

Seminar
Spritzgießen für Mitarbeiter der Qualitätsstelle



KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED

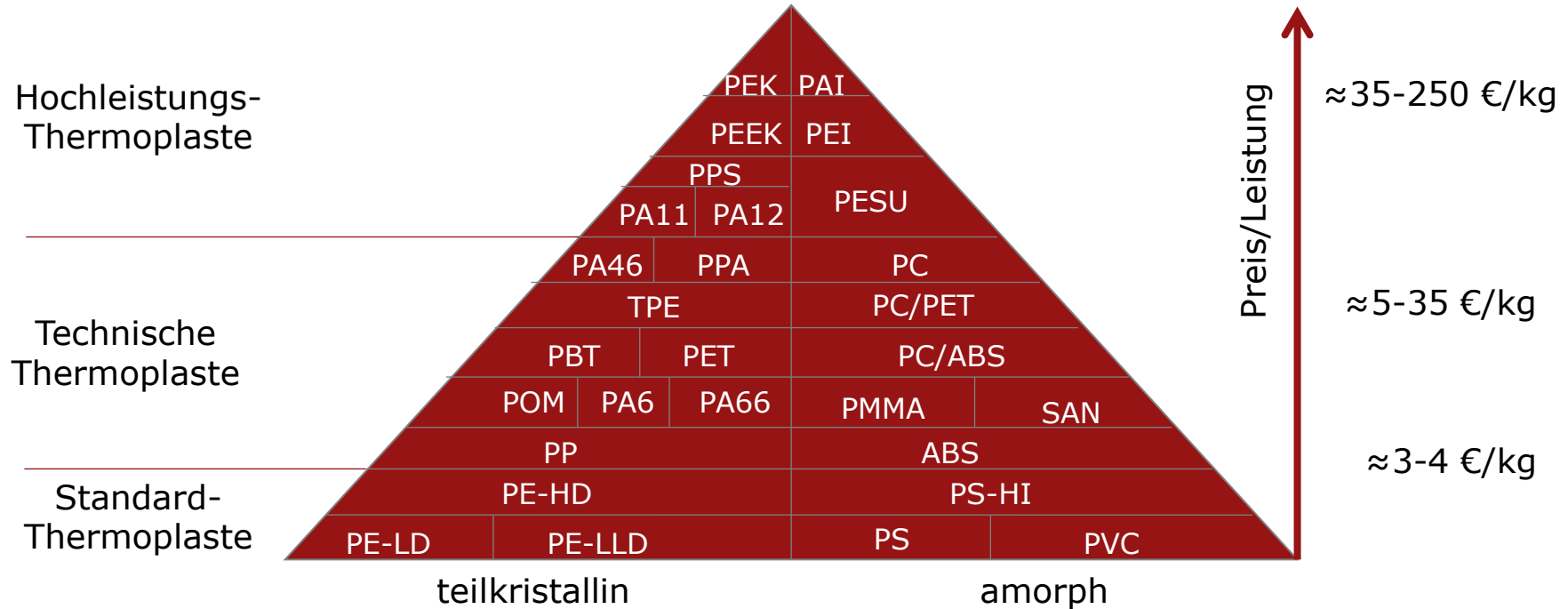
Grundlagen Thermoplastische Kunststoffe



- ▶ große Variabilität im Design:
 - Form
 - Oberflächengestaltung
 - Färbbarkeit
- ▶ Funktionsintegration:
 - Schnappverbindung,
 - Filmscharnier,
 - 2K
- ▶ geringe Dichte

- ▶ ggfs. transparent oder transluzent
- ▶ geringe thermische Leitfähigkeit
- ▶ geringe elektrische Leitfähigkeit
- ▶ Variabilität in den mechanischen, chemischen, thermischen Eigenschaften, ggfs. „Modifizierbarkeit“ durch Hilfsstoffe
- ▶ geringe Verarbeitungstemperaturen (energieeffiziente Produktion)
- ▶ Recyclingfähigkeit

Kunststoffe für (fast) jeden Zweck



Quelle: Kunststoff-Institut Lüdenschied

- ▶ Kunststoffe sind hochmolekulare, organische Verbindungen, die durch wiederholte chemische Aneinanderlagerung niedermolekularer Grundbausteine, sogenannter **Monomere**, durch verschiedene chemische Reaktionen entstehen.



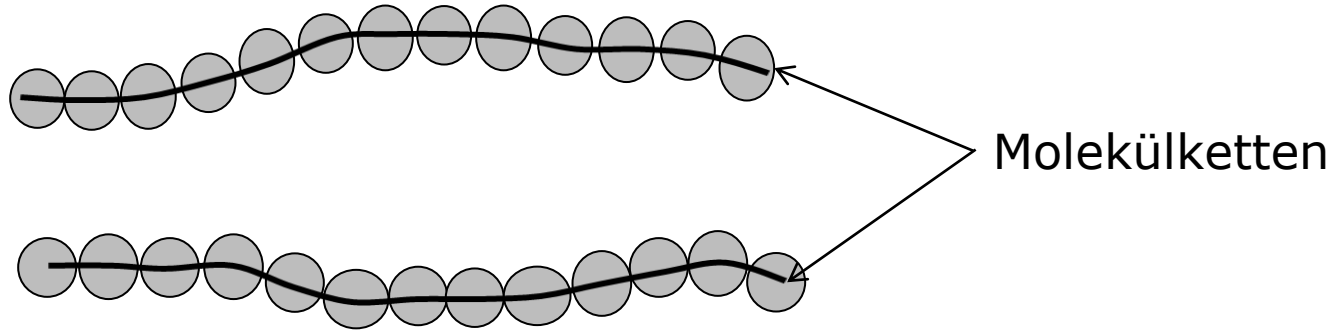
Image courtesy of renjith krishnan at FreeDigitalPhotos.net



Image courtesy of keattikorn at FreeDigitalPhotos.net

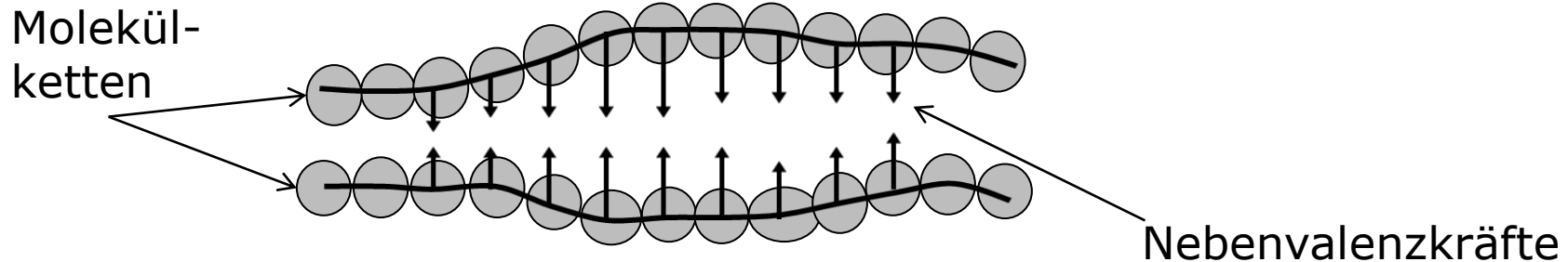
- ▶ Als **Monomer** wird der einzelne Baustein bzw. Grundkörper eines Polymers bezeichnet.
- ▶ Durch chemische Reaktionen fügen sich Monomere zu **Polymeren** zusammen.
- ▶ Ein weiterer Begriff für ein Polymer lautet **Makromolekül**.

- ▶ Hauptvalenzkräfte
 - Bindungskräfte **innerhalb** der Molekülkette



► Nebenvalenzkräfte

- Bindungskräfte **zwischen** den Molekülketten
 - z.B. Wasserstoffbrückenbindungen, van-der-Waals-Bindungen



► Nebenvalenzkräfte

- Grundlage aller Wechselwirkungen **zwischen** Molekülen ist die elektrostatische Anziehung und Abstoßung unterschiedlicher elektrischer Ladungen
- Der Betrag dieser Kraft ist abhängig von der jeweiligen Ladung und vom Abstand der wechselwirkenden Partner
- Diese Fernwirkung wird näherungsweise durch das Coulomb-Gesetz beschrieben

► Hauptvalenzkräfte (HVK):

- Kräfte **innerhalb** der Molekülketten

...sind ca. **100-200x stärker** als die...

