte Masse auf Zersetzungserscheinungen überprüfen, z.B auf Blasenbildung oder Gasen der Schmelze</li> <li>• Zylindertemperaturprofil der Verweilzeit anpassen</li> <li>• Thermische Trennung des Heißkanals optimieren; Temperaturregelung überprüfen, Temperaturen absenken.</li> </ul>
	Verweilstellen in der Maschinendüse, im Bereich der Rückstromsperre, Verschleiß im Zylinder, tote Ecken im Heißkanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch Farbwechsel Verweilstellen nachweisen.</li> <li>• Lange Reinigungszyklen bedeuten schlechte Spülung</li> <li>• Verdächtige Komponenten (Düse, Adapter, Schnecke, Heißkanal) auf Verweilstellen untersuchen und ggf. instandsetzen bzw. austauschen</li> </ul>
	Polymer bzw. Additive mit geringer thermischer Stabilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verweilzeit reduzieren durch Verwendung kleiner Zylinder. Mit Dosiervverzögerung arbeiten. Auf kleines Massepolster achten. Massedekompression so gering wie möglich zur Vermeidung von Oxidation durch eingesaugte Luft.</li> <li>• Versuchsweise Standardprodukt (ohne Modifikatoren, Pigmente, ...) einsetzen.</li> <li>• Vortrocknen, um flüchtige Anteile zu reduzieren</li> </ul>
zu hohe Scherung	Zu dünne Wandstärke oder zu langer Fließweg führen zu Spritzbedingungen mit hohen Scherspannungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandstärke verdicken oder Fließhilfen anbringen</li> <li>• Anzahl der Anschnitte erhöhen, um Fließwege zu verkürzen.</li> <li>• Anpaßsystem ändern, eventuell mit Heißkanal vorverteilen.</li> <li>• Eventuell Schmelzetemperatur anheben</li> </ul>
	Hohe Scherung durch zu kleinen Anschnittquerschnitt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anschnittquerschnitt vergrößern</li> <li>• Anschnittausführung optimieren</li> <li>• Anzahl der Anschnitte erhöhen</li> </ul>
	Hohe Scherung durch schnelles Einspritzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spritzgeschwindigkeit reduzieren bzw. profilieren</li> <li>• Eventuell Schmelzetemperatur anheben</li> </ul>
	Unzureichende Entlüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kavitäten mit gezielten Entlüftungen versehen bzw. Entlüftung verbessern.</li> <li>• Selbstreinigende Entlüftungen bevorzugen, um eine gleichbleibend gute Ableitung der Luft zu gewährleisten.</li> </ul>
	zu hohe Werkzeugoberflächentemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeugtemperatur nach der Anlaufphase messen und auf das empfohlene Niveau absenken.</li> <li>• Überhitzung von Kernen durch Optimierung der Temperatur reduzieren.</li> </ul>
<b>Mögliche Ursachen und Abhilfen bei Formbelag</b>		

Quelle DuPont  
10.1

An besonders heißen Werkzeugbereichen (Kerne, ...) können Additive (Modifikatoren, Stabilisatoren, ...) zum Kleben neigen und Belag bilden. Für diese Fälle empfehlen sich entsprechende Vorkehrungen in Bezug auf die Werkzeugtemperierung oder gar der Einsatz von speziell stabilisierten Materialtypen.  
Eine Auflistung mit möglichen Ursachen für Werkzeugbelag und Hinweise zur Abhilfe sind der beigefügten Tabelle zu entnehmen.

