

Formteilefehler Werkzeug oder Produktion?

Grundlagen thermoplastischer
Kunststoffe



KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED





• **Datenbasis:**

- 5.000 Versagensfälle
- Spannungsrissbildung 25%
- Ermüdung 15%
- Kerbeinfluss 14%
- Kriechen/Relaxieren 8%
- chem. Angriff 7%
- UV-Angriff 6%
- therm. Abbau 4%
- Sonstige 21%

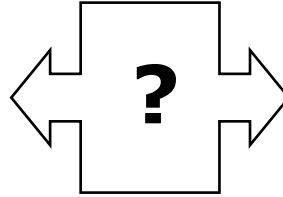
thermische

tribologische

Datenbanken

Datenblätter

**Anforderungen
Bauteil**



Materialeigenschaften

mechanische

elektrische

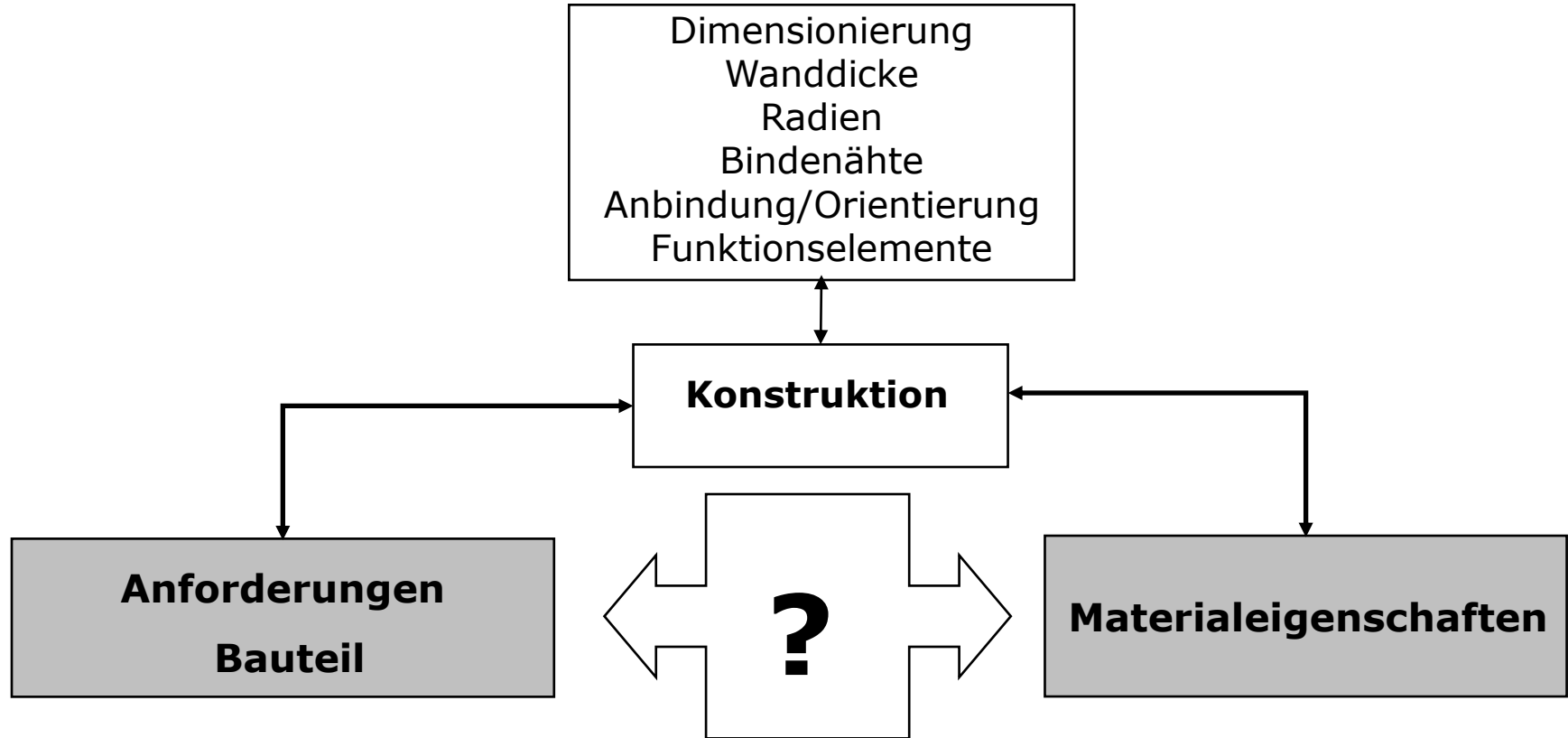
optische

Literatur

Lieferant

Internet





- ▶ Vorgehensweisen bei der Werkstoffauswahl
 - Erfahrungen
 - Applikationsbeispiele
 - Systematische Vorgehensweise

- ▶ Problemstellung
 - Große Datenmengen
 - Lückenhafte Ausgangsinformationen
 - Unsystematische Vorgehensweise
 - Zusammenhänge und Einflussfaktoren werden nicht berücksichtigt

Checklisten

1. Allgemein

Kunststoff-Institut Lüdenschied ©

Anforderungen	Klassifikation		Zahl	Einheit	Weitere Angaben
	Anforderung (Auswahlbereich) ☐ F ☐ W				
Allgemeine Daten					
Formteilgeometrie	flächig ☐ hülsenförmig ☐ kastenförmig ☐ verrippt ☐ sonstiges ☐				
Bauteilabmessungen	Breite _____ Länge _____ Höhe _____ Durchmesser _____ Wanddicke _____ max: _____ min: _____ Volumen _____				
Verarbeitung	Thermoplaste ☐ Duroplaste ☐				
Stückzahl	Jahresabnahme _____				

2. Ja/Nein

Kunststoff-Institut Lüdenschied ©

Anforderungen	Klassifikation		Weitere Angaben
	Anforderung (Auswahlbereich) ☐ F ☐ W		
Ja/Nein - Anforderungen			
Lichtdurchlässigkeit			
Medieneinfluß			
Spannungs- rißbeständigkeit			
Bewitterungs- beständigkeit			

