

---

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

---

Die physikalischen Eigenschaften von Elastollan® werden im Folgenden anhand von Prüfergebnissen dargestellt, wobei auch die angewandten Prüfmethoden näher erläutert sind. Richtwerte dieser Prüfungen finden Sie in unserer Broschüre „Elastollan®-Sortimentsübersicht“ und in den zugehörigen Produktinformationen.

Für die Untersuchungen werden spritzgegossene Prüfkörper verwendet.

Vor der Verarbeitung wird das Granulat getrocknet. Alle Prüfungen erfolgen an Probekörpern, die 20 Stunden bei 100 °C getempert und anschließend mindestens 24 Stunden bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte gelagert wurden. Die so ermittelten Werte sind nicht immer auf Fertigteile übertragbar.

Folgende Faktoren beeinflussen die physikalischen Eigenschaften in unterschiedlicher Weise:

- Artikelgestaltung
- Herstell- und Verarbeitungsbedingungen
- Orientierung der Makromoleküle und der Füllstoffe
- Eigenspannungen
- Feuchtigkeitsgehalt
- Temperung
- Umgebungsbedingungen.

Daher sollten praxisbezogene Prüfungen am Fertigteil vorgenommen werden.

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Steifigkeit

Die Variationsbreite der Polyurethanchemie ermöglicht es, Elastollan® in einem sehr weiten E-Modul-Bereich herzustellen. Abbildung 2 zeigt den E-Modul-Bereich von TPU und RTPU im Vergleich zu anderen Werkstoffen.

Der Elastizitätsmodul (E-Modul) wird aus dem Zugversuch nach DIN EN ISO 527-1A an einem Probekörper bei einer Prüfgeschwindigkeit von 1 mm/min ermittelt. Aus der Anfangssteigung der Spannungs-Dehnungs-Kurve wird der E-Modul als Verhältnis von Spannung zu Dehnung berechnet.

Bei Kunststoffen hat sich gezeigt, dass der Elastizitätsmodul von folgenden Parametern beeinflusst wird:

- Temperatur
- Feuchtegehalt
- Orientierung der Makromoleküle und der Füllstoffe
- Beanspruchungsgeschwindigkeit und -dauer
- Geometrie der Probekörper
- Prüfeinrichtung.

Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen den E-Modul für einige Produkte in Abhängigkeit von der Temperatur. Allgemeine Festigkeitswerte aus dem Zugversuch sind denen aus dem Biegeversuch vorzuziehen, weil beim Zugversuch die Spannungsverteilung über die relevante Prüfkörperlänge konstant ist.

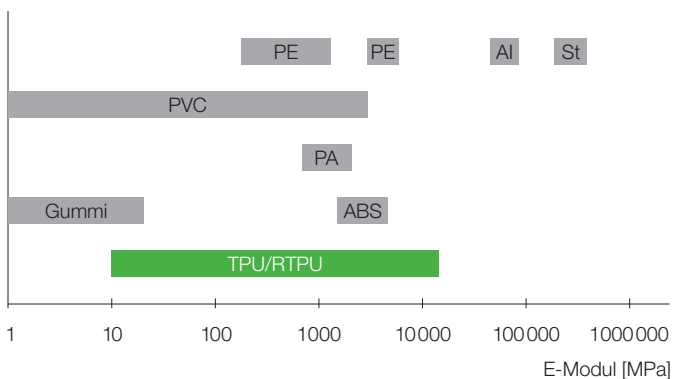


Abb. 2: Der E-Modul-Bereich von TPU und RTPU im Vergleich zu anderen Werkstoffen

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

Abb. 3: E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur  
Elastollan® Polyester-Typen

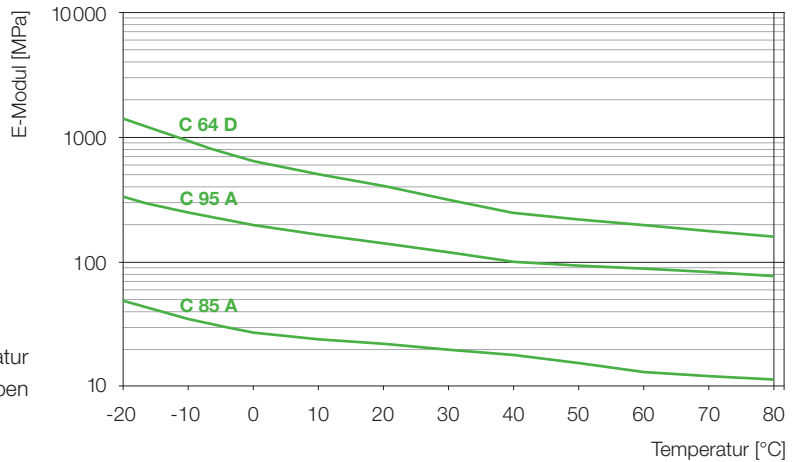


Abb. 4: E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur  
Elastollan® Polyether-Typen

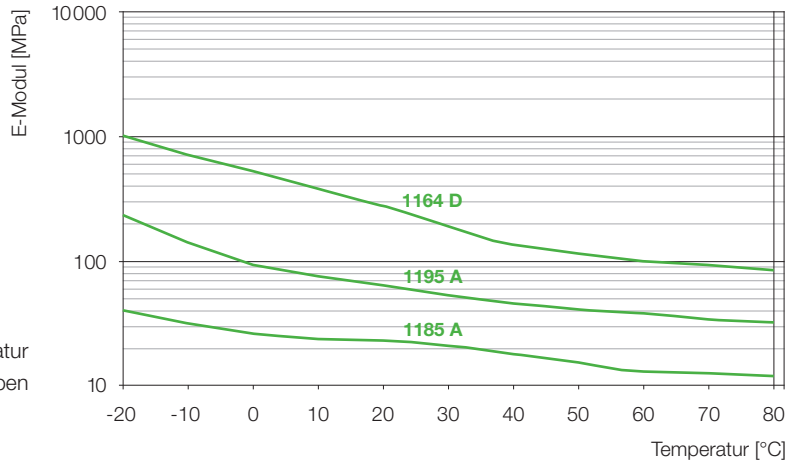
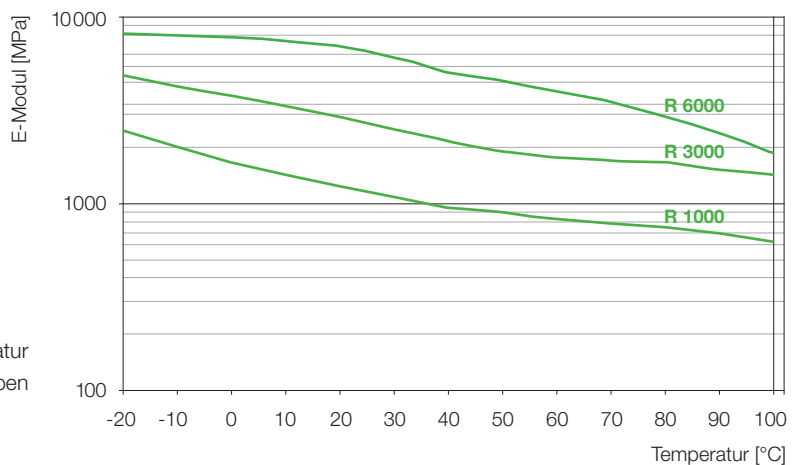


Abb. 5: E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur  
Elastollan® glasfaserverstärkte Typen



# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Shore-Härte

Die Bestimmung der Härte von thermoplastischen Polyurethanen (TPU) wie Elastollan® wird nach Shore A bzw. Shore D gemäß DIN ISO 7619-1 (3s) durchgeführt. Unter der Härte nach Shore wird der Widerstand eines Werkstoffes gegen das Eindringen eines Körpers oder einer Nadel unter definierter Federkraft verstanden. Sie wird angegeben als ganze Zahl von 0 bis 100 mit dem Buchstaben A bzw. D.

Je größer die Zahl, desto höher die Härte. Der Buchstabe A kennzeichnet weichere Einstellungen, der Buchstabe D härtere, wobei sich die Bereiche überschneiden.

In Abbildung 6 sind die Skalen der Härten Shore A und D für Elastollan® in etwa gegenübergestellt. Eine generelle Abhängigkeit zwischen Shore A und D ist nicht gegeben. Elastollan®-Typen weisen im Normklima (23 °C, 50 % relative Feuchte) eine Härte von 35 Shore A bis 80 Shore D auf.

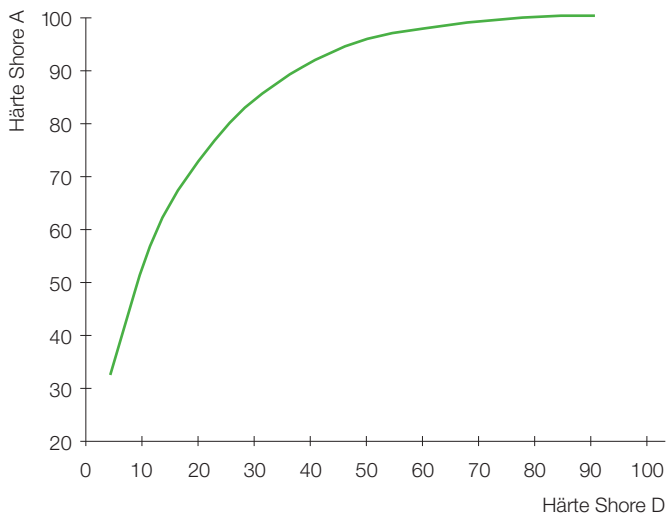


Abb. 6: Gegenüberstellung der Härten Shore A und D

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Glasübergangstemperatur

Unter der Glasübergangs- oder auch Einfriertemperatur ( $T_g$ ) eines Kunststoffes versteht man den reversiblen Übergang von amorphen Bereichen aus einem harten, spröden Zustand heraus in einen visko- oder gummielastischen Zustand. Der Glasübergang vollzieht sich je nach Härte bzw. amorphem Anteil des Materials in einem mehr oder weniger breiten Temperaturintervall. Je größer der amorphe Anteil (weicherer Elastollan®-Produkt), desto niedriger ist die Glasübergangstemperatur und desto kleiner ist dieses Temperaturintervall.

Zur Bestimmung der Glasübergangstemperatur gibt es mehrere Messmethoden, wobei jede Methode je nach Prüfbedingungen einen anderen Wert liefern kann. So werden bei dynamischen Prüfungen höhere Temperaturwerte gemessen als bei statischen. Auch die thermische Vorgeschichte des zu messenden Stoffes spielt eine Rolle. Um also die Glasübergangstemperaturen verschiedener Produkte vergleichen zu können, muss man gleiche Methoden und Bedingungen wählen.