### Plötzlich auftretender Belag

Bei plötzlich auftretendem Formbelag kommen sowohl der Verarbeitungsprozeß als auch das Material beim Wechsel der Materialcharge als Ursache in Frage. Letzteres kann aber auch ein deutlicher Hinweis auf einen «auf des Messers Schneide» gefahrenen Prozeß sein. Folgender Leitfaden kann hier als Hilfestellung dienen: Zunächst sollte die Schmelzetemperatur gemessen und die Schmelze optisch auf Zersetzungserscheinungen überprüft werden. Es ist sicherzustellen, daß keine Verschmutzung durch Fremdmaterial eingetreten ist bzw. kein unverträgliches Reinigungscompound benutzt wurde. Weiterhin sollte die Werkzeugentlüftung kontrolliert werden. Als nächster Schritt ist während der laufenden Produktion auf Naturmaterial oder eine andere Farbe (außer schwarz) umzustellen. Nach etwa 20 min kann die Maschine abgestellt werden. Bei der anschließenden Demontage von Düse, Adapter und ggf. der Schnecke, lassen sich Verweilstellen sehr gut anhand der Farbe des Originalmaterials bzw. von zersetzten Partikeln lokalisieren.  
In vielen Fällen hat diese Methode überraschende Schwachstellen aufgedeckt.  
Die Beseitigung der Problembereiche führt auch beim Verarbeiten anderer Materialien zu deutlichen Qualitätsverbesserungen. Eine ähnliche Vorgehensweise ist für das Heißkanalsystem möglich.

### Werkzeugpflege

Ist Belagsbildung durch keine der aufgeführten Maßnahmen zu vermeiden, dann empfiehlt sich eine gezielte Werkzeugpflege.  
Der Formbelag ist im Aufbaustadium erfahrungsgemäß noch relativ einfach zu beseitigen. Daher sind die Kavitäten und Entlüftungen in festgelegten Zeitintervallen (z.B. am Schichtende) zu reinigen. Ist der Belag erst richtig aufgebaut, dann kann dieser häufig nur im Werkzeugbau mit größerem Aufwand entfernt werden.





Material	t*
POM	0,03 mm
PA	0,02 mm
PET	0,02 mm
PBT	0,02 mm
TEEE	0,03 mm

\* bei niedrigviskosen Typen bzw. hohen Anforderungen an geringe Gratbildung ggf. mit kleineren Entlüftungstiefen beginnen.

**Empfehlung für Entlüftungsspalt**

**Beispiele für Entlüftungen**

Quelle DuPont

10.2

Aufgrund der Vielfalt der chemischen Zusammensetzung des Belags, ist meist nur durch Versuche das optimale Lösungsmittel und -verfahren herauszufinden. Neben den klassischen Lösungsmitteln haben sich teilweise auch «Hausrezepte» wie Backofenspray oder koffeinhaltige Limonaden bewährt. Reinigungsgummis, wie sie z.B. bei Modelleisenbahnen zur Kontaktreinigung verwendet werden, sind auch in der Trickkiste.

### Empfehlungen zur Vermeidung von Formbelag

Bei thermisch empfindlichen Materialien, sollte man bei Einsatz eines Heißkanals beachten, daß dieser die Verweilzeit verlängert und somit die Neigung zu Formbelagsbildung durch Abbauprodukte verstärken kann. Scherempfindliche Materialien sollten immer mit großzügig dimensioniertem Verteiler und Anschnitt verarbeitet werden. Mehrfachanspritzungen, die die Fließweglänge reduzieren und damit eine geringere Einspritzgeschwindigkeit ermöglichen, haben sich bewährt.

Grundsätzlich reduziert eine gute Werkzeugentlüftung die Neigung zu Belagsbildung. Bereits bei der Werkzeugkonstruktion sind daher geeignete Entlüftungen vorzusehen. Es sind selbstreinigende Entlüftungen, oder solche bei denen aufgebaute Rückstände leicht zu entfernen sind, zu bevorzugen.