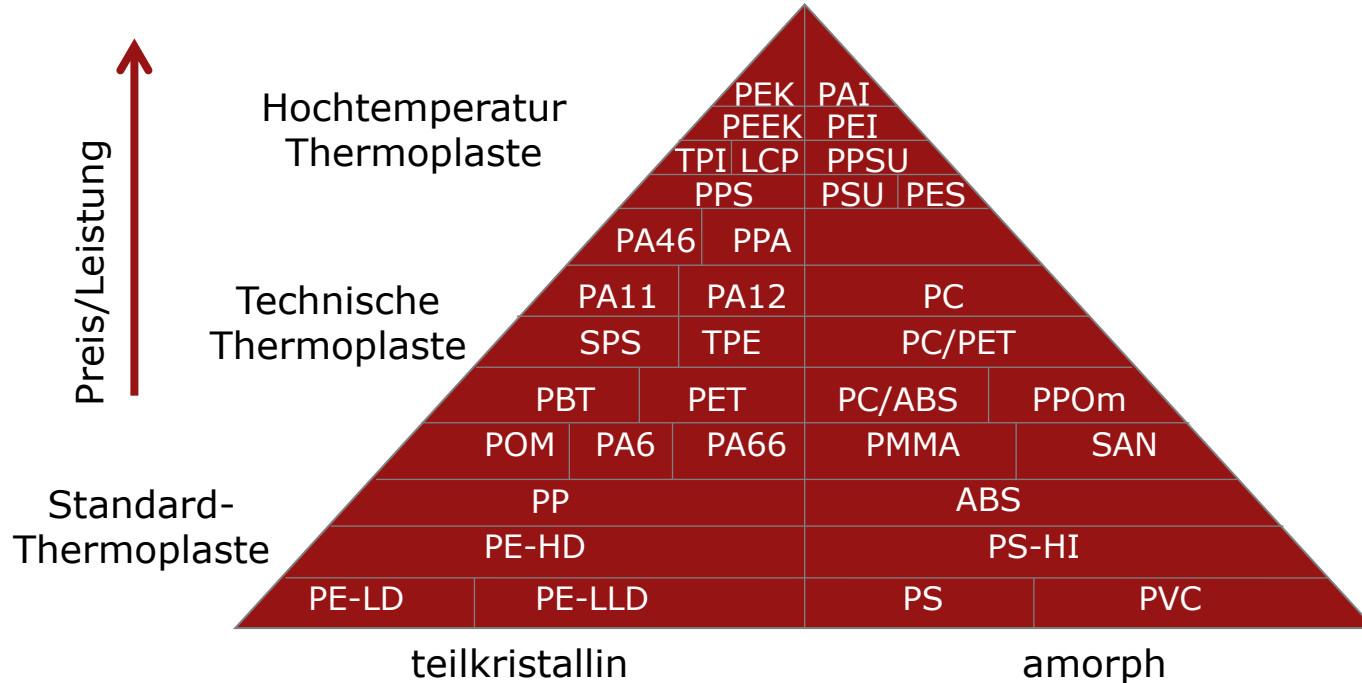
3. Qualitativ/quantitativ

Kunststoff-Institut Lüdenschied ©

Anforderungen	Klassifikation					Zahlenwert	Einheit	Weitere Angaben	
	qualitativ								quantitativ
	sehr gut sehr hoch	gut hoch	normal mittel	gering	Anforderung (Auswahlbereich) ☐ F ☐ W				
Thermisch									
Temperatur					☐ F ☐ W				
max. _____									
min. _____									
Einwirkzeit _____									
Formbeständigkeit					☐ F ☐ W				
Wärmeleitfähigkeit					☐ F ☐ W				
Ausdehnungskoeffizient					☐ F ☐ W				
Elektrisch									
Isolationsanwendung					☐				
Durchgangswiderstand					☐ F ☐ W		Ω*cm		
Oberflächenwiderstand					☐ F ☐ W		Ω		
Spannungsspitzen					☐ F ☐ W				
Durchschlagfestigkeit					☐ F ☐ W		kV/m		
Kriechstromfestigkeit					☐ F ☐ W			☐ KA ☐ KB ☐ CTI	
Verlustfaktor					☐ F ☐ W				
Dielektrizitätszahl					☐ F ☐ W				
antistatisches Verhalten					☐ F ☐ W				
elekt. Abschirmung					☐ F ☐ W				

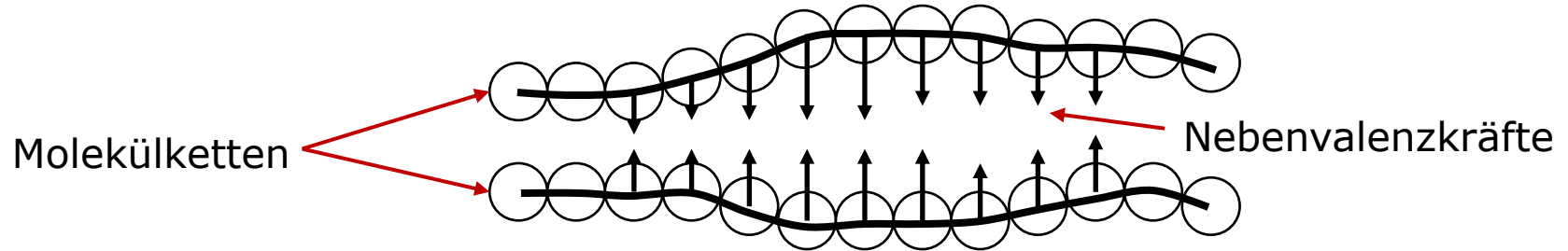
- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Wärmedämmen | • Wärmeleitfähigkeit, Wärmeform-beständigkeit, Dichte |
| 2. Abdichten | • Steifigkeit, Permeation, Langzeitfestigkeit, Medienbeständigkeit |
| 3. Tragen | • Steifigkeit, Langzeitfestigkeit |
| 4. Elektrisch isolieren | • Durchschlagspannung, Kriechstromfestigkeit, Durchgangswiderstand |
| 5. Führen | • Härte, Verschleißfestigkeit, Zähigkeit, Reibung |
| 6. Positionieren | • Toleranzen, Ausdehnungskoeffizient, Schwindung |
| 7. Schalldämpfen | • E-Modul, Dämpfungsfaktor, Dichte |

Einteilung thermoplastischer Kunststoffe



- Hochleistungskunststoffe sind leistungsfähiger (Preis/Leistungs-Verhältnis)

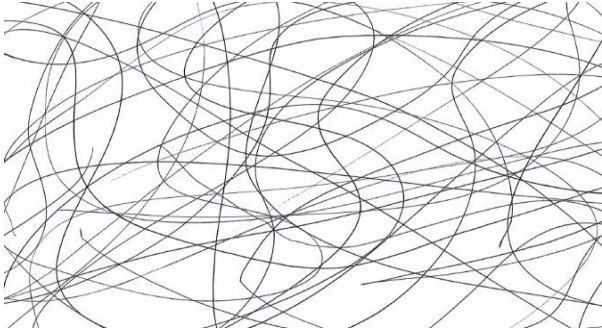
- ▶ Kräfte innerhalb der Molekülketten
 - Hauptvalenzkräfte (HVK) / chemische Bindungskräfte
- ▶ Kräfte zwischen den Molekülketten / physikalische Bindungskräfte
 - Nebenvalenzkräfte (NVK)



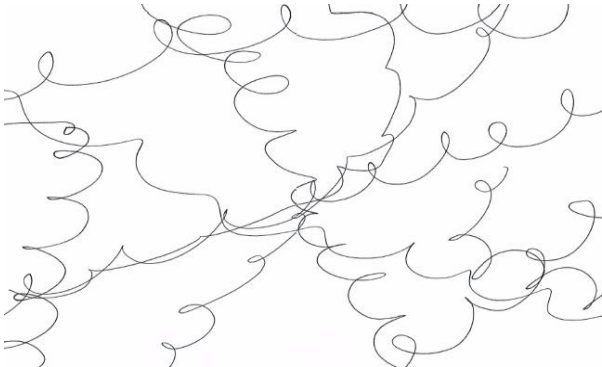
- ▶ Verhalten bei steigenden Temperaturen
 - Schwingung der Moleküle nimmt zu
 - NVK verlieren an Einfluss
 - Abgleiten der Molekülketten
 - Thermoplastische Verformung
 - Zu hohe Temperaturen können die HVK zerstören

- ▶ Verhalten bei sinkenden Temperaturen
 - Nebervalenzkräfte gewinnen an Bedeutung
 - Material wird wieder fest
 - Bei tiefen Temperaturen besteht die Gefahr der Versprödung