Abbildung 7 zeigt die Glasübergangstemperaturen einiger Elastollan®-Typen, die mit der Methode der Differential Scanning Calorimetry (DSC) mit einer Heizrate von 10 K/min durchgeführt wurden.

Die  $T_g$  wurde anhand des Kurvenverlaufs, der im Übergangsbereich stufenförmig ist, nach DIN EN ISO 11357-2 ausgewertet. Aus den in den Abbildungen 8 bis 13 dargestellten Torsionsmodul- und Dämpfungskurven lassen sich  $T_g$ s anhand des Dämpfungsmaximums definieren. Da es sich hierbei um eine dynamische Prüfung handelt, liegen die  $T_g$ s über denen aus DSC-Messungen.

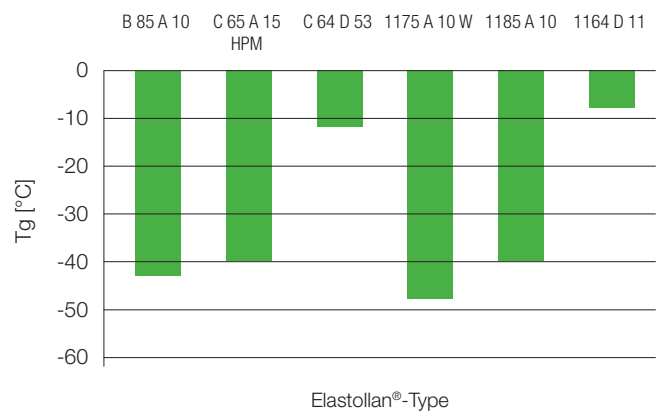


Abb. 7: Glasübergangstemperatur ( $T_g$ ) aus DSC mit 10 K/min

---

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

---

### Torsionsmodul

Mit dem Torsionsschwingungsversuch nach DIN EN ISO 6721-2 wird das elastische Verhalten von polymeren Werkstoffen unter dynamischer Torsionsbeanspruchung in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt. Hierbei wird ein Probekörper zu freien Torsionsschwingungen angeregt. Der Verdrehwinkel wird so klein gewählt, dass keine bleibende Verformung entsteht. Bei den in der Norm vorgegebenen Versuchsparametern stellt sich mit steigender Temperatur eine Frequenz von 0,1 bis 10 Hz ein.

Während des Ausschwingens wird die abklingende Sinusschwingung erfasst. Aus dieser Abklingkurve können der Torsionsmodul und die Dämpfung errechnet werden. Der Torsionsmodul ist der Quotient aus der Torsionsspannung und der durch sie verursachten elastischen Winkelverformung.

In den Abbildungen 8 bis 13 sind für einige Elastollan®-Typen der Torsionsmodul und die Dämpfung in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Die Kurven für den Torsionsmodul verlaufen im unteren Temperaturbereich auf einem hohen Niveau relativ flach. Dieses ist der sogenannte energieelastische Temperaturbereich. Die Dämpfung hat hier niedrige Werte.

Mit zunehmender Temperatur fällt die Torsionsmodulkurve ab, und die Dämpfung nimmt zu. Es handelt sich hierbei um den sogenannten Glasübergangsbereich. Die Dämpfung durchläuft hier ein Maximum.

Im Anschluss an den Glasübergangsbereich wird die Torsionsmodulkurve flacher. Diesen Zustand bezeichnet man als entropieelastisch (gummielastisch). In diesem Bereich ist der Werkstoff noch formstabil. Im weiteren Verlauf fällt der Torsionsmodul stärker ab, und die Dämpfung nimmt zu. Hier liegt überwiegend viskoelastisches Verhalten vor.

Die beschriebenen Abschnitte sind unterschiedlich stark ausgeprägt. Generell ist festzustellen, dass die beschriebenen Übergänge mit abnehmender Härte des Elastollan®-Typs deutlicher werden.