► Nebenvalenzkräfte (NVK):

- Kräfte **zwischen** den Molekülketten:

Bindungsart	Ca. Stärke [kJ/mol]
C-C-Einfachbindung	348
C-H-Einfachbindung	413
C=C-Doppelbindung	619
C≡C-Dreifachbindung	812
C=O-Doppelbindung	745
C≡N-Dreifachbindung	891
Wasserstoffbrückenbindungen	17 bis 170
Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	1 bis 30
dispersive Wechselwirkungen	0,5 bis 5

- ▶ Hauptvalenzkräfte (HVK) benötigen für ihre Überwindung höhere Energien (Temperaturen) als die Nebenvalenzkräfte (NVK)
- ▶ Die Spaltung einer kovalenten Bindung innerhalb einer Molekülkette (Hauptvalenzkräfte) ist in der Regel irreversibel



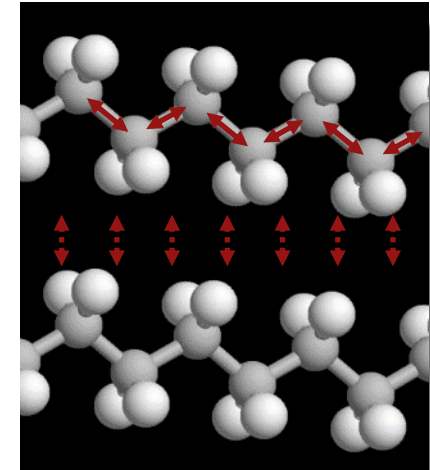
*Image courtesy of David Castillo Dominici at
FreeDigitalPhotos.net*

- ▶ Auch die Kombination hoher Temperaturen und großer Verweildauer führt grundsätzlich zu einer Spaltung von Molekülbindungen (Hauptvalenzkräften)
- ▶ Diesen Vorgang nennt man thermische Schädigung, Degradation oder Materialabbau: Die durchschnittliche Kettenlänge nimmt ab



*Image courtesy of David Castillo Dominici at
FreeDigitalPhotos.net*

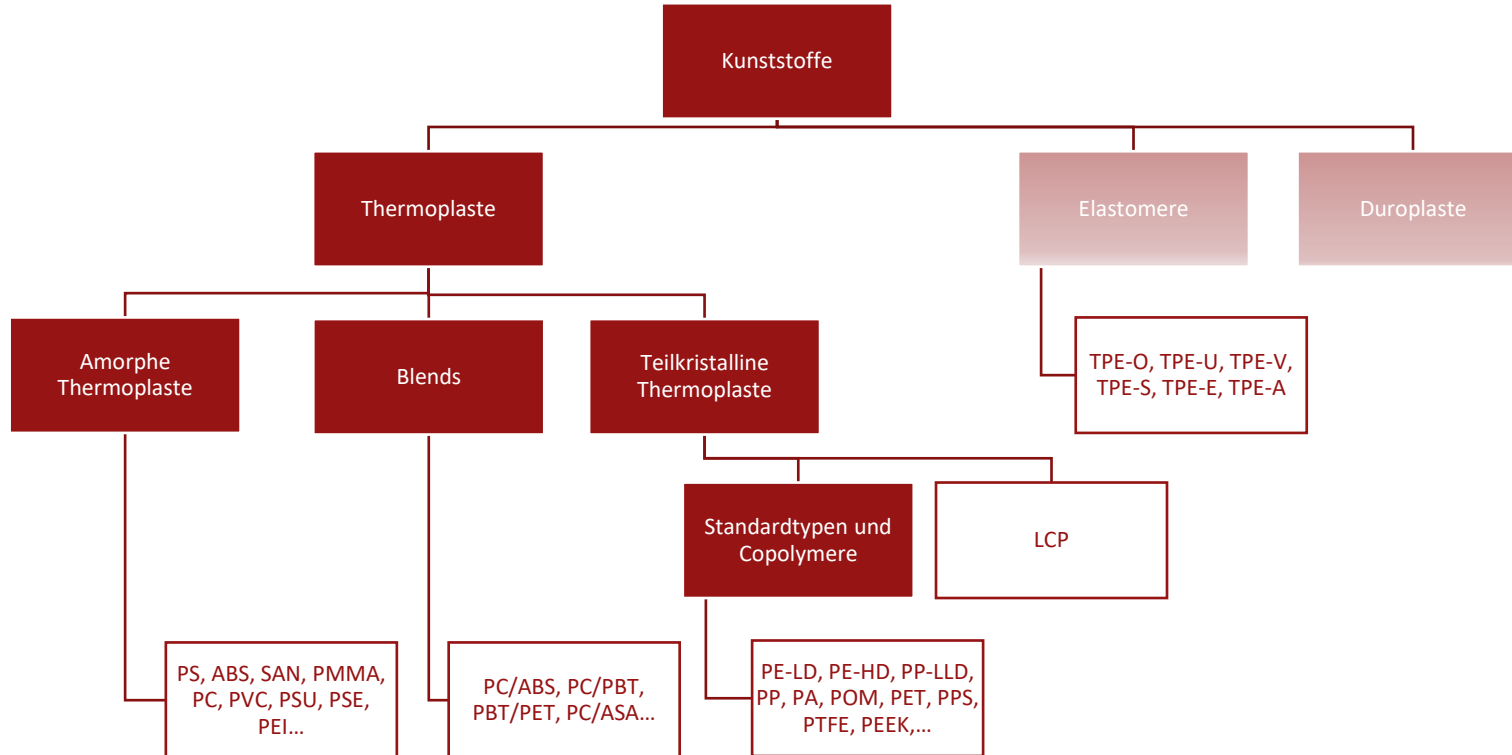
- ▶ Die zwischenmolekularen Wechselwirkungen (Nebervalenzkräfte) werden reversibel überwunden
 - Die Molekülketten werden hierdurch nicht geschädigt
- ▶ Das Spritzgießen findet in der Regel in dem Temperaturbereich statt, in welchem die NVK, aber nicht die HVK überwunden sind.



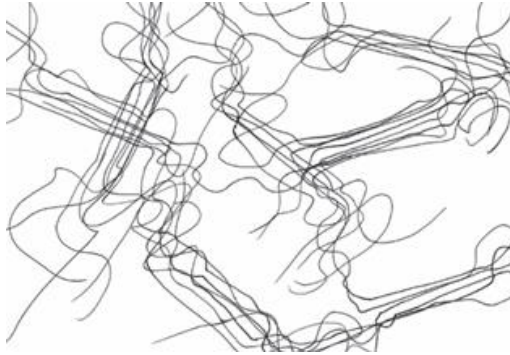
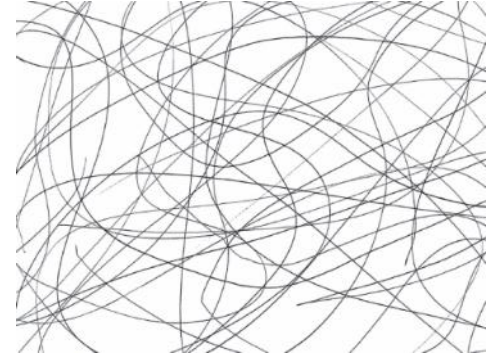
Quelle: Andreas Balster

- ▶ Temperatur ist ein Maß für Molekülbewegung!
 - Verhalten bei steigenden Temperaturen (Plastifizierungsvorgang)
 - Bewegung der Moleküle nimmt zu
 - NVK verlieren an Einfluss und können überwunden werden
 - Abgleiten der Molekülketten, thermoplastische Verformung
 - Zu hohe Temperaturen können die HVK zerstören
 - Verhalten bei sinkenden Temperaturen (Abkühlphase, Formgebung)
 - Nebenvalenzkräfte gewinnen wieder die Oberhand
 - Material wird wieder fest
 - Bei tiefen Temperaturen besteht die Gefahr der Versprödung

Einteilung der Kunststoffe



- ▶ Amorpher Thermoplast:
 - ungeordnete Struktur der Molekülketten
- ▶ Teilkristalliner Thermoplast:
 - strukturierte Kristallite in einer amorphen Matrix