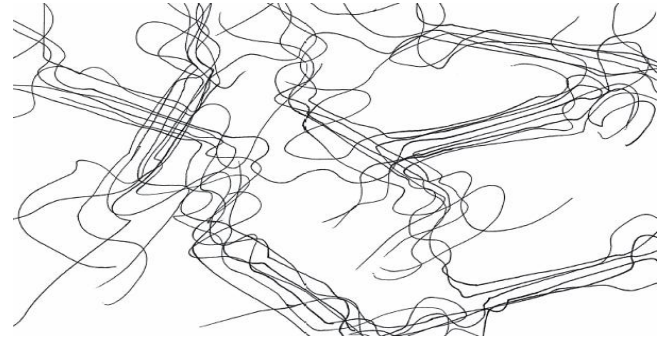
Amorpher Thermoplast



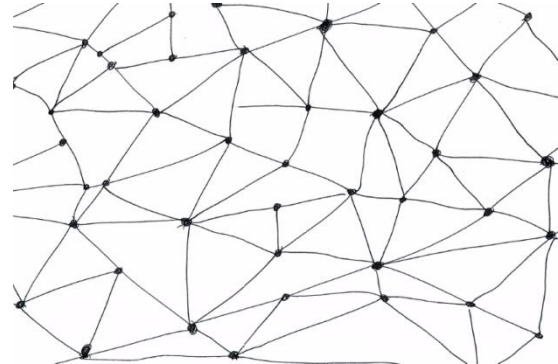
Elastomer



Teilkristalliner Thermoplast

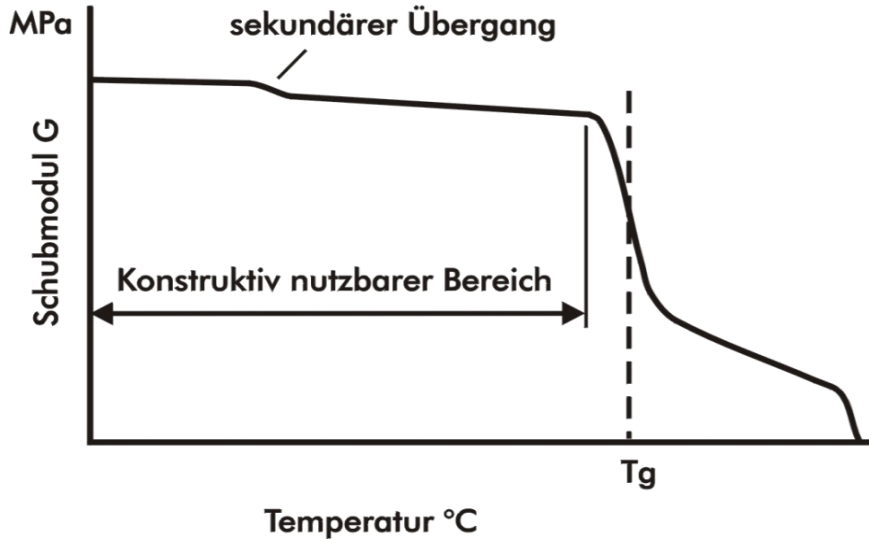


Duromer



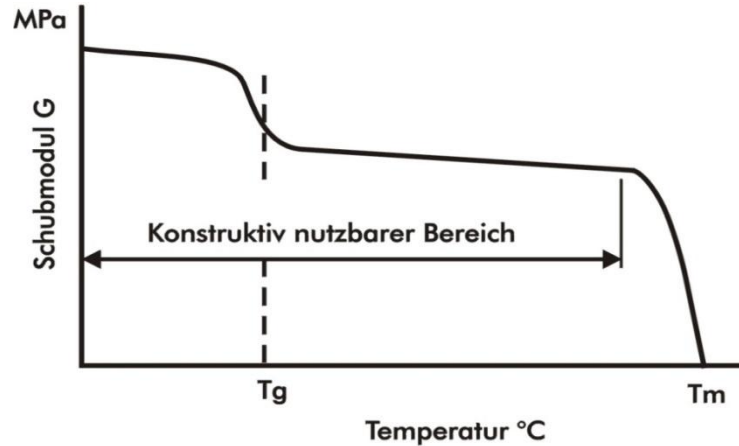
Einflussfaktoren auf die Werkstoffauswahl

► Zustandsdiagramm amorph



Eigenschaft	Bewertung
E-Modul	+
Zähigkeit	-
Verzug	+
Chem. Beständigkeit	--
Wärmeform-best.	+
Preis/ Wirtschaftlichkeit	+
Zykluszeit	+
Recycling	-

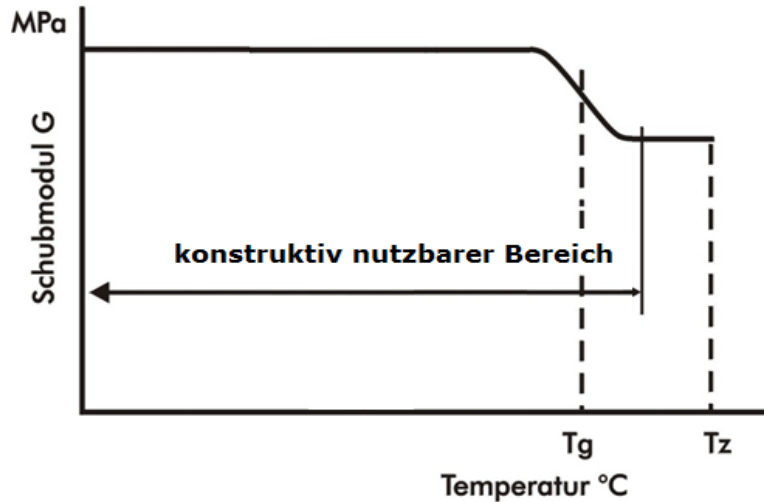
► Zustandsdiagramm teilkristallin



- Teilkristalline Kunststoffe haben gegenüber amorphen Kunststoffen
- eine bessere Spannungsrisssbeständigkeit
 - eine bessere Fließfähigkeit
 - eine höhere Schwindung

Eigenschaft	Bewertung
E-Modul	-
Zähigkeit	++
Verzug	-
Chem. Beständigkeit	++
Wärmeform-best.	+
Preis/ Wirtschaftlichkeit	+
Zykluszeit	-
Recycling	+

► Zustandsdiagramm Duroplaste



Eigenschaft	Bewertung
E-Modul	++
Zähigkeit	--
Verzug	+
Chem. Beständigkeit	++
Wärmeform-best.	++
Preis/ Wirtschaftlichkeit	+/-
Zykluszeit	--
Recycling	--

Ultramid® A3WG3 PA66-GF15 BASF - 2010-09-17

Werkstoff-Text

Glasfaserverstärkte und wärmealterungsbeständige Spritzgussmarke für Maschinenelemente und Gehäuse mittlerer Steifigkeit.

