

# Celanex® Impet® Vandar®

*Thermoplastische Polyester*



- hohe Gebrauchstemperaturen (bis 150 °C)
- hohe mechanische Werte (Zug-E-Modul bis 17000 MPa)
- gute elektrische Eigenschaften
- günstiges Gleit- und Abriebverhalten

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	2
1.1 Aufbau und Eigenschaften	2
1.1.1 Celanex (PBT)	2
1.1.2 Impet (PET)	2
1.1.3 Vandar (Thermoplastische Polyester-Blends)	3
<b>2. Typen, Lieferform, Einfärbungen, Qualitätsmanagement</b>	4
<b>3. Physikalische Eigenschaften</b>	6
3.1 Mechanische Eigenschaften	6
3.1.1 Verhalten bei kurzzeitiger Beanspruchung	7
3.1.2 Verhalten bei langzeitiger Beanspruchung	8
3.1.3 Verhalten bei Schlagbeanspruchung	11
3.1.4 Verhalten bei schwingender Beanspruchung	11
3.1.5 Oberflächeneigenschaften	12
3.2 Thermische Eigenschaften	13
3.3 Elektrische Eigenschaften	14
<b>4. Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen</b>	16
4.1 Wasseraufnahme	16
4.2 Gebrauchstemperaturen in Heißwasser	16
4.3 Hydrolysebeständigkeit	16
4.4 Chemikalienbeständigkeit	16
4.5 Verhalten gegenüber Licht und Bewitterung	18
4.6 Brandverhalten	18
4.7 Verhalten gegenüber energiereicher Strahlung	19
4.8 Medizinisch-pharmazeutische Anwendungen	19
<b>5. Verarbeitung</b>	23
5.1 Materialvorbereitung	23
5.2 Regeneratzusatz	23
5.3 Parameter beim Spritzgießen	23
5.4 Fließfähigkeit	24
5.5 Fließnahtfestigkeit	28
5.6 Schwindung	29
5.7 Mögliche Schwierigkeiten und ihre Behebung beim Spritzgießen von Celanex, Vandar und Impet	32
5.8 Spritzgießen-Sonderverfahren	32
<b>6. Weiterverarbeitung</b>	33
6.1 Spanende Bearbeitung	33
6.2 Fügen von Formteilen und Halbzeug	33
6.3 Oberflächenveredlung	33
<b>7. Brandsicherheitstechnischer Hinweis</b>	36
<b>8. Literaturhinweise</b>	36
<b>9. Bildanhang – Anwendungsbeispiele</b>	37
<b>10. Stichwortverzeichnis</b>	41

<i>Einleitung</i>	<b>1</b>
<i>Typen, Lieferform, Einfärbungen, Qualitätsmanagement</i>	<b>2</b>
<i>Physikalische Eigenschaften</i>	<b>3</b>
<i>Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen</i>	<b>4</b>
<i>Verarbeitung</i>	<b>5</b>
<i>Weiterverarbeitung</i>	<b>6</b>
<i>Brandsicherheitstechnischer Hinweis</i>	<b>7</b>
<i>Literaturhinweise</i>	<b>8</b>
<i>Bildanhang – Anwendungsbeispiele</i>	<b>9</b>
<i>Stichwortverzeichnis</i>	<b>10</b>

# 1. Einleitung

Ticona bietet ein umfangreiches Sortiment thermoplastischer Polyester an, das vorwiegend im technischen Spritzguß Anwendung findet.

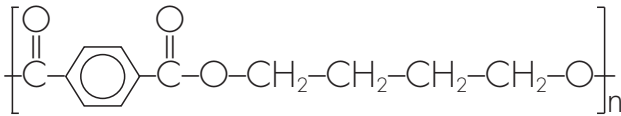
Diese Werkstoffe werden unter den Handelsnamen Celanex®, Vandar®, Impet® vertrieben.

## 1.1 Aufbau und Eigenschaften

### 1.1.1 Celanex (PBT)

Celanex ist der Markenname der Ticona für teilkristalline thermoplastische Polyester auf der Basis von Polybutylenterephthalat.