Vergleich der Eigenschaften

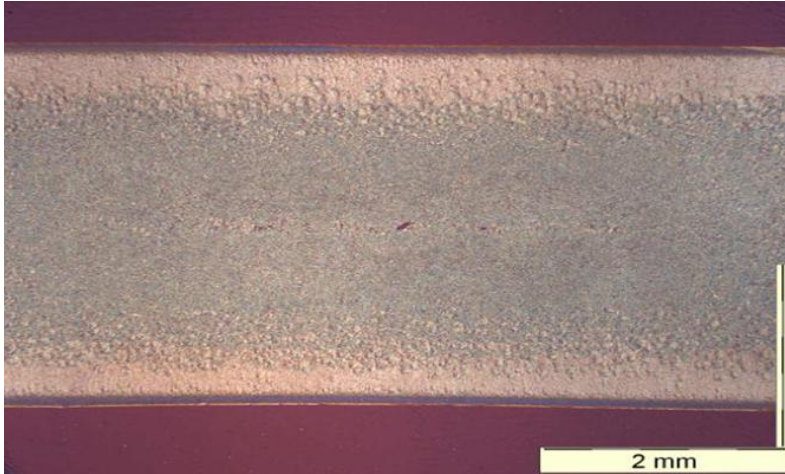
	amorph	teilkristallin
Mechanische Eigenschaften	0	+
Kriechneigung	+	0
Chemische Beständigkeit	-	+
Biege-Wechselfestigkeit	-	+
Dichte	0	+
Transparenz	+	-
Kritische Dehnung	0,4% - 0,8%	0,5% - 8%
Kerbempfindlichkeit	-	0
Einsatztemperatur	0	+
Schmelzbeginn	Erweichungsbereich	Scharfer Schmelzpkt.
Schwindung	0,3% - 0,8%	1,0% - 3%

+ günstig/hoch 0 zufriedenstellend - ungünstig/gering

Kristallinität

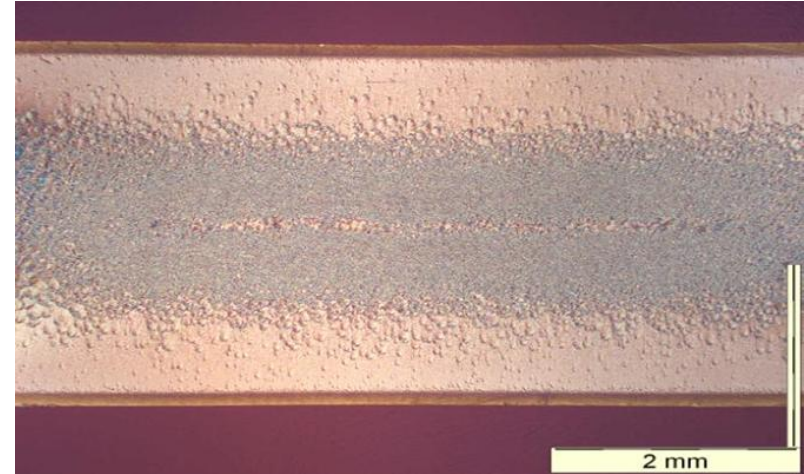
- ▶ mehr oder weniger starke parallele Ausrichtung der Makromoleküle
- ▶ daneben liegen immer auch ungeordnete (amorphe) Bereiche vor
- ▶ führt zur Schwindung während und nach der Verarbeitung
- ▶ wird erhöht durch
 - langsame Abkühlung der Schmelze (hohe Werkzeugwandtemperaturen)
 - Zugabe von Keimbildnern (Nukleierungsmittel, aber auch Recyclate)
 - symmetrischen Aufbau der Makromoleküle
 - niedrige molare Masse (kurze Ketten)
- ▶ wird erniedrigt durch
 - schnelle Abkühlung der Schmelze (z.B. PET-Flaschen)
 - verzweigte Molekülketten, unsymmetrischer Aufbau (z.B. Copolymere)
 - hohe molare Masse
- ▶ tritt hauptsächlich bei Thermoplasten auf, kann aber auch bei weitmaschig vernetzten Elastomeren vorkommen

- ▶ POM – Bauteil mit 4 mm Wanddicke



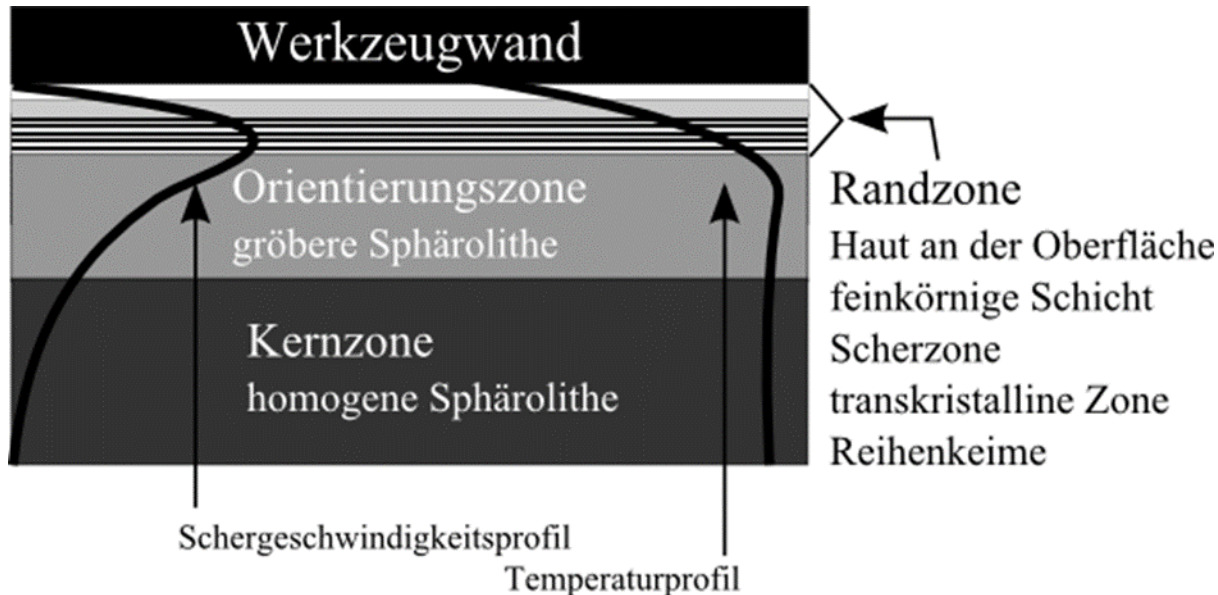
- ▶ Werkzeugwandtemperatur: 90°C
 - Feine Kristallite
 - Homogene Verteilung

- ▶ Querschnittsbetrachtung



- ▶ Werkzeugwandtemperatur: 40°C
 - Inhomogene Verteilung
 - Dicke amorphe Randschicht

- ▶ Bei teilkristallinen Werkstoffen liegt praktisch immer eine amorphe Randschicht vor. Typische Werte für ihre Dicke sind 30-50 μm . Bei größeren Werten ist von ungünstigen Spritzparametern auszugehen



Teilkristalline Thermoplaste	Kristallinitätsgrad in % bis
lineares Polyethylen (PE-HD)	70 bis 80
verzweigtes Polyethylen (PE-LD)	45 bis 55
isotaktisches Polypropylen	60 bis 70
Polyamide (PA)	bis 60
Polybutylenterephthalat (PBT)	bis 50
Polyoxymethylen (POM)	bis 70

Kristallinitätsgrade verschiedener teilkristalliner Thermoplaste

- ▶ die Kristallite sorgen für eine wesentliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften
- die enge Packung der Makromoleküle im Kristallverband sorgt für stärkere intermolekulare Wechselwirkungen, was sich auf folgende Eigenschaften **verstärkt** auswirkt:
 - Festigkeitswerte
 - Härte
 - Abriebfestigkeit
 - Kriechneigung
 - Chemikalienbeständigkeit und Barriere-Eigenschaften
 - Dichte

► folgende Kennwerte und Eigenschaften werden mit erhöhtem Kristallinitätsgrad **verringert** beeinflusst:

- (Kerb-) Schlagzähigkeit
- Bruchdehnung
- Dämpfungsvermögen
- thermische Ausdehnung
- Kompressibilität
- Medienaufnahme (Permeabilität, Löslichkeit, Quellbarkeit ...)
- Lichtdurchlässigkeit

Schwindung

- ▶ Die Schwindung ist eine Volumenabnahme von Kunststoffen, da die Molekülketten sich wieder aneinander legen und die Wärmeenergie abgegeben wird.
- Langwieriger Prozess, da Kunststoff ein guter Isolator ist (geringe Wärmeleitfähigkeit)
- Teilkristalline Kunststoffe schwinden mehr als amorphe Kunststoffe, durch die lokale Kristallisation (Dichteerhöhung)
- Abhilfe kann teilweise verfahrenstechnisch und konstruktiv geschaffen werden
- Physikalisch ist dieser Effekt aber nicht zu eliminieren und bei falscher Bauteilauslegung bzw. falschen Parametern entstehen Einfallstellen

- ▶ Abhilfe durch verfahrenstechnische Parametereinstellung
 - Kühlzeit anpassen
 - Nachdruck erhöhen, sowohl den Druck als auch die Zeit
 - Temperaturen minimieren
 - Schneller einspritzen

- ▶ Abhilfe durch konstruktive Maßnahmen
 - An der dicksten Wandstärke am Bauteil anbinden
 - Fließwiderstände vermeiden
 - Waddicken-/Rippenverhältnis genau betrachten und simulieren

► Nach DIN EN ISO 20457 ist die **Verarbeitungsschwindung**:

- Die Verarbeitungsschwindung (VS) ist die relative Differenz zwischen Werkzeugkonturmaß L_w bei $23^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$ und den entsprechenden Formteilmaßen L_f 16h bis 24h nach der (Spritzgieß-) Fertigung, gelagert bis zur Messung und gemessen bei $23^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$ und 50% $\pm 10\%$ Luftfeuchte.
- Sie berechnet sich nach der Formel: $V_s = [1 - (L_f/L_w)] \times 100\%$
- In dieser Norm ist die „Nachschwindung“ nicht definiert!