Single-Point Daten

Rheologische Eigenschaften	tr.	lf.		
Schmelzevolumenrate	60	*	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperatur	275	*	°C	ISO 1133
Belastung	5	*	kg	ISO 1133

Mechanische Eigenschaften	tr.	lf.		
Zug-Modul	6000	4500	MPa	ISO 527-1/-2
Bruchspannung	130	85	MPa	ISO 527-1/-2
Bruchdehnung	3	10	%	ISO 527-1/-2
Zug-Kriechmodul (1000h)	*	2600	MPa	ISO 899-1
Charpy-Schlagzähigkeit (+23°C)	45	70	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy-Schlagzähigkeit (-30°C)	43	-	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy-Kerbschlagzähigkeit (+23°C)	8	11	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy-Kerbschlagzähigkeit (-30°C)	7	-	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Thermische Eigenschaften	tr.	lf.		
Schmelztemperatur (10°C/min)	260	*	°C	ISO 11357-1/-3
Formbeständigkeitstemperatur (1.80 MPa)	240	*	°C	ISO 75-1/-2
Formbeständigkeitstemperatur (0.45 MPa)	250	*	°C	ISO 75-1/-2
Vicat-Erweichungstemperatur (50°C/h 50N)	250	*	°C	ISO 306
Brennbarkeit bei nominal 1.5mm	HB	*	class	IEC 60695-11-10
geprüfte Probekörperlänge	1.5	*	mm	IEC 60695-11-10
UL Registrierung	UL	*	-	-
Brennbarkeit bei Dicke h	HB	*	class	IEC 60695-11-10
geprüfte Probekörperlänge	0.8	*	mm	IEC 60695-11-10
UL Registrierung	UL	*	-	-
Brennbarkeit-Sauerstoff-Index	24	*	%	ISO 4589-1/-2

Elektrische Eigenschaften	tr.	lf.		
Dielektrizitätszahl (1 MHz)	3.5	5.5	-	IEC 60250
Dielektr. Verlustfaktor (100 Hz)	140	3000	E-4	IEC 60250
Dielektr. Verlustfaktor (1 MHz)	140	3000	E-4	IEC 60250
Spezifischer Durchgangswiderstand	1E13	1E10	Ohm*m	IEC 60093
Spezifischer Oberflächenwiderstand	*	1E10	Ohm	IEC 60093
Vergleichszahl der Kriechwegbildung	-	450	-	IEC 60112

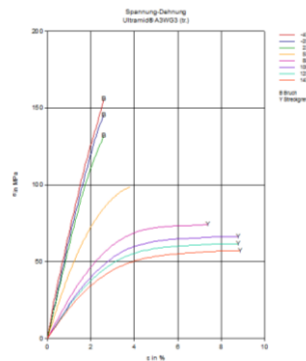
Andere Eigenschaften	tr.	lf.		
Waseraufnahme	7	*	%	Ähnlich ISO 62
Feuchtigkeitsaufnahme	2.2	*	%	Ähnlich ISO 62
Dichte	1230	-	kg/m ³	ISO 1183

Materialspezifische Eigenschaften	tr.	lf.		
Viskositätszahl	145	*	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628

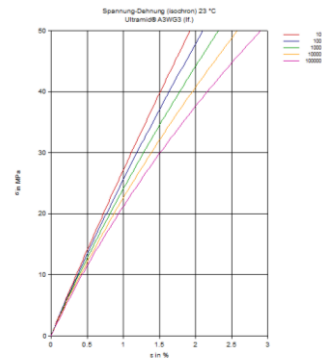
Kennwerte für rheologische Berechnungen

Für ursprüngliche CAMPUS Daten gelten die Garantieerklärungen der jeweiligen Hersteller.
MCBASE® 5.1 - K.I.M.W. GmbH - Gedruckt: 03.01.2013

Seite 1 von 9



Bitte beachten: Es werden nur Resultate des Kriechversuchs angegeben. Die angegebenen Kennwerte sind approximativ.

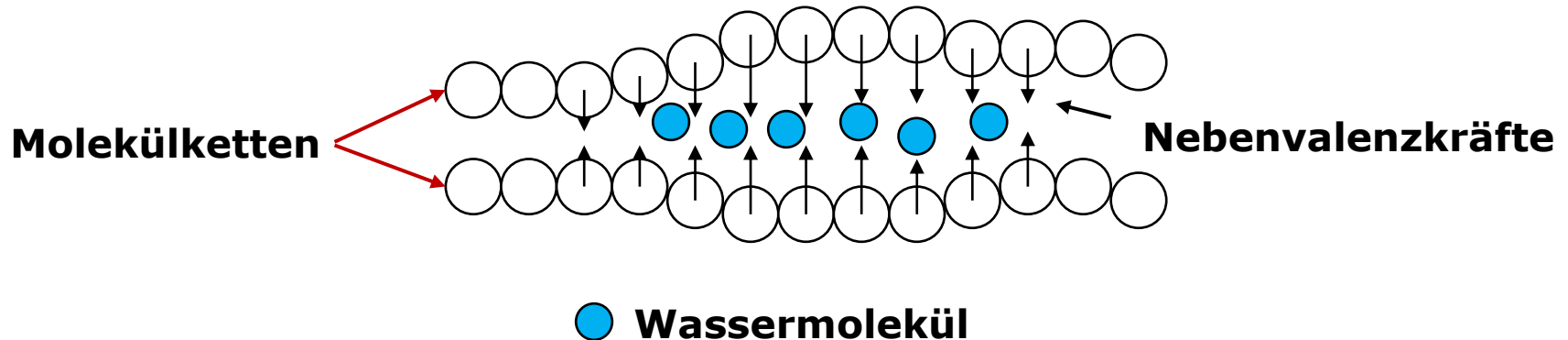


Bitte beachten: Es werden nur Resultate des Kriechversuchs angegeben. Die angegebenen Kennwerte sind approximativ.

Kunststoffkennwerte aus dem Datenblatt

Eigenschaftsrichtwerte	Prüfmethode	SI Einheit	PA 66 GF 15	
Allgemein			trocken	feucht
Dichte	ISI 1183	g/cm ³	1,23	
Viskositätszahl (96%ige H ₂ SO ₄) 0,5 g/dl	DIN 53 727	-	145	
Feuchtigkeitsaufnahme im NK 23/50 (Sätt.)	ISO 62	%	2,2	
Schwindung (im Spritzguss)	-	%	0,4 – 1,3	
Mechanisch				
Zugfestigkeit (5 mm/min.)	ISO 527	MPa	125	80
Reißdehnung (5 mm/min.)	ISO 527	%	3,5	4,5
Zug-E-Modul	ISO 527	MPa	6500	4500
Schlagzähigkeit (Charpy) 23 °C	ISO 179	kJ/m ²	30	35
Schlagzähigkeit (Charpy) –40 °C	ISO 179	kJ/m ²	25	30
Schlagzähigkeit (Izod) 23 °C	ISO 180	kJ/m ²	40	60
Schlagzähigkeit (Izod) –30 °C	ISO 180	kJ/m ²	35	55
Kerbschlagzähigkeit (Charpy) 23 °C	ISO 179	kJ/m ²	9	14
Kerbschlagzähigkeit (Charpy) –40 °C	ISO 179	kJ/m ²	7	10
Kerbschlagzähigkeit (Izod) 23 °C	ISO 180/1A	kJ/m ²	6	13,5
Kerbschlagzähigkeit (Izod) –30 °C	ISO 180/1A	kJ/m ²	4	11
Kugeldruckhärte	ISO 2039	N/mm ²	160	100

- ▶ Nebenvalenzkräfte können nicht nur zwischen Molekülketten, sondern auch zwischen Molekülketten und Wassermolekülen wirksam werden (Wasserstoffbrücken)
- ▶ Wassermoleküle können sich zwischen den Ketten einlagern und zu einer Vergrößerung des Kettenabstands führen
=> Dadurch nimmt die Festigkeit des Materials ab und die Zähigkeit zu
- ▶ Dieses Verhalten zeigen insbesondere polare Thermoplaste wie Polyamide, Polyester und Polymethacrylate