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

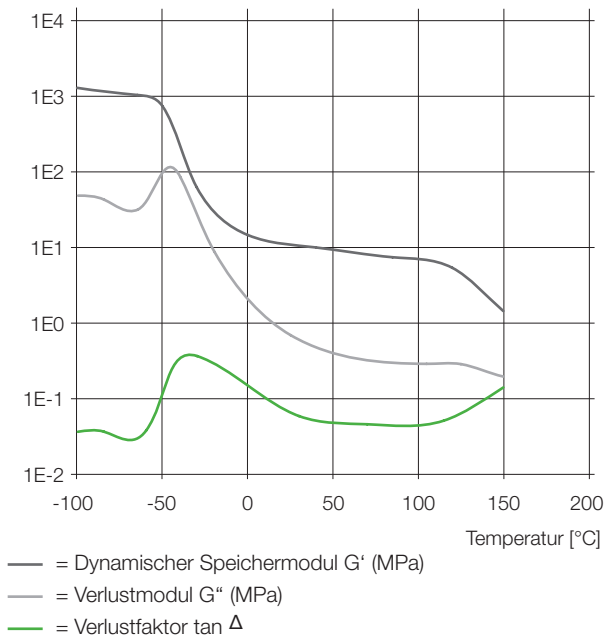


Abb. 8: Elastollan® C 85 A 10

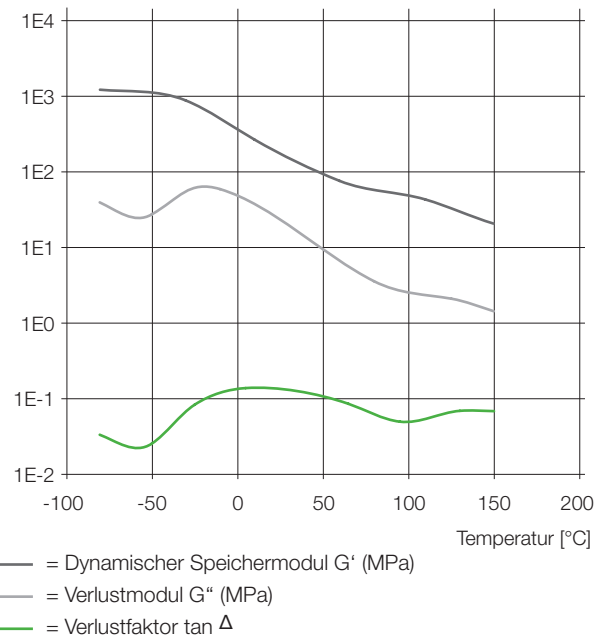


Abb. 10: Elastollan® C 64 D

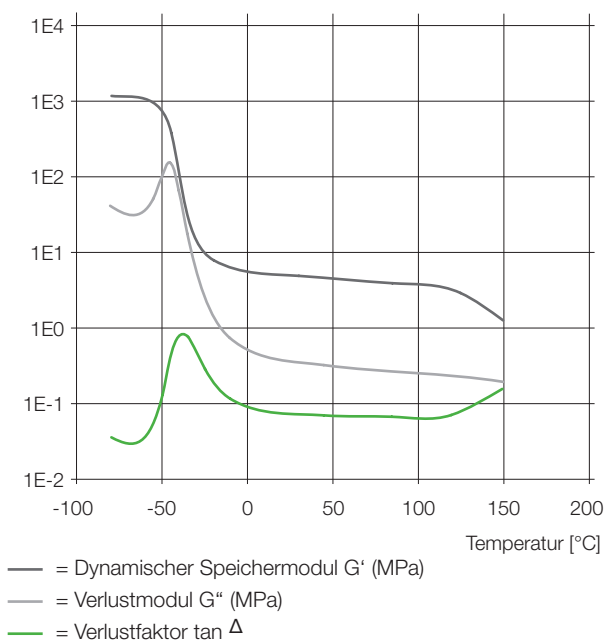


Abb. 9: Elastollan® C 65 A HPM

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Torsionsmodul

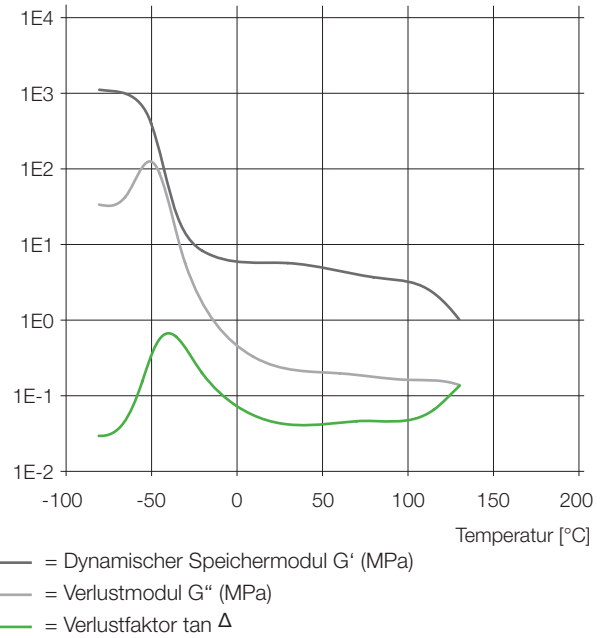


Abb. 12: Elastollan® 1175 A 10 W

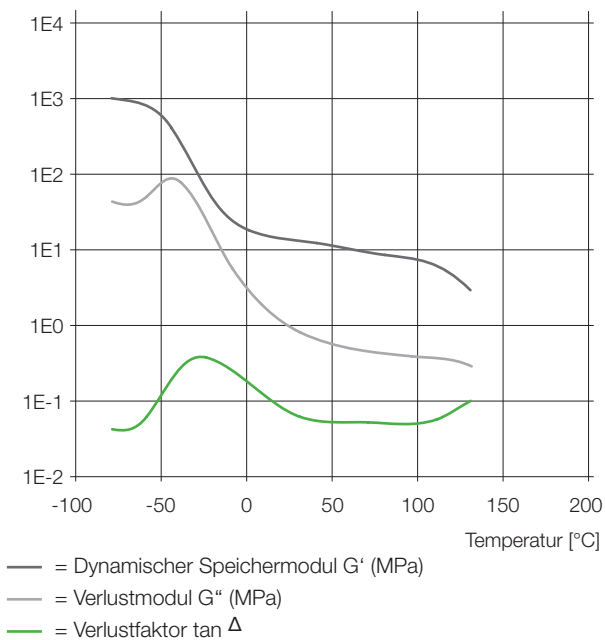


Abb. 11: Elastollan® 1185 A 10

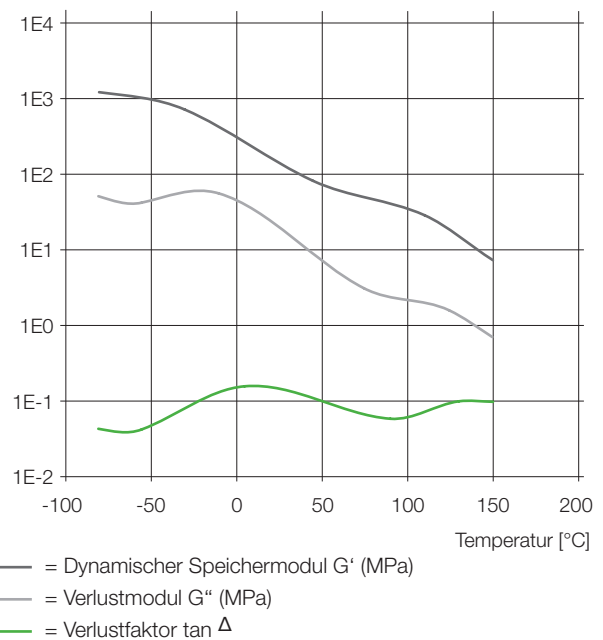


Abb. 13: Elastollan® 1164 D



# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Zugfestigkeit

Das Verhalten von Elastomeren bei kurzer, einachsiger, statischer Zugbeanspruchung wird durch den Zugversuch nach DIN EN ISO 527-2-5A ermittelt und als Spannungs-Dehnungs-Diagramm dargestellt. Die Zugspannung wird zu jedem Zeitpunkt des Versuchs auf den ursprünglichen Anfangsquerschnitt der Probe bezogen.

Dadurch bleibt die tatsächliche Spannung, die aufgrund des stetig abnehmenden Probenquerschnittes gleichmäßig zunimmt, unberücksichtigt. Aus den Spannungs-Dehnungs-Diagrammen lassen sich folgende allgemeine Festigkeits- und Verformungskennwerte ablesen (Abbildung 14):

Festigkeitskennwerte:

- Die Streckspannung (Yield Stress)  $\sigma_Y$  ist die Zugspannung, bei der die Steigung der Spannungs-Dehnungs-Kurve erstmals den Wert Null annimmt.
- Die Zugfestigkeit  $\sigma_{max}$  ist die Zugspannung bei Höchstkraft.
- Die Reißfestigkeit oder Bruchspannung  $\sigma_B$  ist die Zugspannung im Augenblick des Reißens der Probe.

Verformungskennwerte:

- Die Streckdehnung (Yield Strain)  $\epsilon_Y$  ist die Dehnung, die der Streckspannung zugeordnet ist.
- Die Höchstkraftdehnung  $\epsilon_{max}$  ist die Dehnung, die der Zugfestigkeit zugeordnet ist.
- Die Reißdehnung oder Bruchdehnung  $\epsilon_B$  ist die Dehnung, die der Reißfestigkeit zugeordnet ist.

Bei unverstärkten Elastollan®-Typen treten diese Kennwerte bei Raumtemperatur in der Regel nicht differenziert auf. So fallen z. B. die Reißfestigkeit und die Zugfestigkeit in einem Punkt am Ende der Kurve zusammen (Abbildung 15). Eine Streckspannung ist nur bei harten Einstellungen im Tieftemperaturbereich zu bestimmen. Für glasfaserverstärkte Elastollan®-Typen (Typreihe R) fällt die Streckspannung mit der Zugfestigkeit zusammen (Abbildung 16).

Die Spannungs-Dehnungs-Diagramme auf den folgenden Seiten zeigen einerseits das große Verformungspotential von Elastollan®, bestimmt nach DIN EN ISO 527-2-5A bei einer Geschwindigkeit von 200 mm/min., andererseits sind Diagramme für kleinere Verformungen dargestellt. Die Kurven für die R-Typen wurden nach DIN EN ISO 527-2-1A bei einer Geschwindigkeit von 50 mm/min ermittelt.

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Zugfestigkeit

Abb. 14: Allgemeine Festigkeits- und Verformungskennwerte aus dem Zugversuch

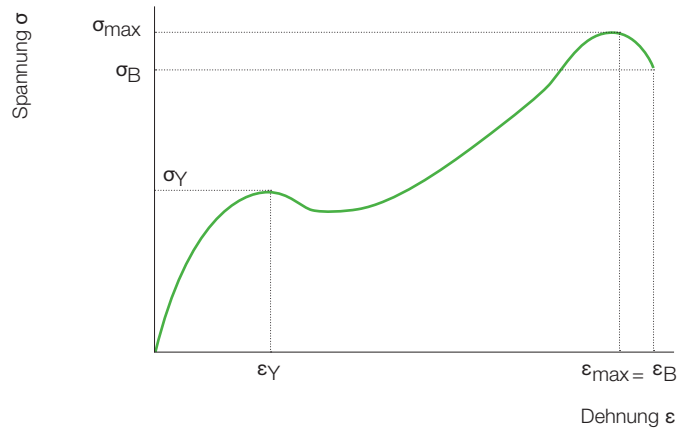


Abb. 15: Charakteristische Spannungs-Dehnungs-Kurve für unverstärktes Elastollan®

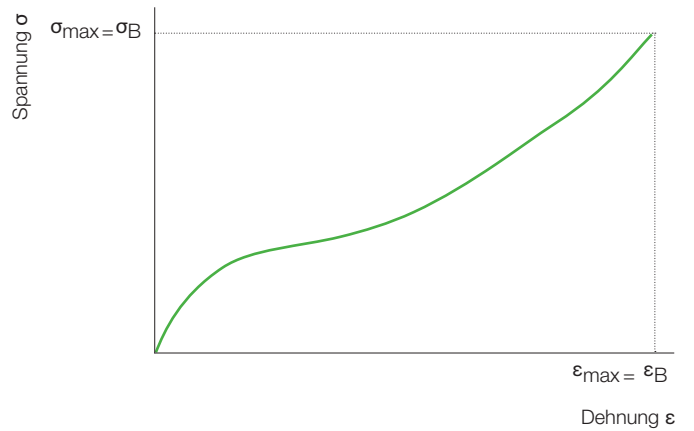
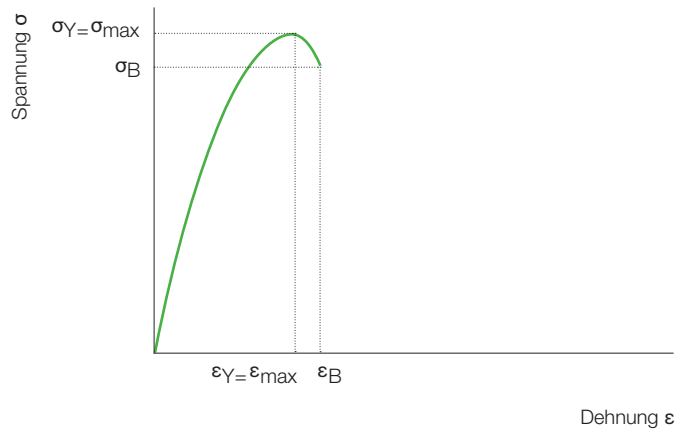


Abb. 16: Charakteristische Spannungs-Dehnungs-Kurve für glasfaserverstärktes Elastollan®

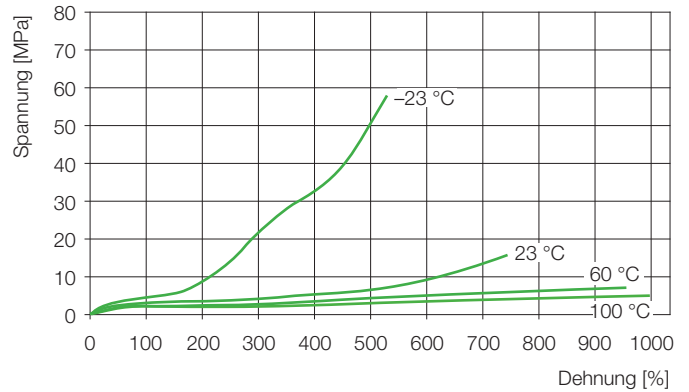


# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Zugfestigkeit

Abb. 17: Elastollan® C 65 A HPM



Anmerkung:

Die Kurven der Diagramme auf den Seiten 15 und 16 sind nach DIN EN ISO 527-2-5A mit einer Geschwindigkeit von 200 mm/min bis zum Reißen der Probe ermittelt.

Abb. 18: Elastollan® C 85 A

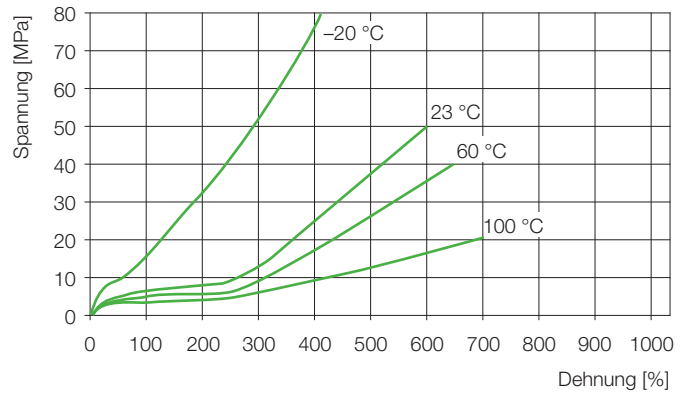
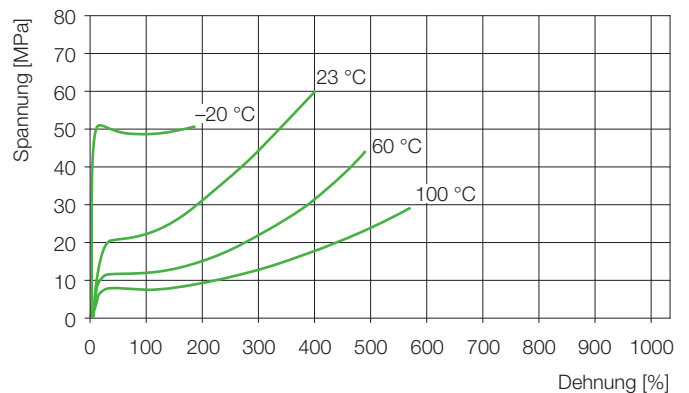