- ▶ Nach DIN EN ISO 20457 sind die **mittlere Rechenwerte der Verarbeitungsschwindung** V_{S_R}
 - Die Vorgaben für Werkzeugkonstruktion, Bau und Abmusterung der Werkzeuge.
 - Sie berechnet sich nach der Formel: $V_{S_R} = 0,5 \times (V_{S_{\max}} + V_{S_{\min}})$

- ▶ Verfahrenstechnisch ist zu beachten:
 - „Kontrollierte“ Schwindung innerhalb des Werkzeuges
 - „Unkontrollierte“ Schwindung außerhalb des Werkzeuges

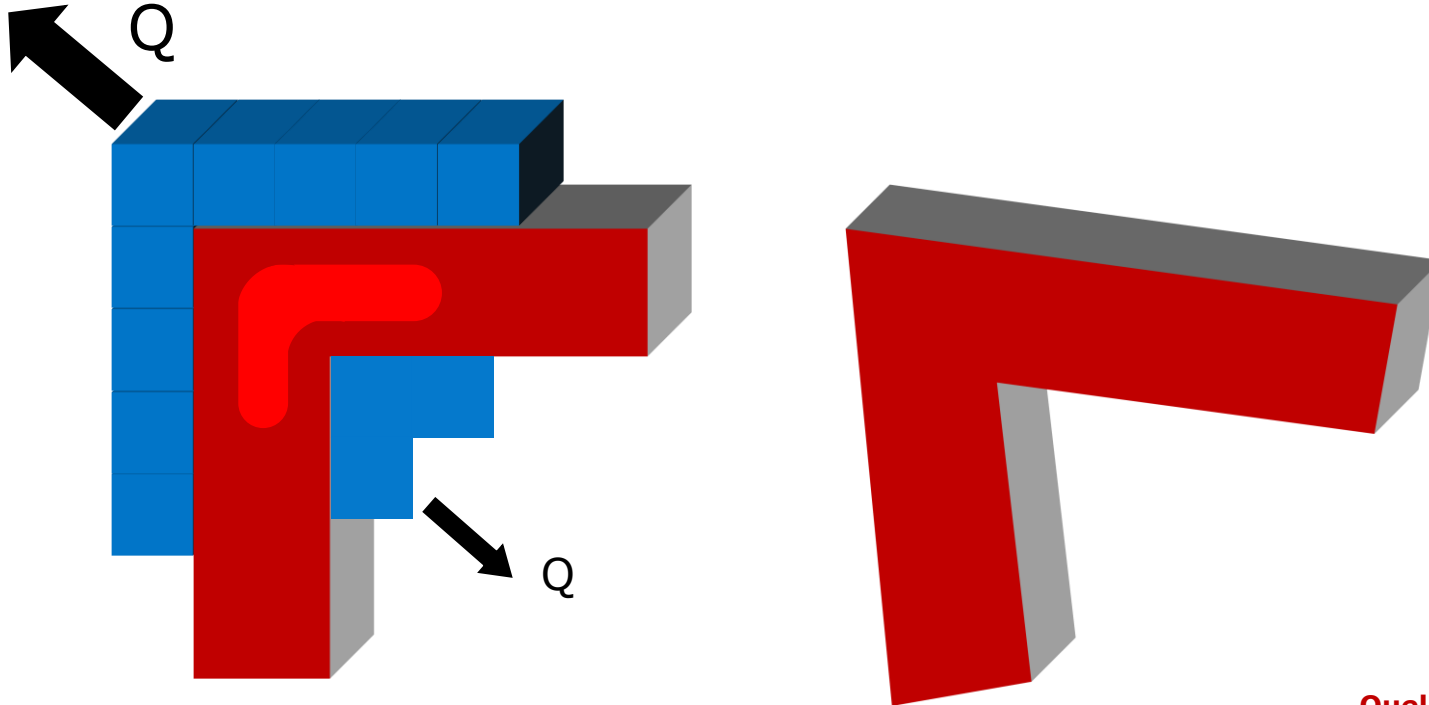
- ▶ Bei amorphen, nicht orientierten Thermoplasten ist die Schwindung isotrop, sowohl im festen als auch in flüssigen Zustand

- ▶ Die Schwindung bei amorphen Thermoplasten ist linear zur Temperatur,
 - sowohl im festen
 - als auch in geschmolzenen Zustand

- ▶ Verzug ist die Abweichung eines Formteils von der Sollgeometrie, indem sich Flächen wölben, verwinden oder Winkel verändern
- ▶ Ursachen für Verzug sind u.a.:
 - Ungleichmäßige Temperaturverteilung im Werkzeug
 - Ungleichmäßige Waddickenverteilung am Bauteil
 - Richtungsabhängiges Schwindungsverhalten (Anisotropie) durch Glasfasern
 - Prozessbedingte Orientierung der Makromoleküle (Scherung)

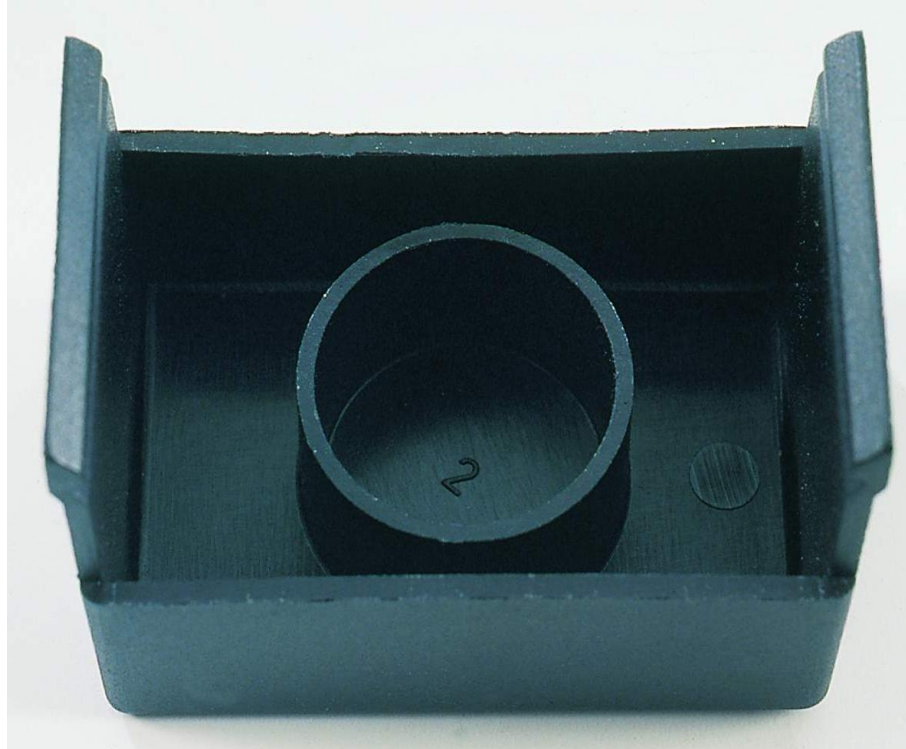
Verzug aufgrund ungleichmäßiger Abkühlung