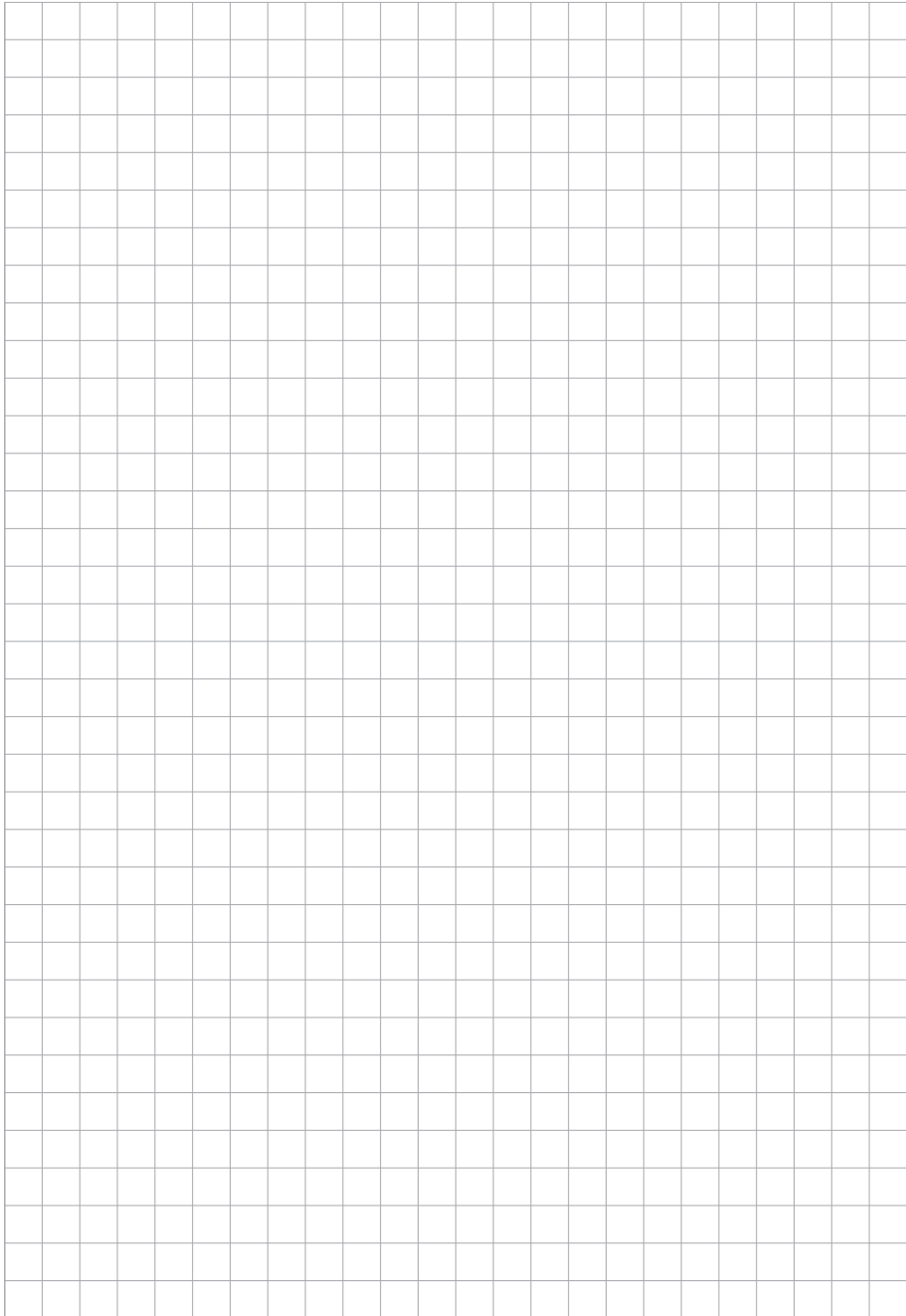
Verbesserungen in der Entlüftung haben häufig zu reduziertem Formbelag geführt.