Abb. 19: Elastollan® C 64 D



# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Zugfestigkeit

Abb. 20: Elastollan® 1175 AW

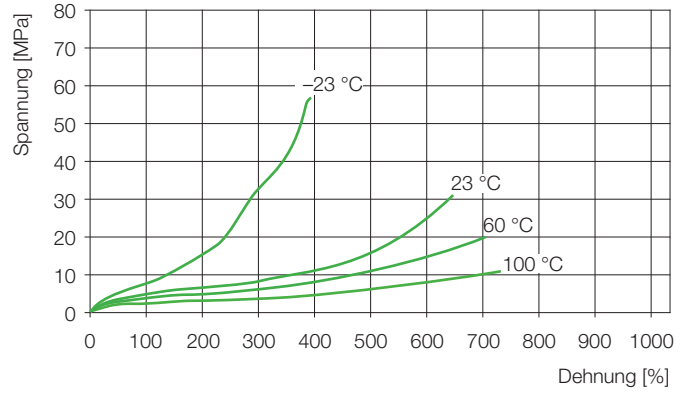


Abb. 21: Elastollan® 1185 A

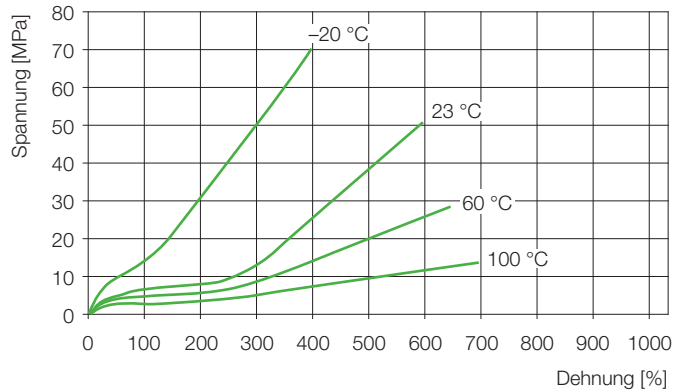
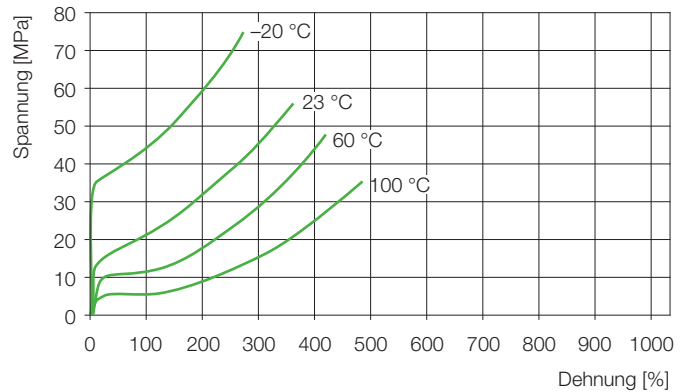


Abb. 22: Elastollan® 1164 D

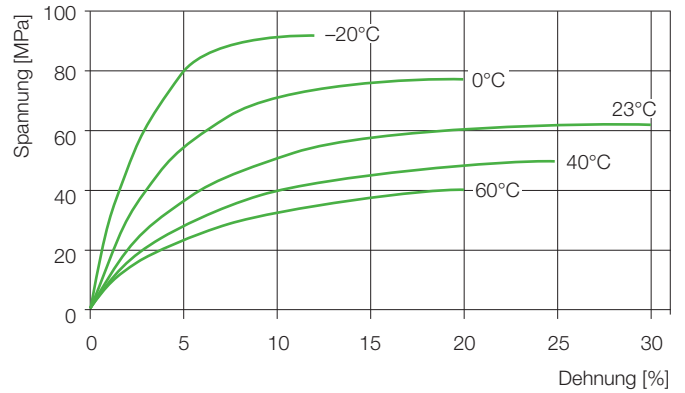


# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Zugfestigkeit

Abb. 23: Elastollan® R 1000



Anmerkung:

Die Kurven der Diagramme auf der Seite 17 sind nach DIN EN ISO 527-2-1A mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min bis zum Reißen der Probe ermittelt.

Abb. 24: Elastollan® R 3000

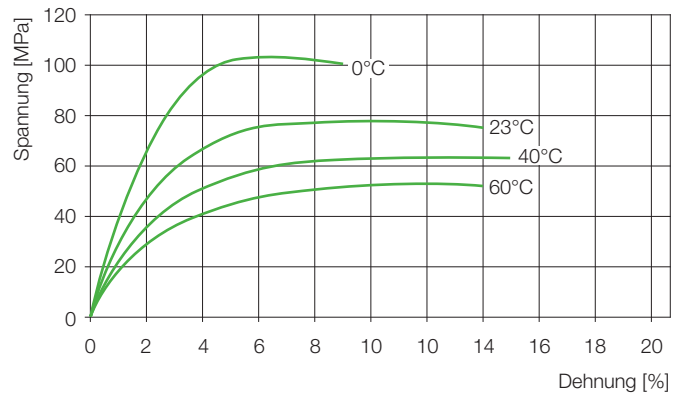
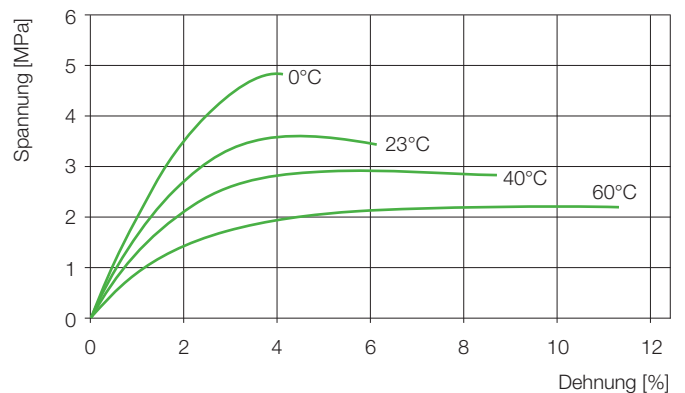


Abb. 25: Elastollan® R 6000



# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Weiterreißwiderstand

Unter Weiterreißwiderstand versteht man den Widerstand, den ein eingekerbter Prüfkörper dem Weiterreißen entgegengesetzt. Elastollan® ist hier den meisten Kunststoffen weit überlegen.

Die Prüfung erfolgt nach DIN ISO 34-1Bb an Winkelproben, die einseitig mit einem Einschnitt versehen sind. Diese werden mit einer Geschwindigkeit von 500 mm/min senkrecht zum Einschnitt gezogen, bis sie durchgerissen sind. Der Weiterreißwiderstand [kN/m] ist der Quotient aus erreichter Höchstkraft und Probendicke.

In den Diagrammen ist der Weiterreißwiderstand für einige Elastollan®-Typen in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt.

Abb. 26: Weiterreißwiderstand in Abhängigkeit von der Temperatur für Elastollan® Polyester-Typen

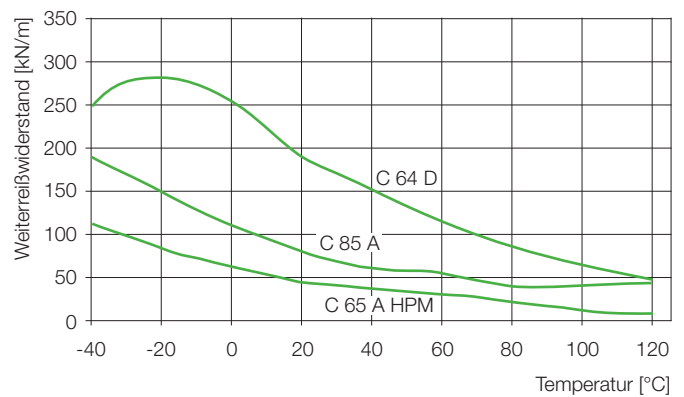
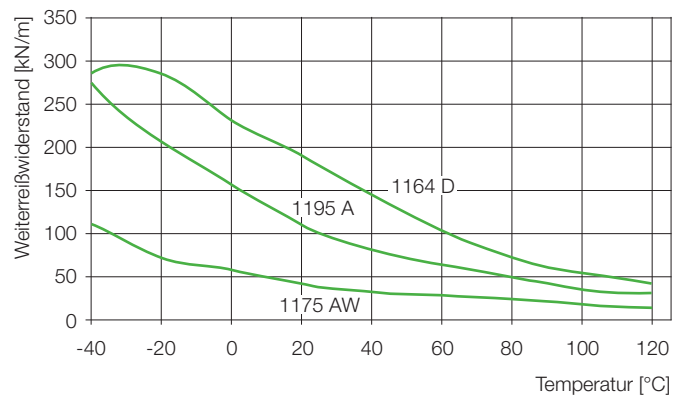
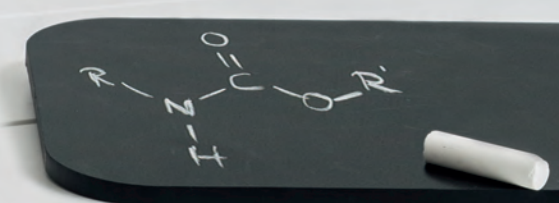


Abb. 27: Weiterreißwiderstand in Abhängigkeit von der Temperatur für Elastollan® Polyether-Typen





Gerne senden wir Ihnen die Broschüre: Elastollan®-Sortimentsübersicht mit Detailinformationen zu den technischen Eigenschaften von Elastollan®.

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Langzeitverhalten

Rein elastisches Verformungsverhalten, bei dem die elastischen Kennwerte Konstanten sind, tritt strenggenommen bei keinem Material auf. Infolge der inneren Reibung sind stets ein viskoelastischer und ein viskoser Verformungsanteil vorhanden, die eine Abhängigkeit der Kenngrößen von der Beanspruchungszeit und -höhe bewirken.

Diese nicht elastischen Anteile hängen wesentlich von der Temperatur und der Zeit ab. Bei Kunststoffen ist diese Abhängigkeit bei Dauerbelastung schon bei Raumtemperatur zu berücksichtigen.

Das Verhalten unter langzeitiger statischer Beanspruchung lässt sich nach ISO 899 mit Hilfe von Kriechversuchen charakterisieren. Dabei wird eine Probe durch eine ruhende Last auf Zug beansprucht und die dadurch bewirkte Verformung als Funktion der Zeit gemessen. Führt man diesen Versuch mit unterschiedlichen Lasten durch, erhält man aus den Daten ein sogenanntes isochrones Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

Aus einem solchen Diagramm kann man einerseits ablesen, wie sich ein Bauteil mit der Zeit unter einer bestimmten Belastung verformt. Andererseits lässt sich ermitteln, wie die Spannung in einem Bauteil bei gegebener Verformung abnimmt (Abbildungen 28 bis 32).