- Eckenverzug durch unterschiedliche Wärmeabfuhr



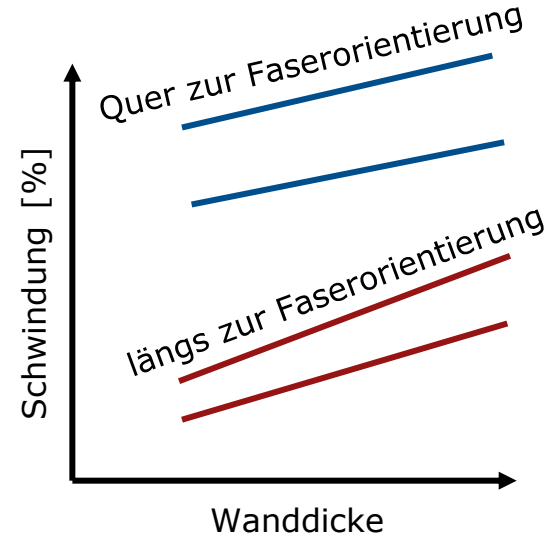
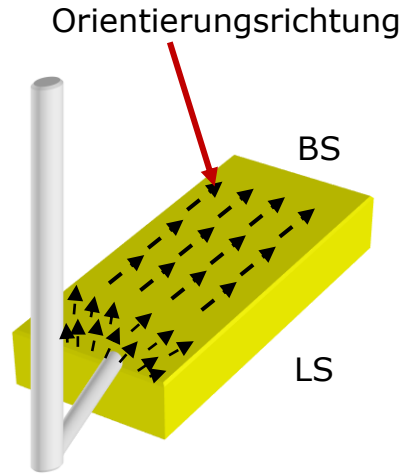
Quelle: K.I.M.W. GmbH

- ▶ Beispiel: Eckenverzug



Quelle: K.I.M.W. GmbH

Verzug durch richtungsabhängige Schwindung

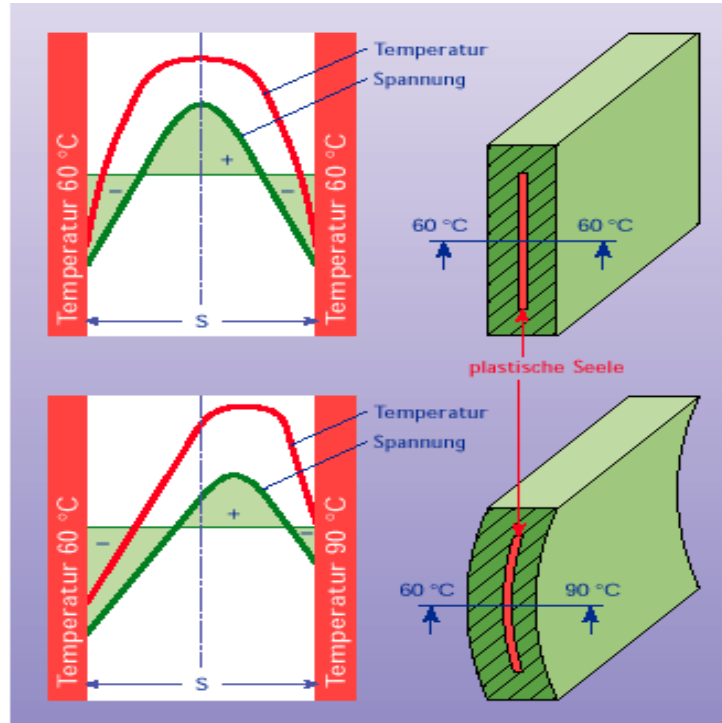


- ▶ Längsschwindung (LS) in Orientierungsrichtung
- ▶ Breitenschwindung (BS) quer zur Orientierungsrichtung

Quelle: K.I.M.W. GmbH

Verzug aufgrund ungleichmäßiger Abkühlung

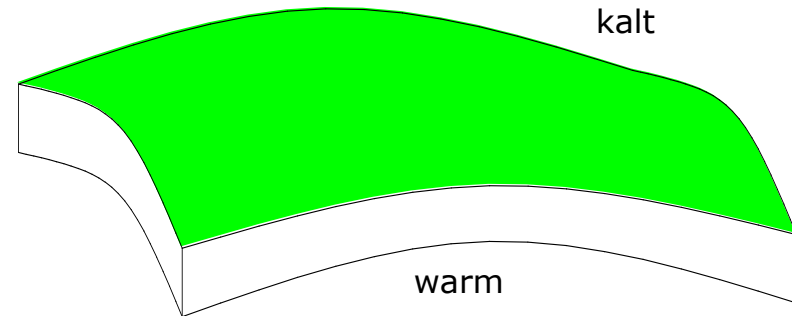
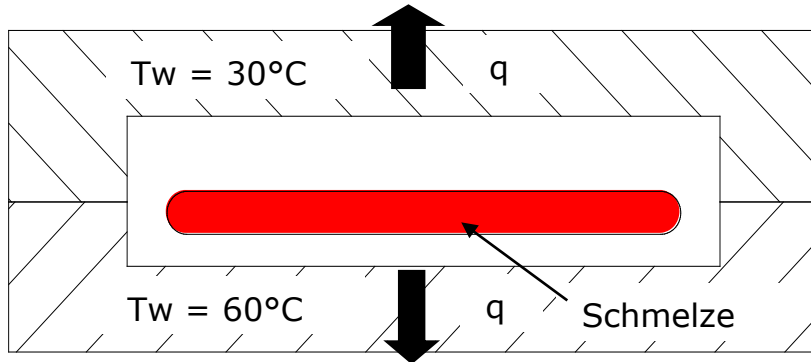
- Verzug durch unterschiedliche Werkzeugwandtemperaturen



Copyright Bayer MaterialScience AG

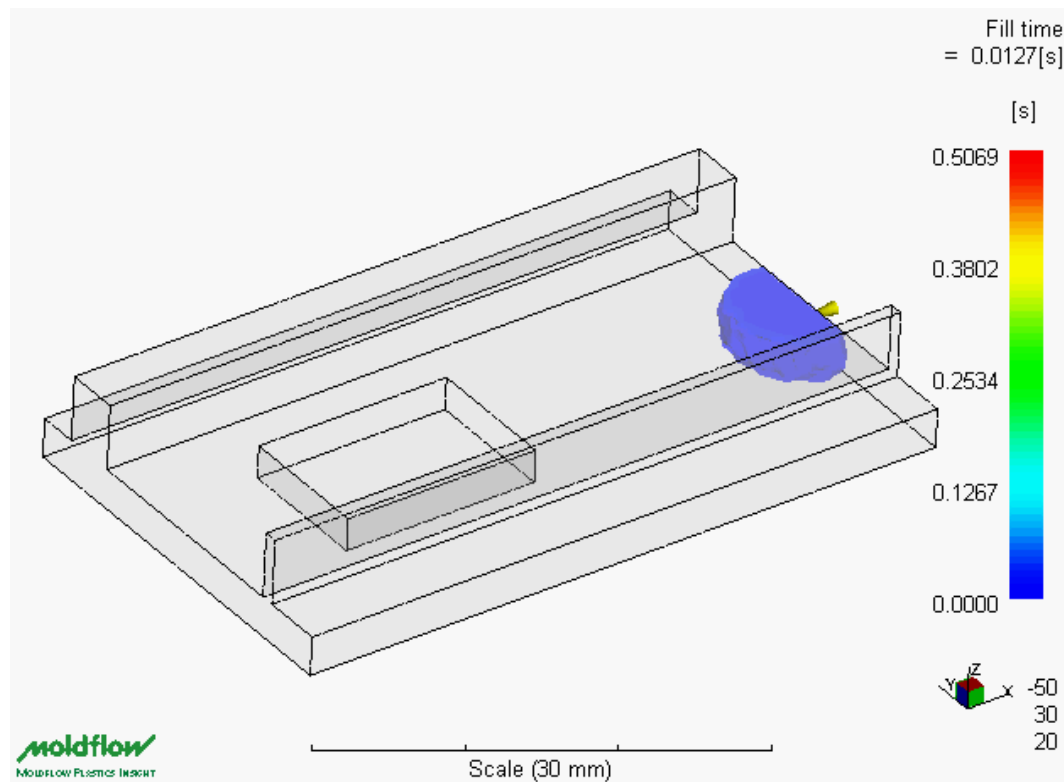
Verzug aufgrund ungleichmäßiger Abkühlung

- Verzug durch unterschiedliche Werkzeugwandtemperaturen



Quelle: K.I.M.W. GmbH

Verzug durch richtungsabhängige Schwindung



Quelle: K.I.M.W. GmbH

- ▶ Folgende Hinweise sollten grundsätzlich beachtet werden
 - Ein verzugsarmer Werkstoff sollte ausgewählt werden
 - Auswirkung der Anschnittlage beachten (Orientierung)
 - Die Kavität von dick nach dünn Füllen
 - Das Fließweg/Wanddicken-Verhältnis nicht zu hoch wählen
 - Die Werkzeugtemperierung gezielt zur Korrektur des Verzugs nutzen
 - Die verzugsgefährdeten Bereiche konstruktiv entsprechend gestalten (stabil oder biegeweich)
 - Die besondere Gestaltung von Ecken und Radien beachten