► Wasseraufnahme verschiedener Materialien

Wasseraufnahme... „(DIN 53 495, 1L)

Material	...an Luft (50% rel. Feuchte)	...bei Wasserlagerung			
PA46	1,2 - 3,7%	15%	ASA	0,35%	1,65%
PA6	2,5 - 2,8%	9,5%	POM	0,3%	1,4%
PA66	2,8-3,2%	8-11%	PET	0,3%	0,8%
PA11	0,8-1,2%	1,9%	PAEK	0,25%	0,8%
PA12	0,7-1,1%	1,2%	PC/ABS	0,2%	0,7%
PA6-3-T	3%	6,5%	PPE/SB	0,15%	0,4%
PA610	1,2-1,4%	3-4%	PC	0,15%	0,35%
PA612	1,3%	3%	PUR-T	0,15%	1,1%
PA6/6T	1,3	4,5	PP	0,1%	0,1%
PEBA	1,5%	5%	PE-HD	0,01-0,1%	0,1%
ABS	1%	3%	S/B	0,1%	0,1%
PES	0,7%	2,1%	PSU	0,1%	0,1%
PMMA	0,6%	2%	PP+EPDM	0,1%	0,1%
PBT	0,6%	0,6%	PS	0,1%	0,1%
TPE	0,6%	6%	PBT+ASA	0,08%	0,67%
			LCP	0,04%	0,02%
			PTFE	0,01%	0,01%

Reaktionsstoffe:

- ▶ Treibmittel
- ▶ Flammschutzmittel

Stabilisierende:

- ▶ UV-Stabilisatoren
- ▶ Thermostabilisatoren
- ▶ Antioxidantien

Verarbeitungsfördernde:

- ▶ Antistatika
- ▶ Gleitmittel
- ▶ Haftvermittler
- ▶ Trennmittel

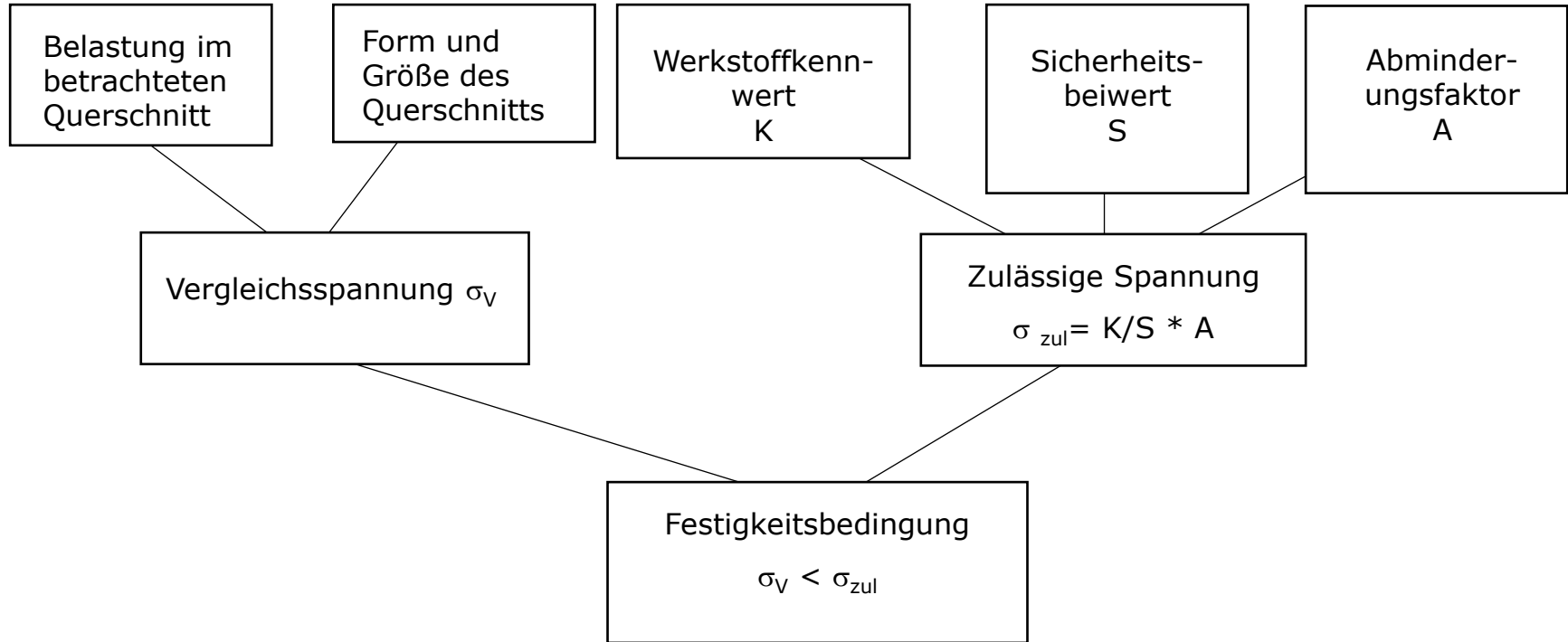
Festigkeitserhöhende:

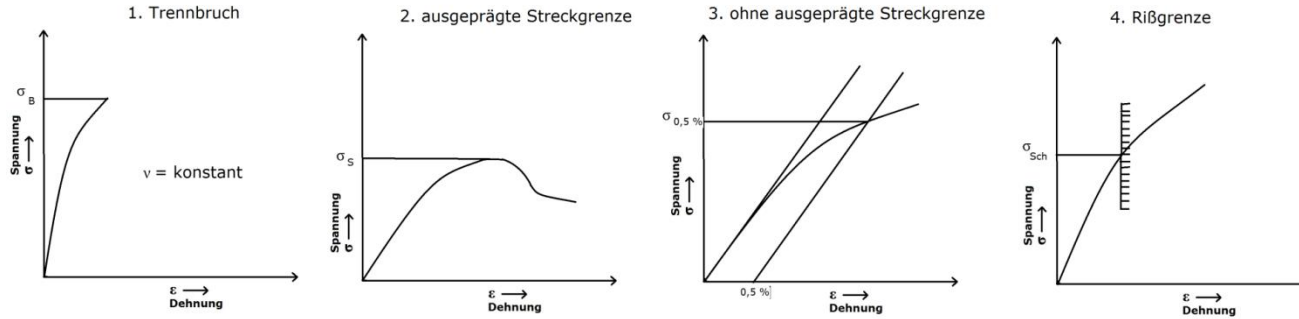
- ▶ Fasern
- ▶ Kugeln
- ▶ Cellulose
- ▶ mineralische Füllstoffe
(Kreide, Talkum, etc)

► Mechanische Werkstoffeigenschaften

- Ermittlung von Ersatzkennwerten für den entsprechenden Beanspruchungszustand (Zeit, Temperatur, Beanspruchung)
- Ermittlung der Spannungen und Dehnungen
- Abschätzung der Zulässigkeiten mit Versagensgrenzen
 - Zulässige Spannung
 - Zulässige Dehnung