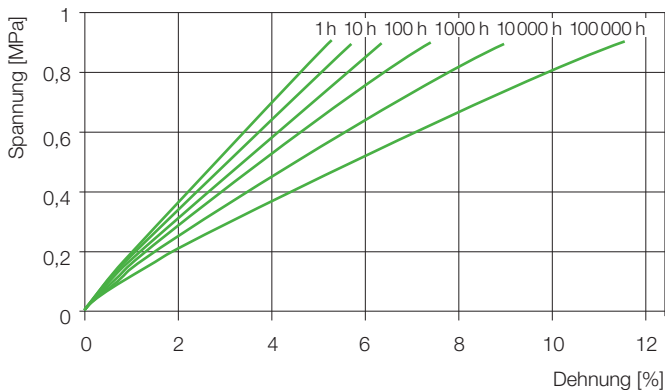


Abb. 28: Isochrone Spannungs-Dehnungs-Linien bei 23 °C Elastollan® C 85 A

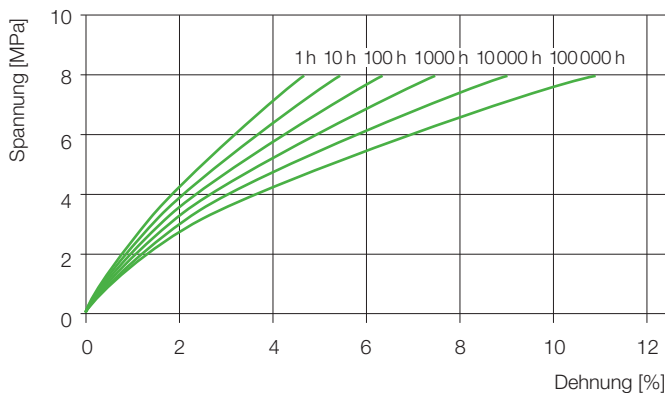


Abb. 29: Isochrone Spannungs-Dehnungs-Linien bei 23 °C Elastollan® C 64 D



# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

### Langzeitverhalten

Abb. 30: Isochrone Spannungs-Dehnungs-Linien bei 23 °C  
Elastollan® 1185 A

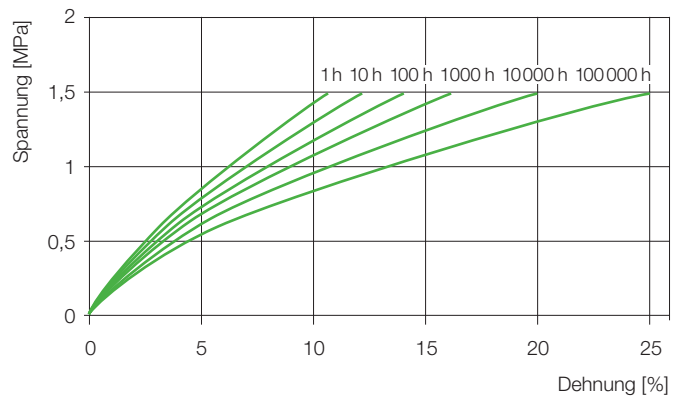


Abb. 31: Isochrone Spannungs-Dehnungs-Linien bei 23 °C  
Elastollan® 1164 D

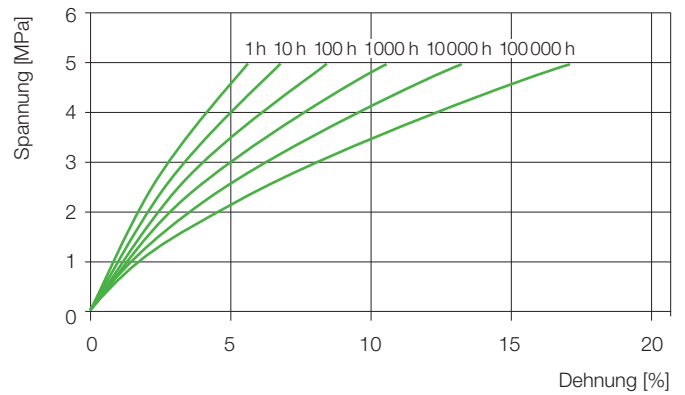
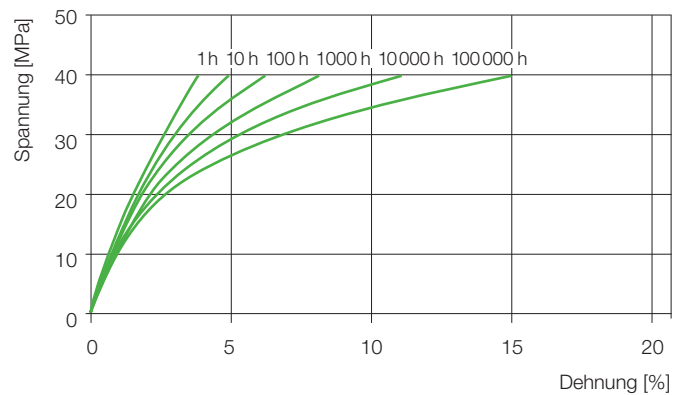


Abb. 32: Isochrone Spannungs-Dehnungs-Linien bei 23 °C  
Elastollan® R 3000



---

# Physikalische Eigenschaften

## Mechanische Eigenschaften

---

### Druckverformungsrest

Die Bestimmung des Druckverformungsrestes DVR [%] nach DIN ISO 815 ist ein Zeitstandversuch über 24 Stunden bei 70 °C oder 72 Stunden bei Raumtemperatur mit konstanter Verformung. Bei der Stauchbeanspruchung in der Praxis sollte man 5 % Stauchung bei den härteren bzw. 10 % Stauchung bei den weicherer Typen nicht überschreiten, wenn merkliche plastische Verformungen nach Entlastung unterbleiben sollen. Zur Erzielung eines guten, d. h. möglichst niedrigen Druckverformungsrestes ist eine Temperung der Fertigteile unbedingt erforderlich.

### Schlagzähigkeit

Elastollan® zeichnet sich durch eine sehr hohe Kälteschlag- und Kerbschlagzähigkeit aus. Nähere Informationen zur Schlagzähigkeit finden Sie in der Tabelle (S. 28-33) oder in den Produktinformationen.

### Abrieb

Der Abrieb [mm<sup>3</sup>] wird nach DIN ISO 4649-A ermittelt. Hierbei wird ein Probekörper mit einer bestimmten Anpresskraft auf einer mit einem Prüfschmirgelbogen bespannten, drehenden Walze geführt. Der gesamte Reibweg beträgt ca. 40 m. Gemessen wird der durch abrasiven Verschleiß entstandene Masseverlust unter Berücksichtigung der Dichte des Prüfkörpers und der Angriffsschärfe des Prüfschmirgelbogens. Die Angabe erfolgt als Volumenverlust in mm<sup>3</sup>.

Elastollan® weist einen sehr geringen Abrieb auf. TPU gilt unter Praxisbedingungen als der abriebbeständigste Elastomer-Werkstoff. Entscheidend hierfür ist eine ausreichende Trocknung des Granulates vor der Verarbeitung. Detailangaben zum Abrieb finden Sie in der aktuellen Elastollan®-Sortimentsübersicht oder in den Produktinformationen.

# Physikalische Eigenschaften

## Thermische Eigenschaften

### Wärmeausdehnung

Elastollan® unterliegt, wie alle Werkstoffe, einer temperaturabhängigen, reversiblen Längenänderung. Diese wird durch den thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  [1/K] angegeben und nach ISO 11359-1-2 in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt. Die Abbildungen 33 und 34 zeigen den Längenausdehnungskoeffizienten von Elastollan® in Abhängigkeit von der Temperatur und Shore-Härte im Vergleich zu Stahl und Aluminium.

Es zeigt sich, dass die Werte für glasfaserverstärktes Elastollan® bei einem Glasfasergehalt von 20 % im Bereich von Stahl und Aluminium liegen. Deutlich ist die Temperaturabhängigkeit zu erkennen. Für viele Anwendungsfälle ist es ratsam, dies zu berücksichtigen.

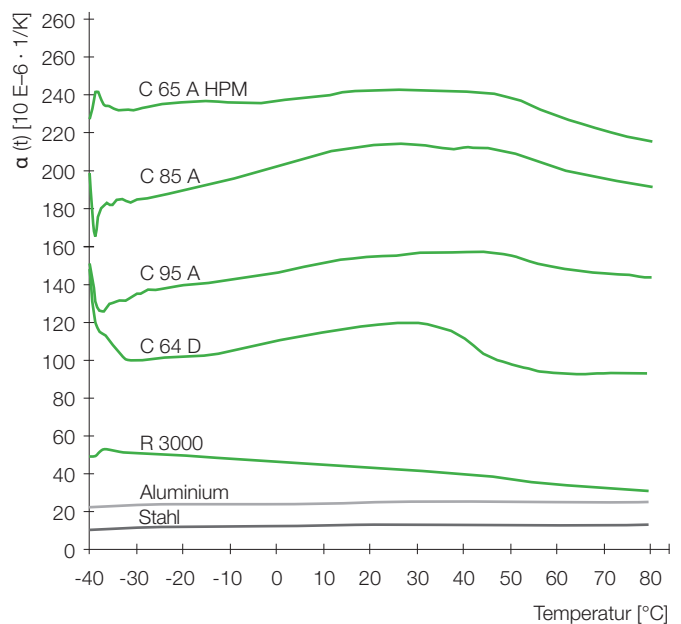


Abb. 33: Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  [1/K] für verschiedene Elastollan®-Härten (Ester-Typen)

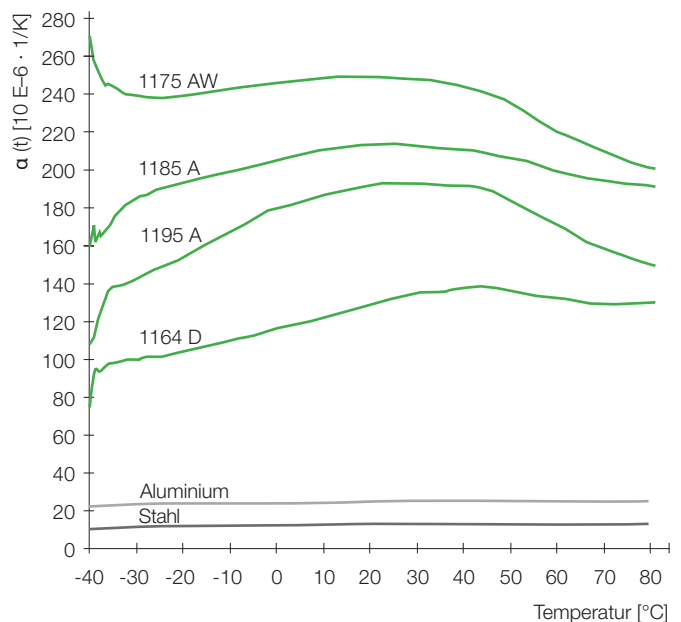


Abb. 34: Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  [1/K] für verschiedene Elastollan®-Härten (Ether-Typen)

# Physikalische Eigenschaften

## Thermische Eigenschaften

### Thermische Daten

Die thermischen Daten geben Indikationen für das thermische Verhalten des Fertigteils sowie der Schmelze während des Verarbeitungsprozesses.