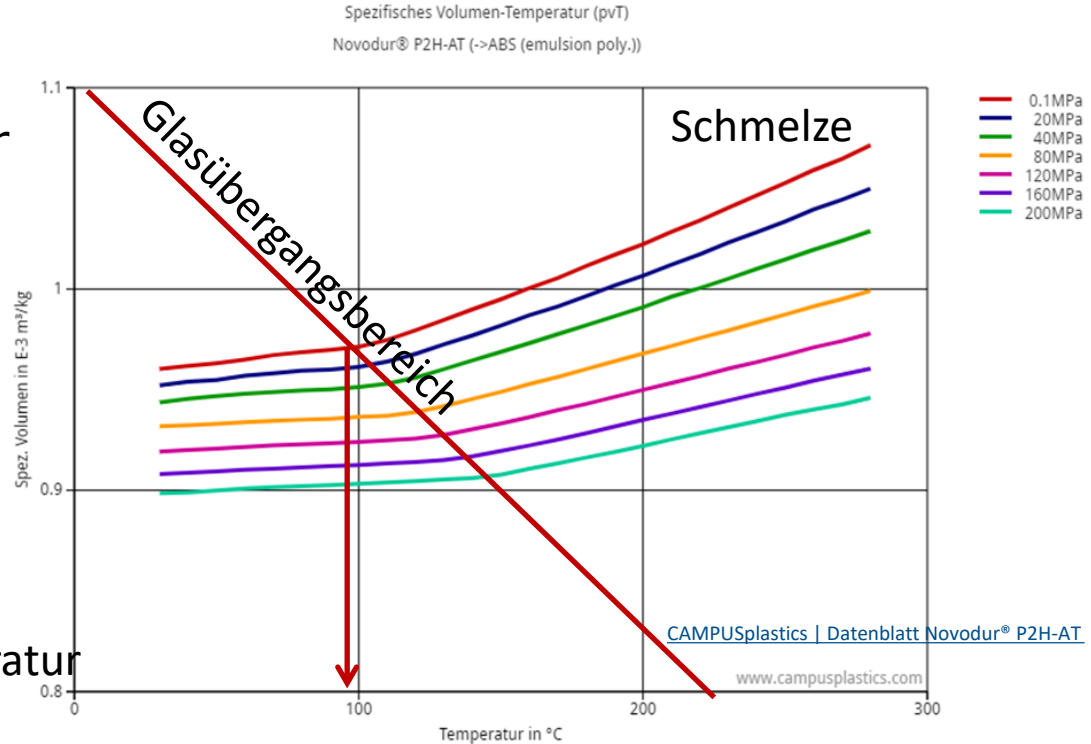
- ▶ Jeder Kunststoff hat eine Glasübergangstemperatur (TG)
 - Nur teilkristalline Thermoplaste haben einen Schmelzpunkt (TM)
 - Dabei liegt TM grundsätzlich oberhalb von TG
 - Amorphe Kunststoffe schmelzen nicht. Sie erweichen oberhalb von TG bis so so „teigig“ sind, dass sie sich spritzgießtechnisch verarbeiten lassen

Polymer	Struktur	TG in °C	Polymer	Struktur	TG in °C
PE	TK	-80	PP	TK	-30 ... -10
PS	A	100	SAN	A	110
ABS	A	80-110	ASA	A	100
PA6	TK	55	PA11	TK	50
PA6/6T	TK	115	PA6T/6I	TK	130
POM-H	TK	25	PMMA	A	105-115
PET	TK	100	PBT	TK	60
PPS	TK	85	PES		225
PSU	A	190	PPSU	A	220
PEEK	TK	145	PI		250-270
PAI	A	240-275	PEI	A	215
PTFE	TK	130	PVDF	TK	40

Einteilung der Kunststoffe (Schwindungsverhalten)

► amorpher Thermoplast:

- ABS
 - T_{Glas} : 98°C bei 1 bar

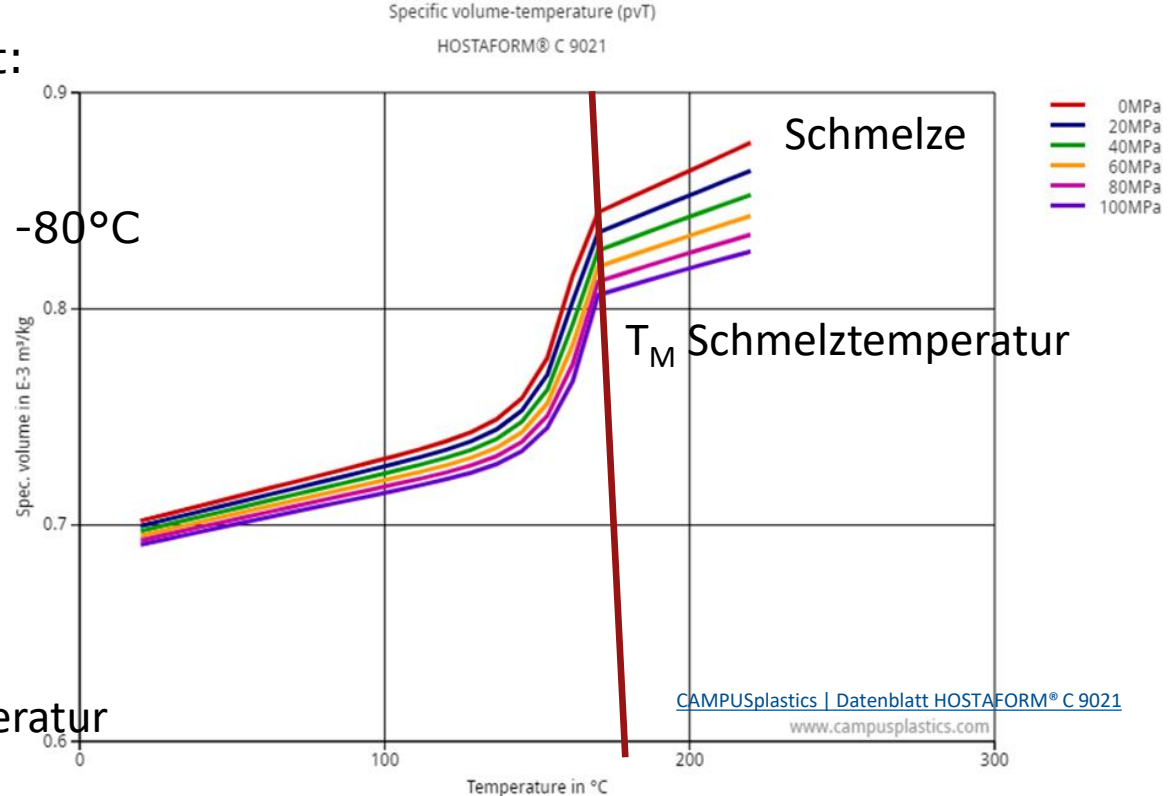


T_{Glas} Glasübergangstemperatur

- ▶ Bei teilkristallinen Thermoplasten ist die Schwindung nur im flüssigen Zustand linear zur Temperatur.
 - Im festen Zustand – unterhalb T_M - ist zuzüglich die „Kristallisations“-Schwindung zu berücksichtigen.

► teilkristalliner Thermoplast:

- POM
 - T_M : 166°C bei 0 Mpa
 - T_{glas} ist ca. -20°C bis -80°C



Kristalline Thermoplaste - Schmelzübergänge

Polymer	T _M [°C]	a [%]	Polymer	T _M [°C]	a [%]
PE-HD	125-135	60-80	PE-LD	100-110	40-55
PP	160-170	60-70	PB	130	n.A.
PA 6	220	30-40	PA 6.6	225-265	35-45
PA 11	185	35-45	PA 12	210-220	35-45
PA 4.6	290	50	PA 6.10	210-230	30-40
PA 6/6T	195	n.A.	PA 6T/6I	330	n.A.
POM-H	175-190	70-80	POM-C	140-170	60-75
PET	255	30-40	PBT	225	40-50
PPS	285	n.A.	PLA	150-160	n.A.
PEEK	345	30-35	PEKEKK	360-390	n.A.
PTFE	330	60-80	PVDF	140	n.A.