Polybutylenterephthalat (PBT) wird durch Schmelzpolykondensation von Terephthalsäuredimethylester mit 1,4-Butandiol hergestellt und hat folgende chemische Struktur:



Celanex weist eine Kombination hervorragender Eigenschaften auf:

- hohe Festigkeit,
- gutes Zeitstandverhalten,
- hohe Wärmeformbeständigkeit, insbesondere der glasfaserverstärkten Typen,
- hohe Steifheit,
- hohe Härte,
- günstiges Gleit- und Verschleißverhalten,
- hohe Form- und Dimensionsstabilität (geringer thermischer Ausdehnungskoeffizient, geringe Wasseraufnahme),
- gute elektrische Eigenschaften
- gute Chemikalienbeständigkeit,
- gute Witterungsbeständigkeit,
- keine Spannungsrißbildung,
- Lackierbarkeit,
- flammhemmende Wirkung bei entsprechend ausgerüsteten Typen (UL 94: V-0, teilweise 5 VA),
- schnelle Kristallisation, dadurch kurze Zykluszeiten.

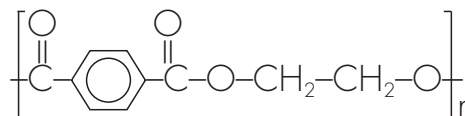
Celanex-Formmassen gibt es in zahlreichen unterschiedlichen Eigenschaftseinstellungen:

- Schmelzviskositäten:  
Einstellungen mit unterschiedlichen Viskositäten (Fließfähigkeiten) bzw. molaren Massen machen Spritzguß- und Extrusionsverarbeitung möglich.
- Verstärkungsstoffe wie z. B. Glasfasern:  
Eingearbeitete Schnittglasfasern erhöhen die Steifheit und Formbeständigkeit in der Wärme; Glasfasergehalte und damit Eigenschaftseinstellungen sind in weitem Bereich möglich.
- Zusätze wie z. B. Mikroglaskugeln und Mineral:  
Für verzugsarme technische Teile, auch in Kombination mit Glasfasern.
- Flammenschutzmittel:  
Eingearbeitete Flammenschutzmittel ermöglichen Einstellungen, unverstärkt oder verstärkt, die selbstverlöschend sind (UL 94; V-0, teilweise 5 VA).
- Polymermodifizierungen:  
Mit geeigneten Modifizierungskomponenten kann der Oberflächenglanz, die Schlagzähigkeit und die Flexibilität erhöht, der Schmelzpunkt und der Verzug reduziert werden.

### 1.1.2 Impet (PET)

Impet ist der Markenname der Ticona für spritzgießbare thermoplastische Polyester auf Basis Polyethylenterephthalat.

Polyethylenterephthalat (PET) wird durch Schmelzpolykondensation von Terephthalsäure oder Terephthalsäuredimethylester mit Ethylenglykol hergestellt und hat folgende chemische Struktur:



Aufgrund des kürzeren Diols mit zwei Methylengruppen gegenüber dem Butandiol mit vier Methylengruppen bei den PBT-Polyestern (z. B. Celanex®)

weist Impet einige wichtige Vorteile im Vergleich zum Polybutylenterephthalat auf:

- höhere mechanische Werte bei Raumtemperatur und höheren Temperaturen,
- höhere Formbeständigkeit in der Wärme,
- höhere Gebrauchstemperatur.

Impet-Typen sind nur glasfaserverstärkt verfügbar.

Impet zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- hohe Steifheit und Härte,
- sehr gute Zeitstandfestigkeit,
- lackierfähige Oberfläche,
- hohe Formbeständigkeit in der Wärme,
- günstiges Gleit- und Verschleißverhalten,
- sehr gute elektrische, gute dielektrische Eigenschaften,
- hohe Chemikalienbeständigkeit und Witterungsstabilität.

### 1.1.3 Vandar (Thermoplastische Polyester-Blends)

Vandar ist der Markenname der Ticona für ein Sortiment elastomermodifizierter Polybutylenterephthalat-Typen; es zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- hohe Schlag- und Kerbschlagzähigkeit auch bei tiefen Temperaturen,
- hohe Wärmeformbeständigkeit, insbesondere der glasfaserverstärkten Typen,
- hohe Beständigkeit gegen organische Lösemittel, Kraftstoffe und Schmiermittel, Bremsflüssigkeiten,
- hohe Abriebfestigkeit,
- gute Verarbeitbarkeit,
- Lackierbarkeit.

Trotz der Elastomermodifizierung ist die Steifheit selbst der unverstärkten Typen relativ hoch. Höhere Anforderungen an die Steifheit werden z. B. mit entsprechender Glasfaserverstärkung erfüllt.