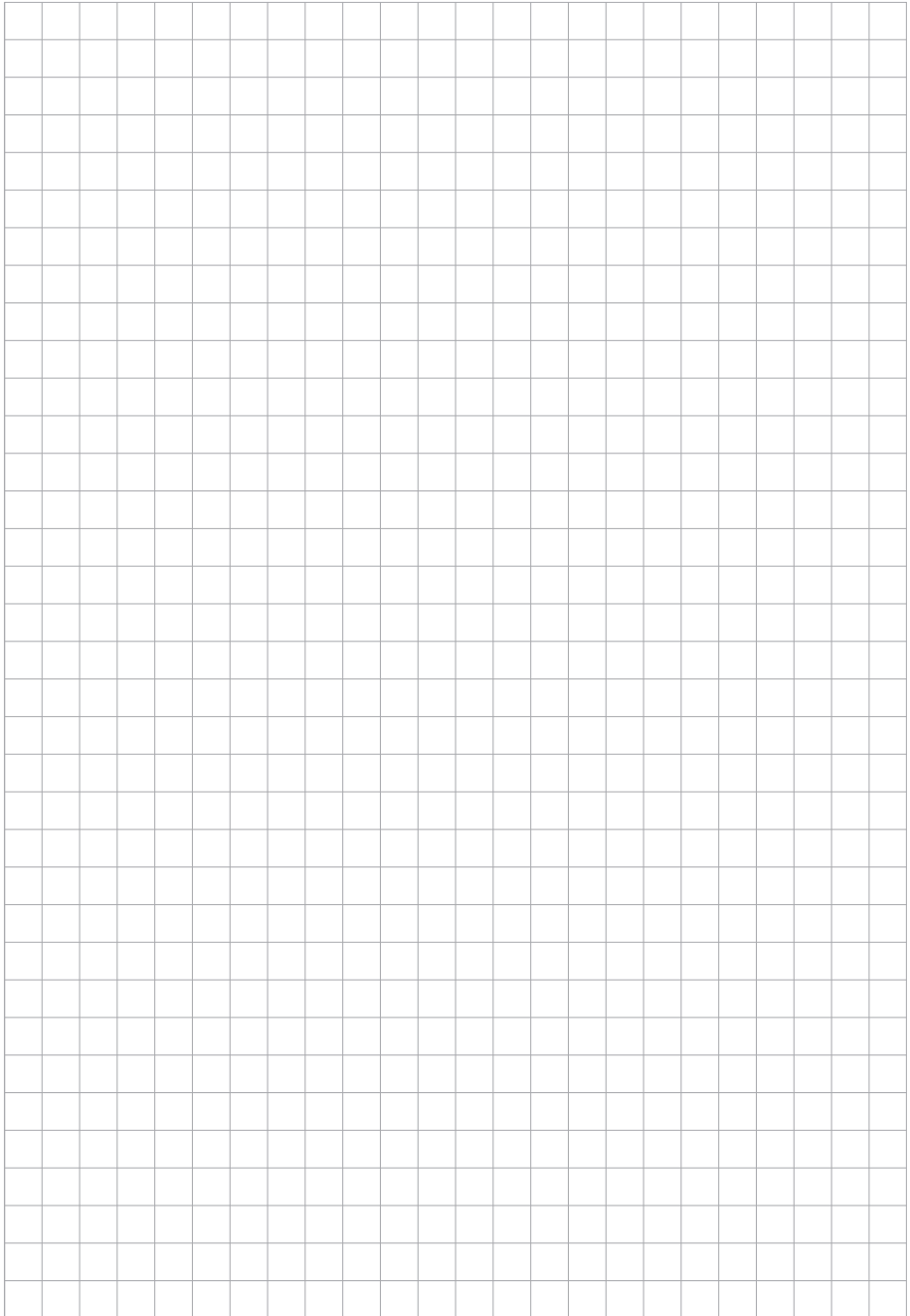
Spezielle Werkzeugbeschichtungen können im Einzelfall die Haftneigung der Belagsbestandteile und somit Formbelag reduzieren. Zur Beurteilung der Wirksamkeit sind Versuche durchzuführen.



10.3









**Biesterfeld**

Biesterfeld Interowa GmbH & Co KG

Bräuhausgasse 3-5

1050 Wien

Austria

Telefon: +43 / 1 / 512 35 71-0

Telefax: +43 / 1 / 512 35 72-100

info@interowa.com

www.interowa.com

www.biesterfeld-plastic.com