Überprüfung der zulässigen Werte



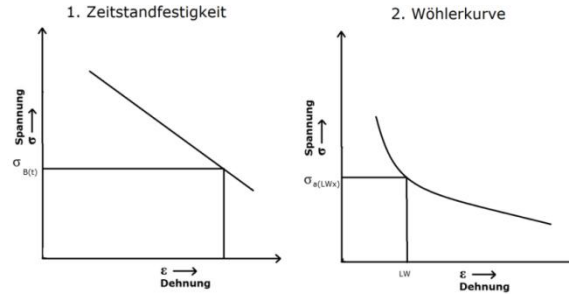


Beanspruchung:
kurzzeitig,
 $K = s_B$

kurzzeitig,
 $K = s_S$

kurzzeitig,
 $K = s_{0,5\%}$

kurzzeitig,
 $K = s_{Sch}$



Beanspruchung:
statisch,
 $K(t) = s_t$

dynamisch,
 $K(LW) = s_{s(LW)}$

▶ Sicherheitsbeiwerte

- $S_{\min} > 2$ bei Berechnung gegen Bruch
- $S_{\min} > 3$ bei Berechnung gegen Knickung und Beulen
- $S_{\min} > 1,2$ bei Berechnung gegen Schadensspannungen durch Rissbildung

▶ Abminderungsfaktoren

- $A_{St} = 0,7$ wenige Stunden
0,6 Wochen
0,55 Monate
0,5 Jahre
- $A_{dyn} = 0,25 \dots 0,3$ schwingende Beanspruchung
- $A_W = 1 - 0,22 f$ Wasseraufnahme, wobei f Feuchtigkeit in %-Gewicht
- $A_W = 0,25$ wenn $f > 3\%$

Berechnungsbeispiel



- $\sigma_{zul} = (K/S) * A$
- σ Streckspannung
- S Sicherheitsfaktor (gegen Bruch= 2)
- A Abminderungsfaktor bei stat. Belastung (einige Jahre= 0,5)

- $t = 5 \text{ mm} / d = 11 \text{ mm}$
- $A_{proj.} = 55 \text{ mm}^2$
- $F = 50 \text{ kg} = 500 \text{ N}$
- Material: Ultramid A3EG6 (PA 66 GF30)

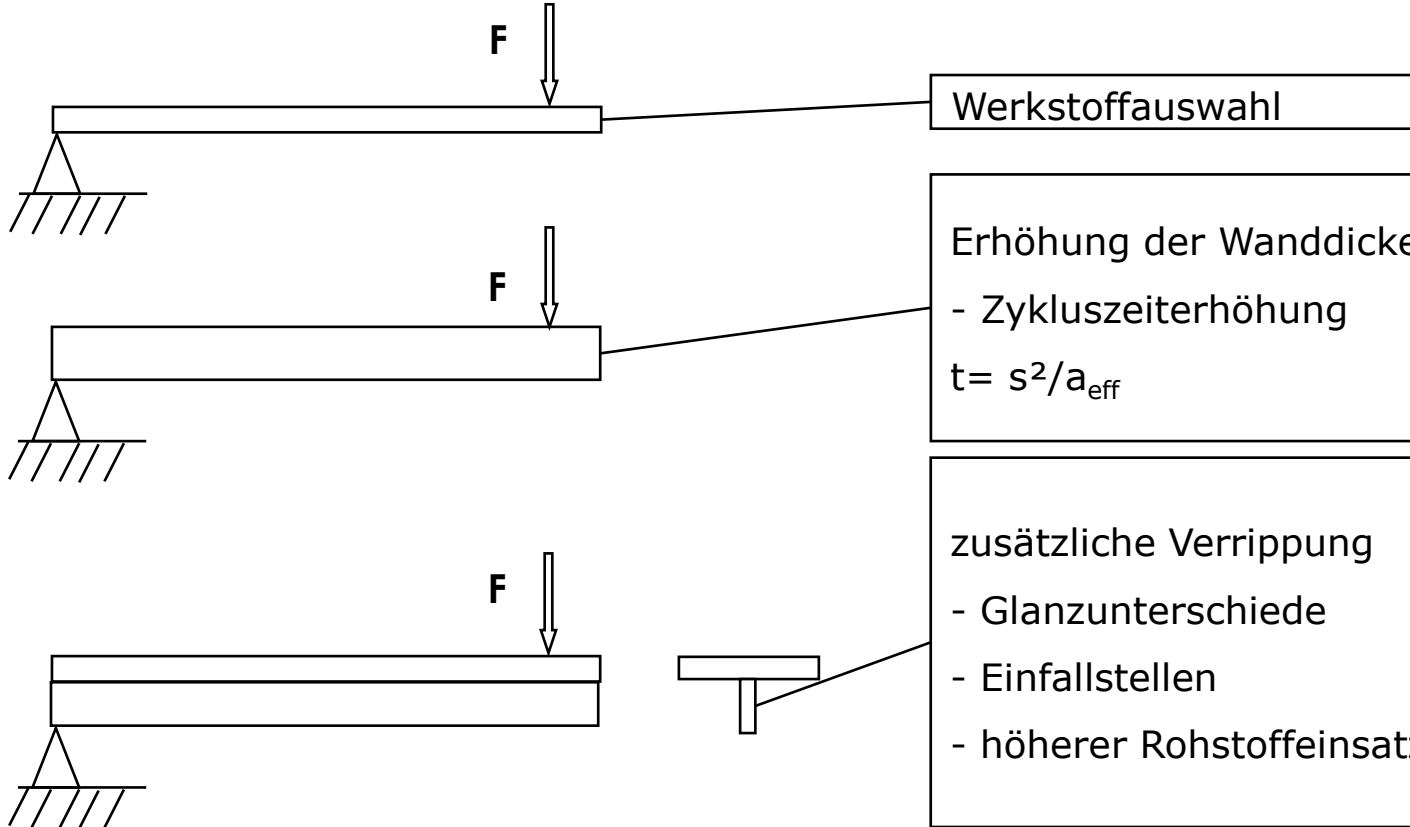
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{500 \text{ N}}{55 \text{ mm}^2} = 9,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{trocken} = \left(\frac{\sigma_S}{S}\right) * A = \left(\frac{190 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2}\right) * 0,5 = 47,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{feucht} = \left(\frac{\sigma_S}{S}\right) * A = \left(\frac{130 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2}\right) * 0,5 = 32,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Achtung: isochrones Spannungs-Dehnungs-Diagramm beachten

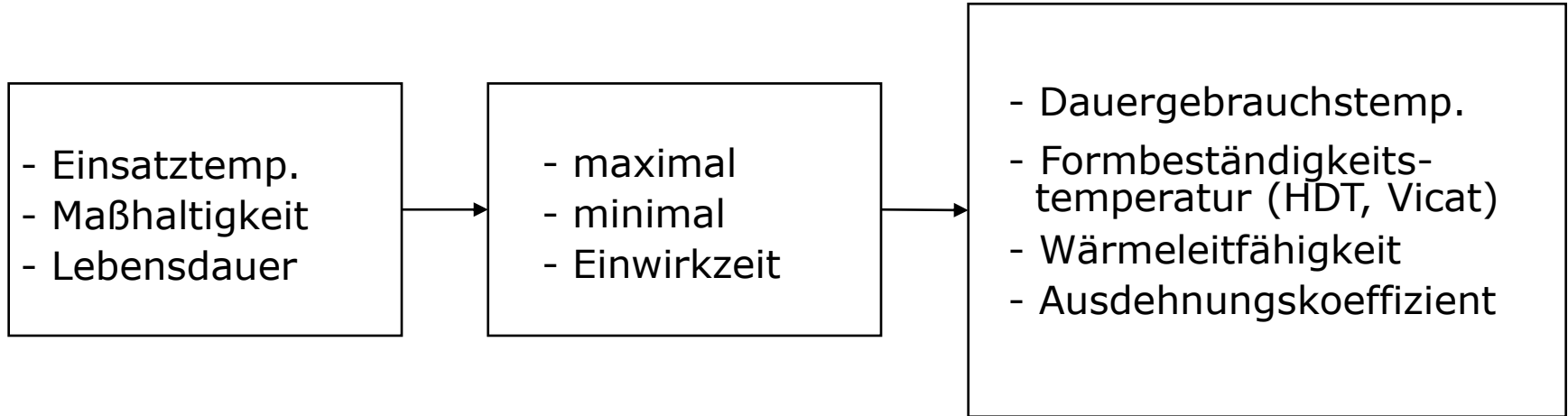
Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung eines Bauteils