## 2. Lieferform, Einfärbungen, Qualitätsmanagement, Typen

Eine Aufstellung der Celanex-, Vandar- und Impet-Typen finden Sie im Faltblatt, das sich im Einschub der Rückseite befindet.

### Produktgruppen-typische Eigenschaften

Die Abb. 1 bis 4 zeigen den Zug-E-Modul der drei Produktgruppen als Funktion der Parameter Bruchspannung, Bruchdehnung, Kerbschlagzähigkeit und Wärmeformbeständigkeit.

### Lieferform

Die Polyester-Typen von Ticona werden als verarbeitungsfertige, naturfarbene oder farbige Stranggranulate von etwa 3 mm Korngröße geliefert. Die übliche Verpackungseinheit bilden 25-kg-Gebinde (Folien- oder mehrlagige Papiersäcke). Lieferung in Großbehältern mit 500 und 1000 kg Inhalt ist nach Absprache möglich.

### Einfärbungen

Außer in Naturfarbe stehen die meisten Typen auch schwarz eingefärbt zur Verfügung; einige Typen sind zur Zeit nur schwarz eingefärbt lieferbar. Spezielle Farbeinstellungen z.B. für das Laserbeschriften bzw. für das Laserschweißen sind ebenfalls auf Anfrage erhältlich. Eine Reihe von Typen kann auf Anfrage nach Farbmuster eingefärbt geliefert werden. Selbsteinfärben durch den Kunden mit Farbkonzentraten (master batches) ist möglich und in vielen Fällen vorteilhaft.

### Qualitätsmanagement

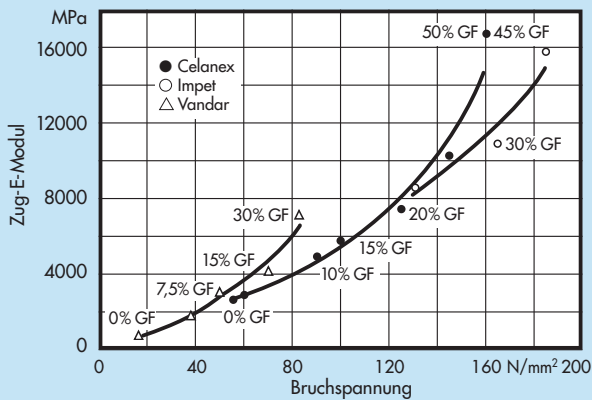
Die Erfüllung der Qualitätsanforderungen unserer Kunden ist ein grundlegender Prozess für Ticona. In diesem Prozess pflegen und aktualisieren wir permanent die für diesen Zweck erforderlichen Zertifizierungen. Unser System ist bereits seit den frühen 90iger Jahren nach der ISO 9000 Reihe zertifiziert. Auf dieser Grundlage wurde 2003 das Globale Ticona Integrierte Management-System (TIMS) für Qualität, Umweltschutz und Risiko-Management aufgebaut.

Die wichtigen Zertifizierungen schließen ein: ISO 9001:2000, ISO/TS 16949:2002, ISO 14001 und ISO/IEC 17025. Zertifikate zum Qualitätsmanagement-System gemäß ISO 9001:2000 und ISO/TS 16949:2002 sind nun für alle Produktionsstandorte und unterstützende Standorte von Ticona weltweit erteilt. Der ISO/TS 16949:2002 Standard kombiniert die europäischen automobilen Regelwerke VDA 6.1, EAQF und AVSQ mit den Anforderungen der QS-9000 in Nord-Amerika und ersetzt diese. Ticona erreichte die Zertifizierung hierfür im Jahr 2003.

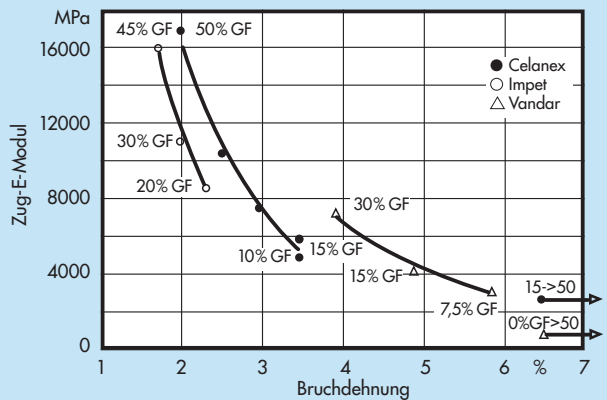
Die Ticona-Einrichtungen in Amerika und Oberhausen in Deutschland erhielten die Zertifizierung nach der Umweltmanagement-System-Norm ISO 14001 bereits vor dem Ende 2002. Für den Standort Kelsterbach in Deutschland ist der Abschluss der Zertifizierung Mitte 2005 geplant. Alle geeigneten Ticona-Laboratorien sind gemäß den generellen Anforderungen der ISO/IEC 17025 für Prüf- und Kalibrierlaboratorien akkreditiert.