Prüfung	in Anlehnung an folgende Norm	Einheit	Kennwerte weich → hart
Wärmeleitfähigkeit	DIN 52612-1	W/(m·K)	0,19 → 0,25
Heizwerte aus Verbrennung	DIN 51900		
– Heizwert		J/g	25000 → 29000
– Brennwert		J/g	26000 → 31000
Spezifische Wärme	DIN 51005		
– bei Raumtemperatur		J/(g·K)	1,7 → 2,3
– bei Schmelzetemperatur		J/(g·K)	1,7 → 2,3

Tab. 1: Richtwerte für Elastollan®, weitere Details in Tabelle S. 28-33.

### Aufschmelz-/ Kaschiertemperatur

Bei der thermomechanischen Analyse (TMA) wird die plastische Verformung eines Festkörpers in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen. Während der Messung wirkt eine konstante, meist geringe Auflast auf den Probekörper. Aus der gemessenen Verformung der Probe in Abhängigkeit der Temperatur kann unter anderem das Schmelzverhalten bei sehr geringer Schergeschwindigkeit bestimmt werden. So kann auf die Schmelztemperatur bei thermischen Verklebeprozessen geschlossen werden. Die Details der Messung sind in DIN EN ISO 11359-3 festgelegt.

Produkt	Shore		TMA Onset (BASF Std.)
	A	D	
991 A 10 FC	90	46	136,4
890 A 10	91	48	146,2
1190 A 10	91	44	161,3
B 90 A 11	92	44	174,0
C 90 A 10	94	47	186,1

Tab. 2: Richtwerte thermischer Daten für Elastollan®

# Physikalische Eigenschaften

## Thermische Eigenschaften

### Verformungsverhalten bei Wärme

Zur vergleichenden Bestimmung der Einsatzgrenzen von Kunststoffen bei erhöhter Temperatur bedient man sich auch technologischer Prüfungen. Dazu zählen die Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur (Vicat-Softening-Temperatur, VST) nach ISO 306 und die Bestimmung der Wärmeformbeständigkeit (Heat-Deflection-Temperatur, HDT) nach ISO 75.

### Vicat-Erweichungstemperatur

Bei dieser Prüfung wird eine mit einem Gewicht (Vicat A: 10 N, Vicat B: 50 N) belastete Nadel mit einem runden Querschnitt von 1 mm<sup>2</sup> auf einen Prüfkörper gesetzt, der sich auf ebener Unterlage in einem Temperaturübertragungsmedium befindet. Die Temperatur des Mediums (Öl oder Luft) wird mit konstanter Heizrate (50 K/h oder 120 K/h) erhöht. Die Vicat-Temperatur ist die Temperatur, bei der die Nadel 1 mm tief in das zu prüfende Material eindringt.

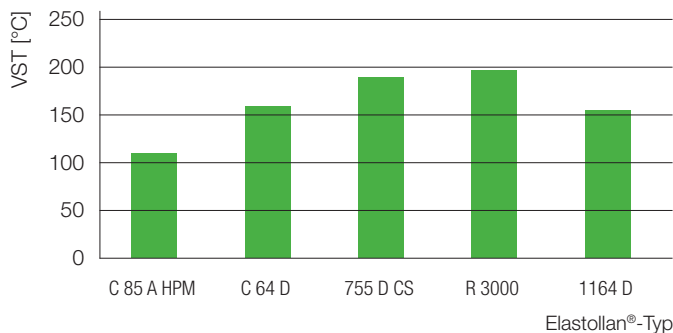


Abb. 35: Vicat-Temperatur (VST)  
nach DIN EN ISO 306, Vicat A 120

### Wärmeformbeständigkeitstemperatur

Ähnlich wie bei der Vicat-Prüfung wird hier die Prüfanordnung in einem Wärmeübertragungsmedium mit 120 K/h erwärmt. Die Anordnung ist hier als 3-Punkt-Biegeversuch ausgeführt, wobei die Probe mit einer konstanten Last beansprucht wird, die einer Biegespannung von 1,80 MPa, 0,45 MPa oder 8 MPa (Methode A, B oder C), je nach Materialsteifigkeit, entspricht. Die Temperatur, bei der sich der Stab um 0,2 bis 0,3 mm (je nach Höhe der Probe) durchbiegt, wird als HDT angegeben.

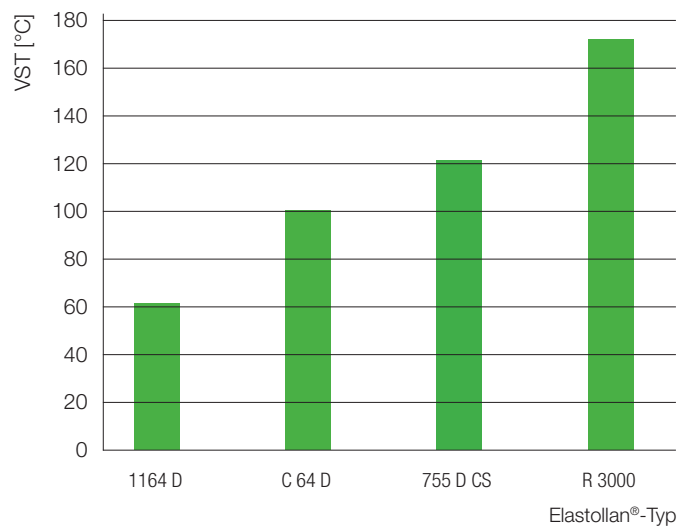


Abb. 36: Wärmeformbeständigkeit (HDT)  
nach DIN EN ISO 75, Methode B

# Physikalische Eigenschaften

## Thermische Eigenschaften

### Dauergebrauchstemperatur

Eine Vorhersage darüber, wie lange ein Bauteil aus TPU bei höheren Temperaturen in der Praxis bestehen wird, ist wegen der Vielzahl von Einflussfaktoren nicht möglich. Um Werkstoffe unter dem Aspekt „Dauergebrauchstemperatur“ untereinander vergleichen zu können, ermittelt man aus Dauer-Lagerungsversuchen gemäß DIN EN ISO 2578 bei verschiedenen Temperaturen sogenannte „Thermische Langzeitgeraden“.

Aus den nachfolgenden Diagrammen lässt sich ableiten, nach welcher Zeit ein Werkstoff bei einer bestimmten Temperatur ein bestimmtes Grenzwertkriterium unter- bzw. überschreitet:

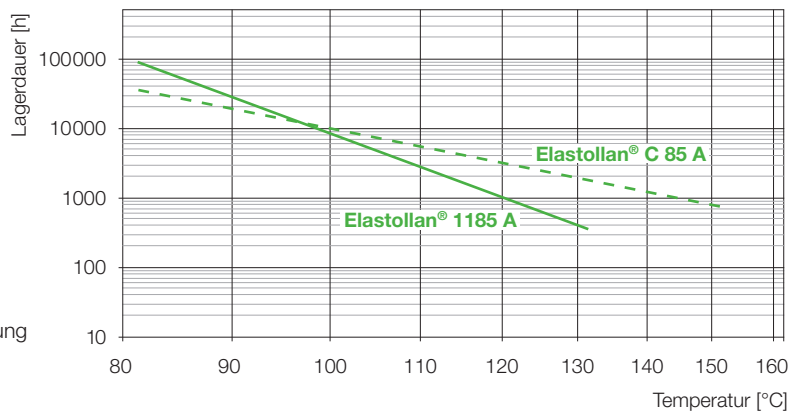


Abb. 37: Thermische Langzeitgerade für Luftalterung

Endwertkriterium: Zugfestigkeit 20 MPa

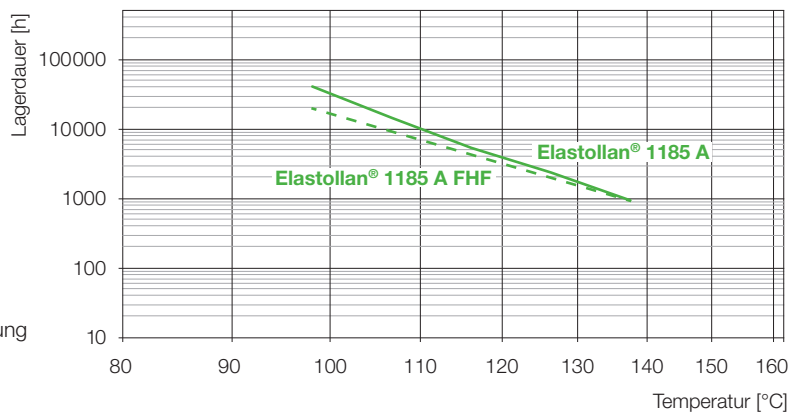


Abb. 38: Thermische Langzeitgerade für Luftalterung

Endwertkriterium: Reißdehnung 300 %

# Physikalische Eigenschaften

## Elektrische Eigenschaften

### Allgemeines

Die elektrische Leitfähigkeit von Kunststoffen ist sehr gering. Sie werden deshalb häufig als Isolierstoffe eingesetzt. Daten über elektrische Eigenschaften sind daher wichtig für Anwendungen in der Elektrotechnik. Genormte Widerstandsmessungen werden nur an getemperten Proben (20 h, 100 °C) durchgeführt, die im Normklima (23 °C, 50 % relative Luftfeuchte) abgelagert sind.

Es ist zu berücksichtigen, dass Widerstände und dielektrische Größen abhängig sind vom Feuchtigkeitsgehalt und der Temperatur der Elastollan®-Typen sowie von der Messfrequenz.