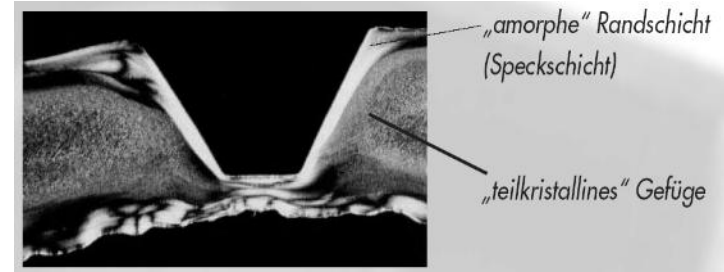
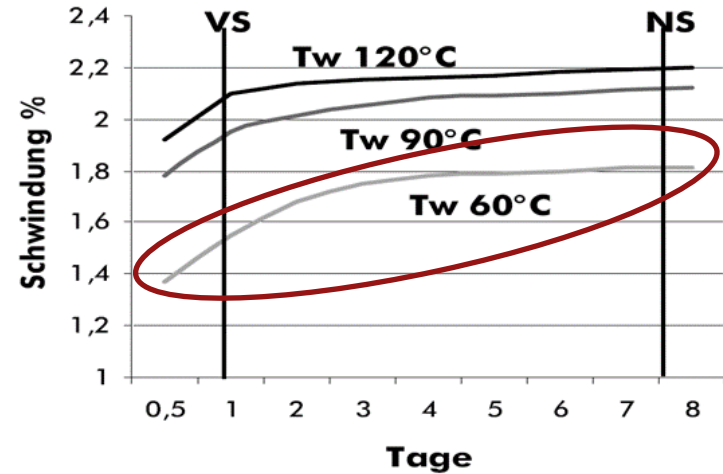
Quelle: Saechtling Kunststoff Taschenbuch, Netzsch-Gerätebau GmbH, Ehrenstein, Polymer Werkstoffe 1999

► Die Kristallisationsschwindung ist abhängig von:

- Abkühlgeschwindigkeit
(Schmelze- und Werkzeugwandtemperatur, Kühlzeit bzw. Entformungstemperatur)
- Gegenwart, Konzentration, Größe und Form von Kristallisationskeimen
- Mittlere Polymerkettenlänge
- Struktur der Polymerketten (Polymersorte, Sequenz, Taktizität etc.)
- Orientierungsgrad der Polymerketten
(u.a. durch Scherung oder – bei Folien und Fasern - Verstrecken)

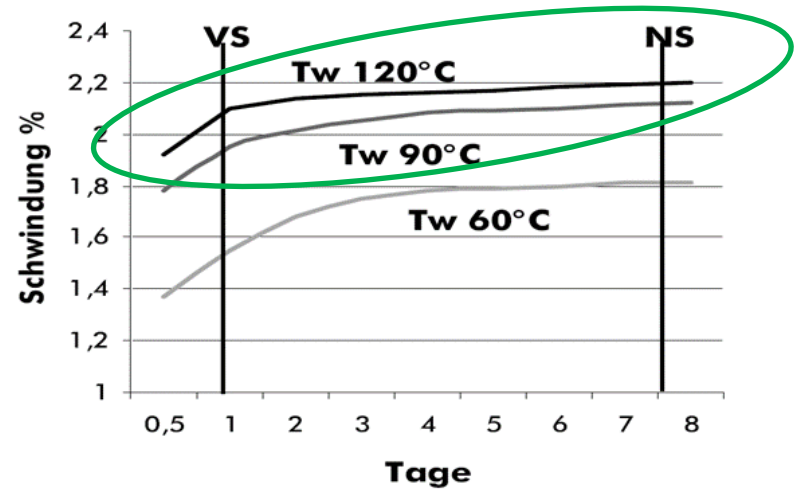
- ▶ Bei identischer Massetemperatur T_m und niedriger Werkzeugwandtemperatur T_w folgt eine geringe Verarbeitungsschwindung V_s , große „Nachschwindung*“ N_s und inhomogene Kristallisation

- Die unterdrückte Kristallisation bewirkt eine spätere Nachkristallisieren amorpher Bereiche: geringe Maßhaltigkeit!
- Eine weitere Folge der Zunahme der Nachschwindung ist Verzug!
- Herabgesetzte Festigkeit aufgrund der erhöhten amorphen Randschicht



- Bei identischer Massetemperatur T_m und hoher Werkzeugwandtemperatur T_w folgt ein große Verarbeitungsschwindung, geringe Nachschwindung und homogene Kristallisation:

- Bessere Maßhaltigkeit
- Geringerer Verzug
- erhöhte Festigkeit



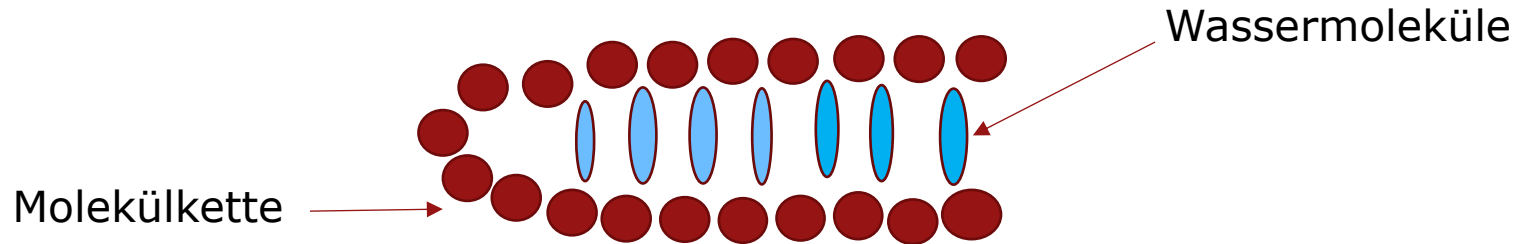
Thermisches Verhalten von Thermoplasten

- ▶ Die Eigenschaften eines **amorphen** thermoplastischen Kunststoffes sind in entscheidender Weise abhängig von der jeweiligen Umgebungstemperatur:
 - Amorphe Thermoplaste verspröden im Niedrigtemperaturbereich (deutlich unterhalb von TG)
 - Bei steigenden Temperaturen tritt zunächst eine stetige Abnahme der Festigkeit auf
 - Bei amorphen Thermoplasten folgt ein Übergang in den thermoelastischen Bereich (Erweichung), sodass Umformprozesse möglich werden
 - Danach thermoplastischer Zustand (Urformen und Schweißen)

- ▶ Die Eigenschaften eines **teilkristallinen** thermoplastischen Kunststoffes hängen ebenfalls von der Umgebungstemperatur ab:
 - Teilkristalline Thermoplaste verspröden im Niedrigtemperatur-bereich (unterhalb von T_G)
 - Bei steigenden Temperaturen tritt zunächst eine stetige, aber nur leichte Abnahme der Festigkeit auf
 - Bei T_M erfolgt eine „sprunghafte“ Verflüssigung der Formmasse
 - Umformen gelingt knapp unterhalb der T_M , nach Erreichen der T_M Urformen möglich

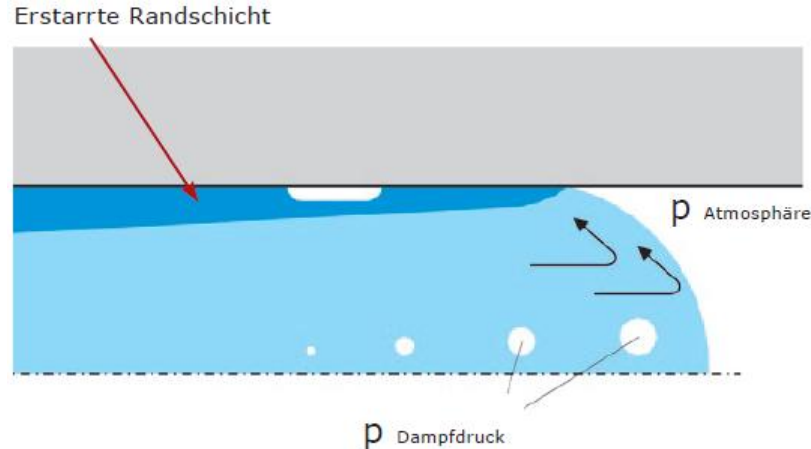
Feuchtigkeitsaufnahme (Ursache)

- ▶ Feuchtigkeit in Form von Wassermolekülen setzen sich zwischen die chemische Struktur
- ▶ Dieses Verhalten nennt man hygroskopisch
- ▶ Wassermoleküle zwischen den Ketten sorgen für eine Vergrößerung des Kettenabstandes
 - Dadurch nimmt die Festigkeit des Materials ab und die Zähigkeit zu