Auf der Homepage [www.ticona.com](http://www.ticona.com) finden Sie weitere Informationen zum Umfang der Zertifizierungen sowie PDF-Dateien der aktuellen Zertifikate.

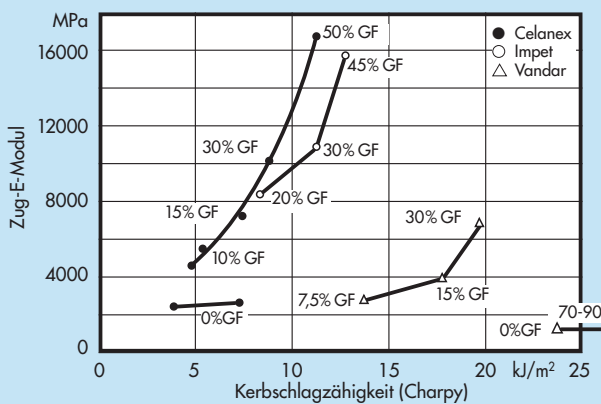
**Abb. 1:** Zug-E-Modul unverstärkter und verstärkter Polyester-Typen und die dazu gehörenden Bruchspannungen



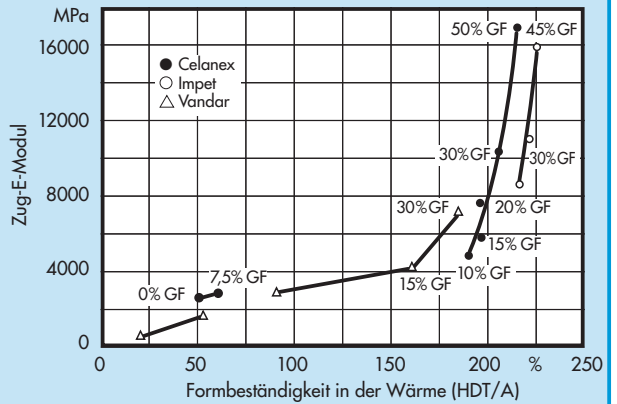
**Abb. 2:** Zug-E-Modul unverstärkter und verstärkter Polyester-Typen und die dazu gehörenden Bruchdehnungen



**Abb. 3:** Zug-E-Modul unverstärkter und verstärkter Polyester-Typen und die dazu gehörenden Kerbschlagzähigkeiten (Charpy)



**Abb. 4:** Zug-E-Modul unverstärkter und verstärkter Polyester-Typen und die dazu gehörenden Wärmeformbeständigkeitstemperaturen (HDT/A)



2

### 3. Physikalische Eigenschaften

In diesem Kapitel werden die zur Charakterisierung von Celanex, Vandar und Impet wichtigen Eigenschaften behandelt, zum Teil in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit. Sie wurden vorwiegend nach genormten Prüfverfahren ermittelt.

Die Zahlenwerte der physikalischen Eigenschaften von Celanex, Vandar und Impet finden Sie im Einschub auf der letzten Seite dieser Broschüre.

Beschreibungen der Polyester-Typen sowie ihrer Eigenschaften liegen in Form der Datenbank CAMPUS® vor.

Die an Probekörpern nach Norm ermittelten Eigenschaftswerte sind Richtwerte und können für einen Werkstoffvergleich herangezogen werden. Eine Übertragung auf Fertigteile ist jedoch nur eingeschränkt möglich. Die Festigkeit eines Bauteils hängt in hohem Maße von dessen konstruktiver Gestaltung ab. Deshalb ist zur Beurteilung der Belastbarkeit die Gestaltfestigkeit heranzuziehen [1, 2].