### Kriechwegbildung

Ein Kriechweg entsteht durch die fortschreitende Bildung leitfähiger Pfade auf der Oberfläche eines festen Isolierstoffs. Er wird durch die Wirkung von elektrischer Beanspruchung und elektrolytischer Verunreinigung auf der Oberfläche hervorgerufen.

Die nach IEC 60112 ermittelte Vergleichszahl der Kriechwegbildung CTI (Comparative Tracking Index) ist der Zahlenwert der höchsten Spannung in Volt, bei der ein Werkstoff 50 Auftropfungen einer definierten Prüflösung ohne Kriechwegbildung widersteht.

### Durchschlagfestigkeit

Die Durchschlagfestigkeit nach IEC 60243 ist der Quotient aus Durchschlagspannung und dem Abstand der Elektroden, zwischen denen sich der Isolierstoff befindet. Die Durchschlagspannung ist der Effektivwert der Wechselspannung, die zwischen den Elektroden unter Zerstörung des Isolierstoffs zusammenbricht.

### Spezifischer Oberflächenwiderstand

Der spezifische Oberflächenwiderstand ist der elektrische Widerstand an der Oberfläche eines Körpers bezogen auf die Elektrodengeometrie. Er wird gemessen zwischen zwei an der Oberfläche aufgebrachten Elektroden, die nach DIN EN 62631-3-2 definierte Abmessungen und Abstand haben.

### Spezifischer Durchgangswiderstand

Der spezifische Durchgangswiderstand nach DIN EN 63631-3-1 ist der elektrische Widerstand des Werkstoffinneren, gemessen zwischen zwei Elektroden, bezogen auf die Probegeometrie. Durch die Art der Elektrodenanordnung bleibt der Oberflächenwiderstand unberücksichtigt.

### Dielektrizitätszahl

Die Dielektrizitätszahl gibt an, um wievielfach größer die Kapazität eines Kondensators mit einem bestimmten Isolierstoff als Dielektrikum ist, als der gleiche Kondensator mit Luft als Dielektrikum. Sie wird nach IEC 60250 ermittelt und ist temperatur- und frequenzabhängig.

### Dielektrischer Verlustfaktor

Der Verlustfaktor nach IEC 60250 eines Isolierstoffes als Dielektrikum ist der Tangens des Verlustwinkels, um den die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung im Kondensator von 90° abweicht. Er ist wie die Dielektrizitätszahl temperatur- und frequenzabhängig und wird für verschiedene Frequenzen bei 23 °C angegeben.

# Physikalische Eigenschaften

## Elastollan® (TPU) unverstärkte Typen

Richtwerte für ungefärbte Produkte bei 23 °C	Einheit	Prüfvorschrift
<b>Produktmerkmale</b>		
Kurzzeichen		
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Wasseraufnahme, Sättigung in Wasser bei 23 °C	%	ähnlich ISO 62
Feuchtigkeitsaufnahme, Sättigung in Normalklima 23 °C/50 % r.F.	%	ähnlich ISO 62
<b>Brennverhalten</b>		
Brennbarkeit nach UL94 (Dicke)	Klasse (mm)	UL 94
GWFI (Dicke)	°C (mm)	IEC 60695-2-12
GWIT (Dicke)	°C (mm)	IEC 60695-2-13
Sauerstoffindex	%	ISO 4589-1/-2
Bahn: Rauchgasdichte DS max. (20 min.), 25 kW/m <sup>2</sup>	-	EN ISO 5659-2: 2007-04
Bahn: Rauchgastoxizität CIT NLP nach EN 45545-2: 2013-08	-	NF X70-100-1/-2
Test von Material für den Autoinnenraum, Brennrate ≤ 100 mm/min (d = 2,0 mm)		ISO 3795, FMVSS 302 <sup>1</sup>
<b>Elektrische Eigenschaften</b>		
Dielektrizitätszahl bei 1 MHz		IEC 60250
Dielektrischer Verlustfaktor bei 1 MHz	10 <sup>-4</sup>	IEC 60250
Spez. Durchgangswiderstand	Ω·m	DIN EN ISO 62631-3-1
Spez. Oberflächenwiderstand	Ω	DIN EN ISO 62631-3-2
CTI, Prüflösung A	-	IEC 60112
Elektrische Durchschlagfestigkeit EB1	kV/mm	IEC 60423-1
<b>Thermische Eigenschaften</b>		
Biegetemperatur unter Last HDT A (1,80 MPa)	°C	ISO 75-1/-2
Biegetemperatur unter Last HDT B (0,45 MPa)	°C	ISO 75-1/-2
Wärmeleitfähigkeit, 23 °C	W/(m·K)	DIN 52612-1
Spezifische Wärmekapazität, 23 °C	J/(g·K)	-
<b>Mechanische Eigenschaften</b>		
Härte	Shore	ISO 7619-1 (3s)
Zug-E-Modul	MPa	ISO 527-2-5A
Zugfestigkeit	MPa	ISO 527-2-5A
Reißdehnung	%	ISO 527-2-5A
Charpy Schlagzähigkeit +23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU
Charpy Schlagzähigkeit -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU
Charpy Kerbschlagzähigkeit +23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA
Charpy Kerbschlagzähigkeit -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA
<b>Verarbeitung</b>		
Schmelze-Flussrate MFR, Prüftemperatur / Gewicht	g / 10 min.	ISO 1133
Massetemperaturbereich Spritzgießen	°C	
Werkzeugtemperaturbereich Spritzgießen	°C	

Fußnote:

<sup>1</sup> bestanden: +

<sup>2</sup> Produkt nicht UL-gelistet



# Physikalische Eigenschaften

## Unverstärkte Typen

C 78 A 10 (A 15)    C 85 A 10    C 59 D 53    1175 A 10 W    1185 A 10 FHF    1185 A1 0 HFFR<sup>2</sup>    1190 A 10 FHF

1,18	1,19	1,23	1,14	1,23	1,42	1,25
			1,4	1,4		
			0,5	0,4		

HB (0,9)	HB (0,9-3)	HB (0,75)	V0 (0,9-1,1), V2 (1,2)	V0 (0,75-3,0)	-	V0 (0,75-3,0)
			960 (2,0)	875 (2,0)	930 (1,5)	875 (1,5)
			875 (2,0)	850 (2,0)	800 (1,5)	800 (1,5)
			25-26	24	32	24
				627 (2,0)	181 (1,6)	405 (1,7)
				0,36	0,11	0,44
+	+	+	+	+	+	+

6,0	6,0	5,0	6,5	5,5	6,2	
700	700	600	1.400	960	1.108	
1,00E+11	1,00E+11	1,00E+12	1,00E+9	1,00E+9	1,00E+7	
1,00E+13	1,00E+13	1,00E+15	1,00E+14	1,00E+14	1,00E+12	
600	600	600	600	600	600	
23	23	28	25	26		

0,18	0,21	0,22		0,32		
1,7	1,7	1,5		1,5		

80 (A)	87 (A)	57 (D)	75 (A)	89 (A)	86 (A)	90 (A)
		250				
50	50	50	40	35	23	25
650	650	500	700	600	580	550
N	N	N	N	N	N	
N	N	N	N	N	N	
N	N	N	N	N	N	N
N	N	12	N	120	77	46

10-40 (190/21,6)	20-60 (200/21,6)		20-60, 190/10	25-45, 200/21,6	10, 180/5	25-45, 200/21,6
200-220	205-225	220-230	210-220	215-225	215-225	215-225
15-50	15-50	15-70	20-40	20-40	20-40	20-40

Thermoplastisches Polyester-Polyurethan mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften, sehr gutem Dämpfungs- und Rückstellvermögen sowie sehr guter Verschleißfestigkeit.

Thermoplastisches Polyester-Polyurethan mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften, sehr gutem Dämpfungs- und Rückstellvermögen sowie sehr guter Verschleißfestigkeit.

Thermoplastisches Polyester-Polyurethan mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften, sehr gutem Dämpfungs- und Rückstellvermögen sowie sehr guter Verschleißfestigkeit.

Thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen. Reduzierte Rauchgasbildung und -toxizität.

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

# Physikalische Eigenschaften

## Elastollan® (TPU) unverstärkte Typen

Richtwerte für ungefärbte Produkte bei 23 °C	Einheit	Prüfvorschrift
<b>Produktmerkmale</b>		
Kurzzeichen		
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Wasseraufnahme, Sättigung in Wasser bei 23 °C	%	ähnlich ISO 62
Feuchtigkeitsaufnahme, Sättigung in Normalklima 23 °C/50 % r.F.	%	ähnlich ISO 62
<b>Brennverhalten</b>		
Brennbarkeit nach UL94 (Dicke)	Klasse (mm)	UL 94
GWFI (Dicke)	°C (mm)	IEC 60695-2-12
GWIT (Dicke)	°C (mm)	IEC 60695-2-13
Sauerstoffindex	%	ISO 4589-1/-2
Bahn: Rauchgasdichte DS max. (20 min.), 25 kW/m <sup>2</sup>	-	EN ISO 5659-2: 2007-04
Bahn: Rauchgastoxizität CIT NLP nach EN 45545-2: 2013-08	-	NF X70-100-1/-2
Test von Material für den Autoinnenraum, Brennrate ≤ 100 mm/min (d = 2,0 mm)		ISO 3795, FMVSS 302 <sup>1</sup>
<b>Elektrische Eigenschaften</b>		
Dielektrizitätszahl bei 1 MHz		IEC 60250
Dielektrischer Verlustfaktor bei 1 MHz	10 <sup>-4</sup>	IEC 60250
Spez. Durchgangswiderstand	Ω·m	DIN EN ISO 62631-3-1
Spez. Oberflächenwiderstand	Ω	DIN EN ISO 62631-3-2
CTI, Prüflösung A	-	IEC 60112
Elektrische Durchschlagfestigkeit EB1	kV/mm	IEC 60423-1
<b>Thermische Eigenschaften</b>		
Biegetemperatur unter Last HDT A (1,80 MPa)	°C	ISO 75-1/-2
Biegetemperatur unter Last HDT B (0,45 MPa)	°C	ISO 75-1/-2
Wärmeleitfähigkeit, 23 °C	W/(m·K)	DIN 52612-1
Spezifische Wärmekapazität, 23 °C	J/(g·K)	-
<b>Mechanische Eigenschaften</b>		
Härte	Shore	ISO 7619-1 (3s)
Zug-E-Modul	MPa	ISO 527-2-5A
Zugfestigkeit	MPa	ISO 527-2-5A
Reißdehnung	%	ISO 527-2-5A
Charpy Schlagzähigkeit +23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU
Charpy Schlagzähigkeit -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU
Charpy Kerbschlagzähigkeit +23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA
Charpy Kerbschlagzähigkeit -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA
<b>Verarbeitung</b>		
Schmelze-Flussrate MFR, Prüftemperatur / Gewicht	g / 10 min.	ISO 1133
Massetemperaturbereich Spritzgießen	°C	
Werkzeugtemperaturbereich Spritzgießen	°C	