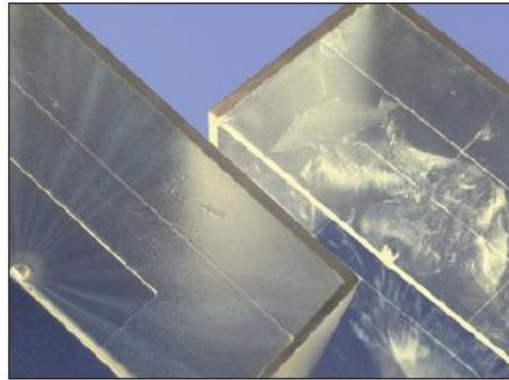
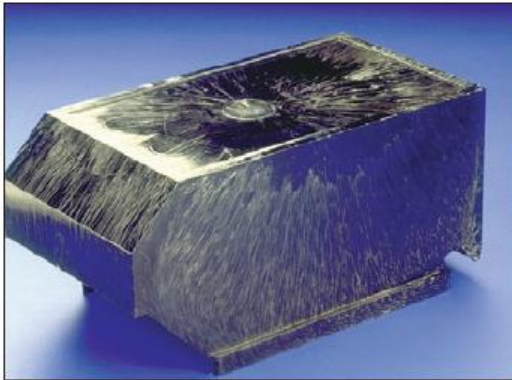


Physikalische Ursache

Bei der Lagerung bzw. Verarbeitung bindet sich Feuchtigkeit im oder am Granulat und bildet in der Schmelze Wasserdampf. Durch das Geschwindigkeitsprofil an der Fließfront werden die Gasblasen an die Oberfläche der Schmelze transportiert. Da die Blasen bestrebt sind einen Druckausgleich vorzunehmen, platzen sie auf, werden durch die fortschreitende Fließfront verformt und an der Werkzeugwand eingefroren.



Feuchtigkeitsschlieren erscheinen an der Formteiloberfläche häufig als U-förmiges Profil. Das Formteil weist im Bereich der silbrigen Schliere meist eine raue, porige Oberfläche auf. Schlieren, die durch Feuchtigkeit auf der Werkzeugoberfläche entstanden sind, erscheinen großflächige, matte und streifenförmige Bereiche



- ▶ Es können aber nicht nur optische Probleme auftreten sondern auch mechanische Probleme und Parameterschwankung im Prozess
- Abbau der mechanischen Eigenschaften
- Viskositätsschwankungen
- Massepolsterschwankungen
- Dosierzeitschwankung
- Farbunterschiede

Abfrage zur Fehlerminimierung

Feuchtigkeit auf der Werkzeugoberfläche?

1. Werkzeugkühlung auf Dichtigkeit prüfen
2. Werkzeugwandtemperatur erhöhen

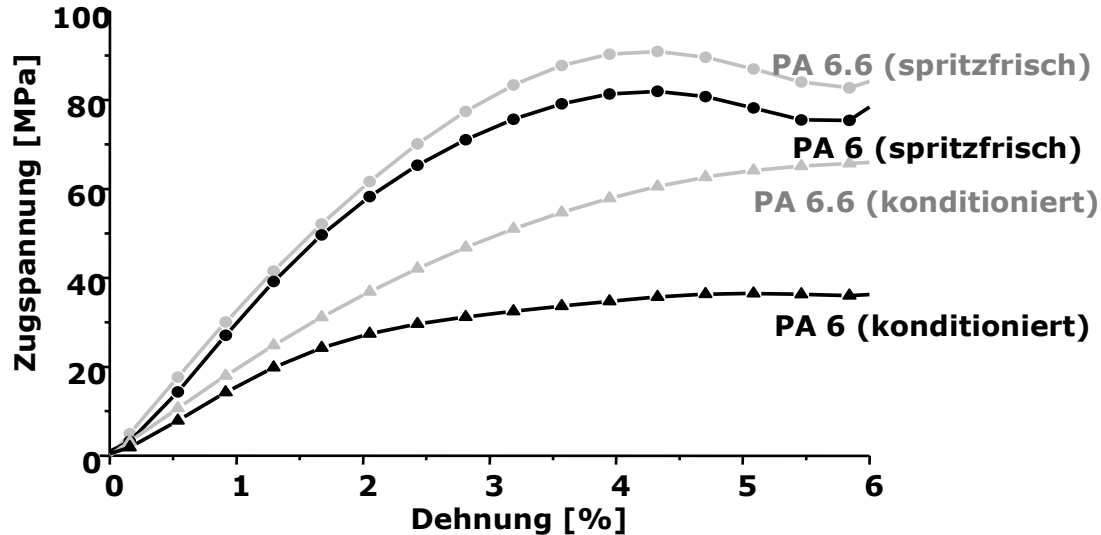
Nein
↓

Feuchtigkeitsgehalt des Granulats zu hoch?

1. Material gemäß der Herstellerangaben vortrocknen
2. Verpackung und Lagerung überprüfen
3. Verweilzeit im Materialeinfülltrichter verkürzen
4. Temperatur am Materialeinzug erhöhen

- ▶ Das Lagern bis hin zum Gewichtsausgleich durch Wasseraufnahme
- ▶ Der Prozess des Konditionierens ist reversibel
- ▶ Das Material erhält erst durch die Konditionierung von bis zu 3,5% seiner Schlagzähigkeit
- ▶ Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur beschleunigt den Konditionierprozess
- ▶ Wird häufig bei Polyamiden als weiteren Arbeitsprozess nach dem Urformen durchgeführt

Spannungs-Dehnungs-Diagramm / PA 6 und PA 66 Einfluss der Feuchtigkeit



Füll- und Zusatzstoffe

- ▶ Mit thermoplastischen Kunststoffen lassen sich die unterschiedlichsten Materialeigenschaften verwirklichen
 - Das Eigenschaftsprofil eines Polymers ergibt sich aus:
 - dem Aufbau der Struktureinheit,
 - den Bindungskräften zwischen den Atomen und den Molekülketten,
 - der durch die Prozessführung (in der Polymersynthese) einstellbaren Kettenlänge,
 - dem Verzweigungsgrad der Ketten.

- ▶ Mit thermoplastischen Kunststoffen lassen sich die unterschiedlichsten Materialeigenschaften verwirklichen
 - Damit lassen sich folgende Eigenschaften gezielt einstellen:
 - Mechanische Eigenschaften
 - Thermische Eigenschaften
 - Chemische Eigenschaften
 - Rheologische Eigenschaften wie z.B. Fließfähigkeit (Viskosität)

- ▶ Reaktionsstoffe:
 - Treibmittel
 - Flammenschutzmittel

- ▶ Stabilisierende Stoffe:
 - UV-Stabilisatoren
 - Thermostabilisatoren
 - Antioxidanten

- ▶ Verarbeitungsfördernde Stoffe
 - Gleitmittel
 - Haftvermittler
 - Trennmittel
 - Antistatika

- ▶ Festigkeitserhöhende Stoffe:
 - Fasern
 - Kugeln
 - Cellulose
 - Mineralische Füllstoffe

- ▶ Weichmacher
 - Innere
 - Äußere

- ▶ Farbpigmente:
 - Organische
 - Anorganische
 - Ruß

Zusammenfassung

Verarbeitbarkeit amorpher und teilkristalliner Thermoplaste

- ▶ Bei der Verarbeitung teilkristalliner Thermoplaste zielt die Prozessführung in der Regel auf eine Maximierung des Kristallinitätsgrades ab.
- ▶ Bei der Verarbeitung amorpher Thermoplaste zielt die Prozessführung in der Regel auf eine Minimierung des Eigenspannungs - und Orientierungszustandes ab.
- ▶ Die Abkühlphase beeinflusst die Abkühlgeschwindigkeit und ist entsprechend der optimalen Kristallisationsgeschwindigkeit zu gestalten, so dass die Werkzeuge entsprechend temperiert werden müssen.

- ▶ Hilfreiche Informationen beim Materialverständnis, bei der Prozessdefinition, bei der Parameterfindung und bei der Auslegung des Produktionsumfeldes sind:
 - die Designrichtlinien
 - die Verarbeitungsrichtlinien
 - das pvT-Diagramm
 - das Viskositäts-Schergeschwindigkeits-Diagramm

Andreas Kürten
+49 (0) 23 51.10 64-101
a.kuerten@kimw.de

Kunststoff-Institut Lüdenschheid
Karolinenstraße 8
58507 Lüdenschheid
www.kimw.de