Werkstoffauswahl

Erhöhung der Wanddicke
- Zykluszeiterhöhung
 $t = s^2/a_{\text{eff}}$

zusätzliche Verrippung
- Glanzunterschiede
- Einfallstellen
- höherer Rohstoffeinsatz

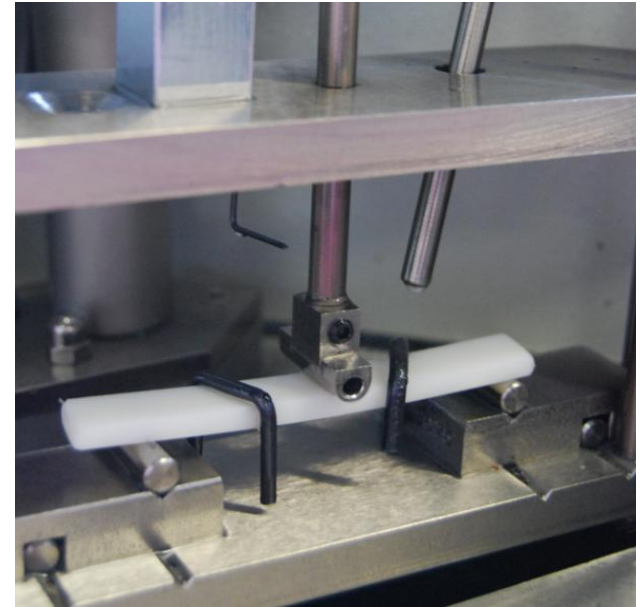


► Thermische Prüfverfahren

- Vicat-Erweichungstemperatur und Warmformbeständigkeit HDT



Vicat



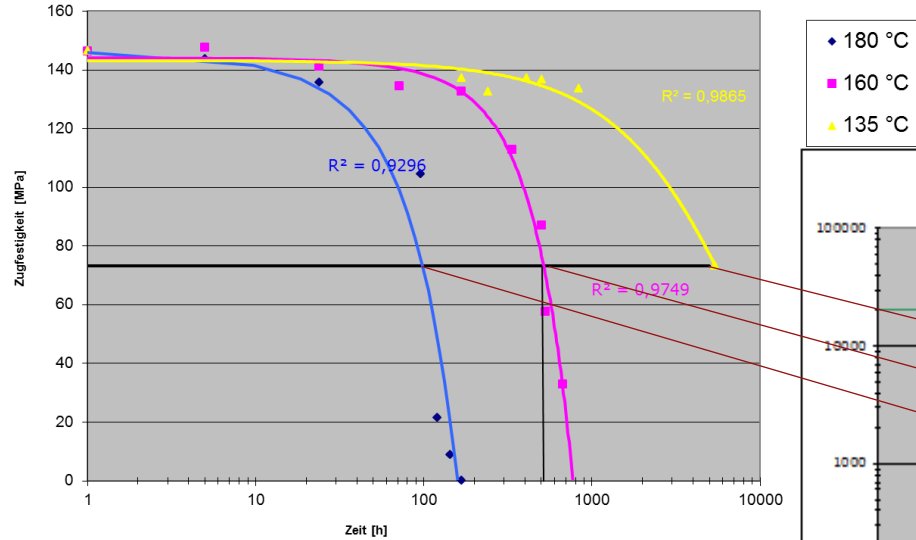
HDT

► Thermische Prüfverfahren

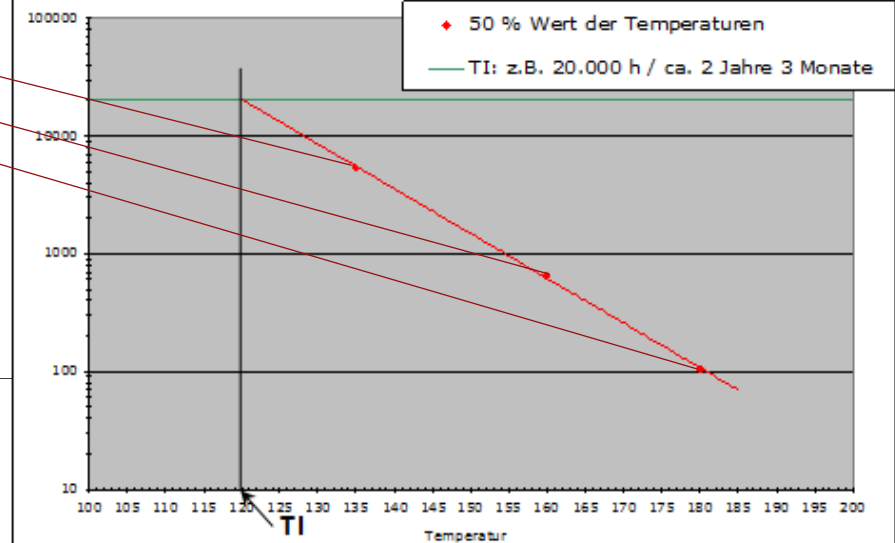
- Unterteilung in verschiedene Brandklassen nach UL 94 (z.B. HB, V1, V2, V0...)
- Glühdrahtprüfung IEC 695-2-1 simuliert thermische Spannungen, die von Wärme oder Zündquellen auf den Kunststoff einwirken können
 - Temperaturangabe in °C
- Relativer Temperaturindex (RTI) bezeichnet die maximale Einsatztemperatur, bei der ein Material seine kritischen Eigenschaften innerhalb vertretbarer Grenzen beibehält (Dauergebrauchstemperatur 20.000 h)

- ▶ „Rel. Temperature Index (RTI)“
 - Temperaturgrenzen für den Langzeitgebrauch ohne äußere Belastung an Luft
 - Werte werden aus Arrhenius-Kurven abgeleitet
 - Datenermittlung sehr aufwendig
 - Grenze: Temperatur, bei der eine spezifische Eigenschaft auf 50% ihres ursprünglichen Wertes abgefallen ist
 - Auf Antrag kann auch der GTI (Generic Temperature Index) ohne Prüfung gelistet werden (Erfahrungswerte)
 - $GTI \ll RTI$
- ▶ Bewertungsgrundlagen
 - Elec. (elektrische Belastung)
 - Durchschlagfestigkeit
 - Imp. (mechanische Bel. mit Schlag)
 - Bevorzugt Schlagzugzähigkeit oder Schlagzähigkeit
 - Str. (mechanische Bel. ohne Schlag)
 - Bevorzugt Zugfestigkeit, ansonsten Biegefestigkeit