Fußnote:

<sup>1</sup> bestanden: +

<sup>2</sup> Produkt nicht UL-gelistet

# Physikalische Eigenschaften

## Unverstärkte Typen

1192 A 11 FHF<sup>2</sup>    SP 3092 A 10 HFFR    1195 A 10 / 1195 A 15    1154 D 10    1154 D 10 FHF    1174 D 11    1280 D 10 FHF

1,25	1,62	1,15	1,17	1,27	1,20	1,32
				1,4		
				0,4		
VO (0,8-3,2)		HB (0,5-3,0)	HB (1,0)	VO (3,0), V2 (0,75)		V2 (0,45 - 3,0)
960 (1,5)	960 (1,5)	750 (2,0)		960 (2,0)		850 (1,5)
825 (1,5)	750 (1,5)	775 (2,0)		875 (2,0)		800 (1,5)
29	>40	24		24		
244 (1,7)	78 (1,6)			282 (0,78)		
0,55	0,10	0,10		0,40		
+	+	+	+	+	+	+
		7,5	4,5	4,5	4,0	
			600	640	400	
		1,00E+12	1,00E+13	1,00E+10	1,00E+15	
		1,00E+15	1,00E+15	1,00E+14	1,00E+15	
		600	600	600	600	
			36		37	
		0,30	0,31	0,37		
			1,6		1,5	
91 (A)	95 (A)	96 (A)	53 (D)	58 (D)	75 (D)	80 (D)
			150	160	560	2.300
17	15	55	50	30	65	49
550	400	500	450	400	380	10
		N	N	50	N	
		N	18	3	5	
38, 200/21,6	10, 180/5,0	30-80, 210/10,0	20-70 (230/2,16)	30-70, 230/2,16		28, 230/2,16
215-225		210-235	210-230	225-235	220-235	210-230
20-40		15-70	15-70	30-60	15-70	20-40

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen. Verbesserte Brandschutz-ausrüstung.

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen. Reduzierte Rauchgasbildung und -toxizität.

Thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

Thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

Thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

Halogenfrei flammwidriges, thermoplastisches Polyether-Polyurethan mit ausgezeichneter Hydrolysebeständigkeit, Kälteflexibilität und Resistenz gegen Mikroorganismen.

# Physikalische Eigenschaften

## Elastollan® (TPU), verstärkte Typen

Richtwerte für ungefärbte Produkte bei 23 °C	Einheit	Prüfvorschrift
<b>Produktmerkmale</b>		
Kurzzeichen		
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Wasseraufnahme, Sättigung in Wasser bei 23 °C	%	ähnlich ISO 62
Feuchtigkeitsaufnahme, Sättigung in Normalklima 23 °C/50 % r.F.	%	ähnlich ISO 62
<b>Brennverhalten</b>		
Brennbarkeit nach UL94 (Dicke)	Klasse (mm)	UL 94
GWFI (Dicke)	°C (mm)	IEC 60695-2-12
GWIT (Dicke)	°C (mm)	IEC 60695-2-13
Sauerstoffindex	%	ISO 4589-1/-2
Bahn: Rauchgasdichte DS max. (20 min.), 25 kW/m <sup>2</sup>	-	EN ISO 5659-2: 2007-04
Bahn: Rauchgastoxizität CIT NLP nach EN 45545-2: 2013-08	-	NF X70-100-1/-2
Test von Material für den Autoinnenraum, Brennrate ≤ 100 mm/min (d = 2,0 mm)	-	ISO 3795, FMVSS 302 <sup>1</sup>
<b>Elektrische Eigenschaften</b>		
Dielektrizitätszahl bei 1 MHz	-	IEC 60250
Dielektrischer Verlustfaktor bei 1 MHz	10 <sup>-4</sup>	IEC 60250
Spez. Durchgangswiderstand	Ω·m	DIN EN ISO 62631-3-1
Spez. Oberflächenwiderstand	Ω	DIN EN ISO 62631-3-2
CTI, Prüflösung A	-	IEC 60112
Elektrische Durchschlagfestigkeit EB1	kV/mm	IEC 60423-1
<b>Thermische Eigenschaften</b>		
Biegetemperatur unter Last HDT A (1,80 MPa)	°C	ISO 75-1/-2
Biegetemperatur unter Last HDT B (0,45 MPa)	°C	ISO 75-1/-2
Wärmeleitfähigkeit, 23 °C	W/(m·K)	DIN 52612-1
Spezifische Wärmekapazität, 23 °C	J/(g·K)	-
<b>Mechanische Eigenschaften</b>		
Härte	Shore	ISO 7619-1 (3s)
Zug-E-Modul	MPa	ISO 527-2-5A
Zugfestigkeit	MPa	ISO 527-2-5A
Reißdehnung	%	ISO 527-2-5A
Charpy Schlagzähigkeit +23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU
Charpy Schlagzähigkeit -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU
Charpy Kerbschlagzähigkeit +23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA
Charpy Kerbschlagzähigkeit -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA
<b>Verarbeitung</b>		
Schmelze-Flussrate MFR, Prüftemperatur / Gewicht	g / 10 min.	ISO 1133
Massetemperaturbereich Spritzgießen	°C	
Werkzeugtemperaturbereich Spritzgießen	°C	

Fußnote:

<sup>1</sup> bestanden: +

<sup>2</sup> Produkt nicht UL-gelistet

# Physikalische Eigenschaften

## Verstärkte Typen R 3000

1,38
HB (0,75 -3,0)
725 (1,9)
650 (1,9)
+
600
1,00E+9
1,00E+15
600
35
126
162
73 (A)
2.800
80
10
120
70
30
10
25, 230/2,16
225-245
40-70

Glasfaserverstärktes thermoplastisches Polyurethan mit ausgezeichneten Eigenschaften wie sehr guter Schlagzähigkeit, hoher Steifigkeit bei gleichzeitig guter Dehnung, niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizient, geringer Schwindung und guter Lackierbarkeit.

# Physikalische Eigenschaften

## Permeation

### Permeation

Den Durchgang eines Gases durch einen Probekörper nennt man Permeation. Sie vollzieht sich in drei Schritten:

1. Lösung des Gases im Probekörper
2. Diffusion des gelösten Gases durch den Probekörper
3. Verdampfung des Gases aus dem Probekörper.

Der Permeationskoeffizient  $Q$  [ $\text{m}^2/(\text{s} \cdot \text{Pa})$ ] ist eine Stoffkonstante, die angibt, welches Gasvolumen bei einer gegebenen Partialdruckdifferenz in einer bestimmten Zeit durch einen Probekörper bekannter Fläche und Dicke hindurchtritt. Er ist abhängig von der Temperatur und wird nach DIN 53536 ermittelt.

Elastollan®- Typ	Gas						
	Ar	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
C 80 A	12	11	200	45	35	4	14
C 85 A	9	6	150	40	30	3	10
C 90 A	5	4	40	30	25	2	7
C 95 A	3	2	20	20	20	1	4
1180 A	14	18	230	70	50	6	21
1185 A	9	14	180	60	40	5	16
1190 A	7	9	130	50	30	4	12
1195 A	6	5	90	40	20	3	8

Tab. 3: Gaspermeationskoeffizient  $Q$  [ $\text{m}^2/(\text{s} \cdot \text{Pa})$ ] · 10<sup>-18</sup>

Die Tabelle 3 zeigt die Gaspermeationskoeffizienten von Elastollan-Typen für verschiedene Gase bei einer Temperatur von 20 °C.

Am Beispiel von Elastollan® 1185 A und Stickstoff wird in Abbildung 39 eine Temperaturabhängigkeit der Permeation dargestellt.

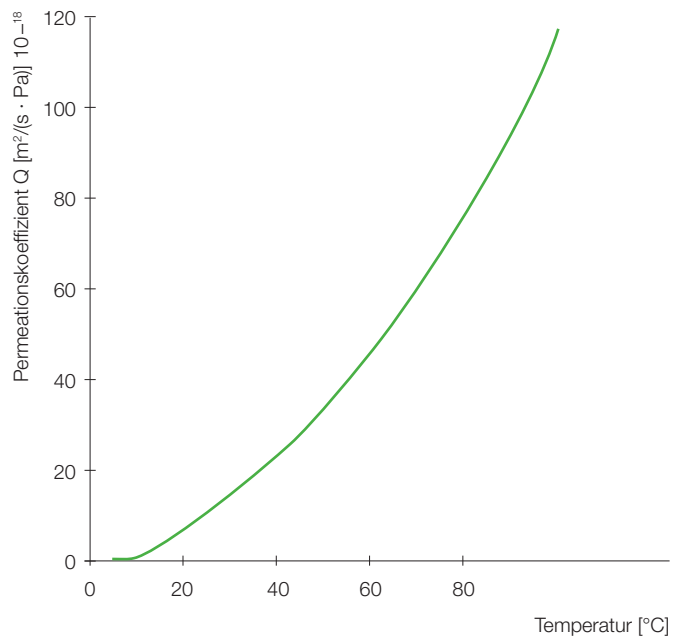


Abb. 39: Permeationskoeffizient  $Q$  in Abhängigkeit von der Temperatur Elastollan® 1185 A mit Stickstoff

# Physikalische Eigenschaften

## Permeation

### Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Wasserdampfdurchlässigkeit WDD [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] eines Kunststoffes wird nach DIN 53122-1 ermittelt. Sie ist gekennzeichnet durch die Menge Wasserdampf, die in 24 Stunden unter festgelegten Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte-Gefälle) durch  $1 \text{ m}^2$  Probenfläche hindurchtritt und ist in etwa umgekehrt proportional zur Probendicke.

Die in Tabelle 4 angegebenen Werte sind bei einer Temperatur von  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ , einem Luftfeuchte-Gefälle von 85 % relativer Feuchte und an einer Folie mit Dicke  $50 \text{ }\mu\text{m}$  ermittelt.

Elastollan®-Typ	WDD
E 890 A	83
E 1185 A	183
E SP 883 A	192
E SP 806	261
E 1170 A	388
E SP 9109	686
E 1385 A	786

Tab. 4: Wasserdampfdurchlässigkeit WDD [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] nach DIN 53122-1,  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  bei 85 % r.L.,  $50 \mu\text{m}$  Folie