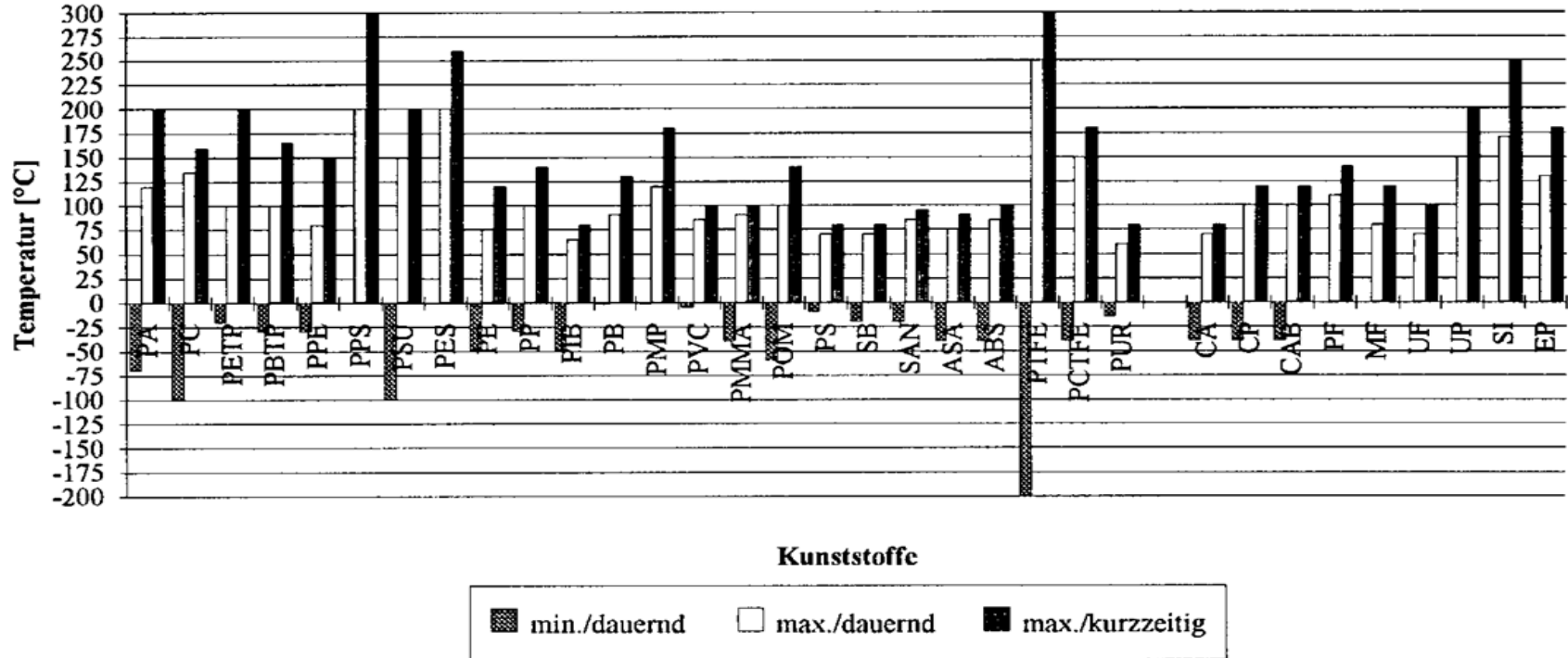
Zugfestigkeit bezogen auf Temperaturlagerung



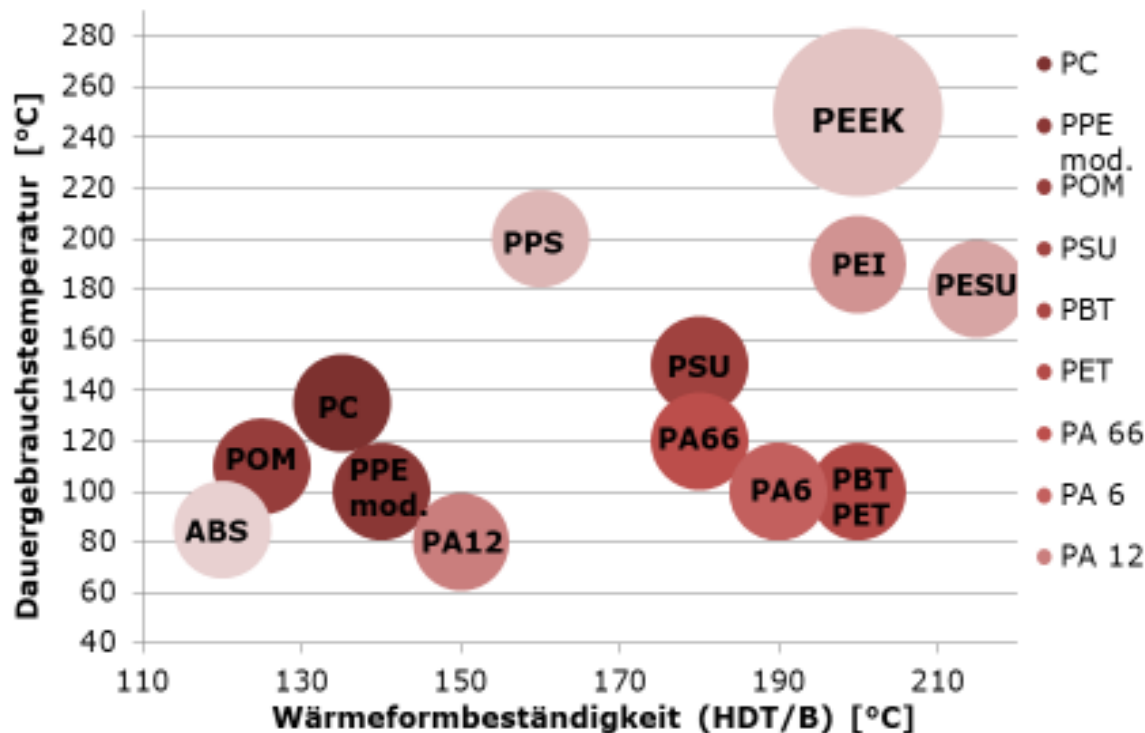
Thermisches Langzeitdiagramm



Gebrauchstemperaturbereich



Eigenschaften unterschiedlicher Polymere



Systematische Vorgehensweise

- ▶ Umgang mit Daten (Datenbanken):
 - Werkstoffkennwerte
 - zur Bestimmung des geeignetsten Werkstoffs
 - zur Identifizierung
 - zur Klassifizierung
 - zum Vergleich
 - zur Voraussage der Funktionalität

- ▶ Herausforderung:
 - Eigenschaftswerte aus genormten Versuche
 - keine pauschale Zuordnung
 - beeinflussende Faktoren berücksichtigen

- ▶ Datenbanken
 - CAMPUSPLASTICS.com | Mbase | UL Prospector (IDES)
- ▶ Umgang mit Datenbanken
 - Güte der Datenbank abhängig von der Aktualität
 - Schaffung der Vergleichbarkeit verschiedener Werkstoffe
 - Genormte Prüfungen können den jeweiligen Praxisfall immer nur tangieren!

1. Zur WARNUNG vor allzu sorglosem Umgang mit Kennwerten
2. Zur NOTWENDIGKEIT, das Anforderungsprofil für jedes Formteil weit möglichst zu analysieren
3. Zur FORDERUNG, festzulegen welche Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Materiales und dem Anforderungsprofil des Teils bestehen

Matthias Korres
+49 (0) 23 51.10 64-174
korres@kimw.de

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