#### 3.1 Mechanische Eigenschaften

Thermoplastische Kunststoffe sind viskoelastische Werkstoffe. Sie zeigen die als Kriechen bekannte Eigenschaft, sich zeit-, temperatur- und lastabhängig zu verformen. Nach Entlastung nimmt ein Formteil je nach

Höhe und Dauer der Belastung seine ursprüngliche Gestalt ganz oder teilweise wieder an. Die rückstellbare Verformung entspricht dem elastischen, die bleibende dem plastischen Anteil. Dieses viskoelastische Verhalten muß bei der Dimensionierung von Formteilen berücksichtigt werden.

Hieraus geht hervor, daß die mechanischen Eigenschaften eines Kunststoffes primär von den Grundparametern Zeit, Temperatur und Beanspruchungshöhe abhängen. Hinzu kommen Formgebung, Herstellungs- und Umgebungsbedingungen als weitere Einflußgrößen.

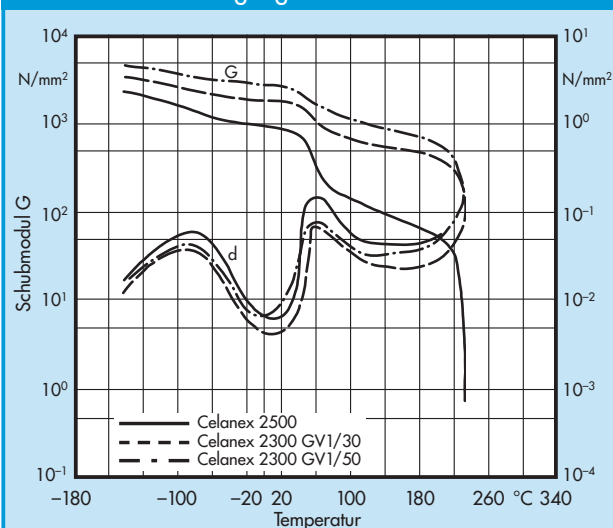
Zur Charakterisierung eines Kunststoffes dient in besonderem Maße die Abhängigkeit des Schubmoduls  $G$  von der Temperatur.

Abb. 5 gibt die Temperaturabhängigkeit des Schubmoduls  $G$  und des Verlustfaktors  $d$  für unverstärktes und glasfaserverstärktes Celanex wieder, Abb. 6 für unverstärktes und verstärktes Vandar.

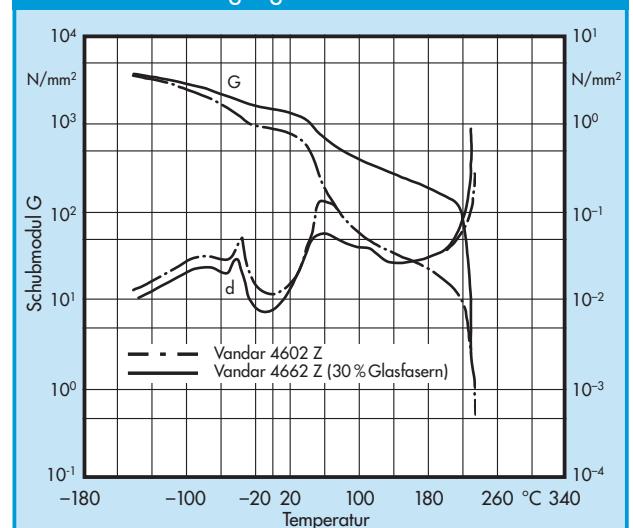
Beide Materialien haben bis kurz unterhalb ihrer Glasübergangstemperatur eine hohe Steifheit. Oberhalb des Glasübergangs fallen die Schubmodulkurven bis zur Schmelztemperatur ab; bei glasfaserverstärkten Typen ist der Verlauf flacher.

CAMPUS® = eingetragenes Warenzeichen der CWFG, Frankfurt am Main

**Abb. 5:** Schubmodul  $G$  und mechanischer Verlustfaktor  $d$  von verstärktem und unverstärktem Celanex, gemessen im Torsionsschwingungsversuch nach DIN 53 445



**Abb. 6:** Schubmodul  $G$  und mechanischer Verlustfaktor  $d$  von verstärktem und unverstärktem Vandar, gemessen im Torsionsschwingungsversuch nach DIN 53 445



### 3.1.1 Verhalten bei kurzzeitiger Beanspruchung

Das Verhalten von Werkstoffen bei zügiger und kurzzeitiger Beanspruchung wird im Zugversuch nach ISO 527 untersucht. Er liefert die Meßgrößen Streckspannung, Dehnung bei Streckspannung, Bruchspannung, Zugfestigkeit und Bruchdehnung.

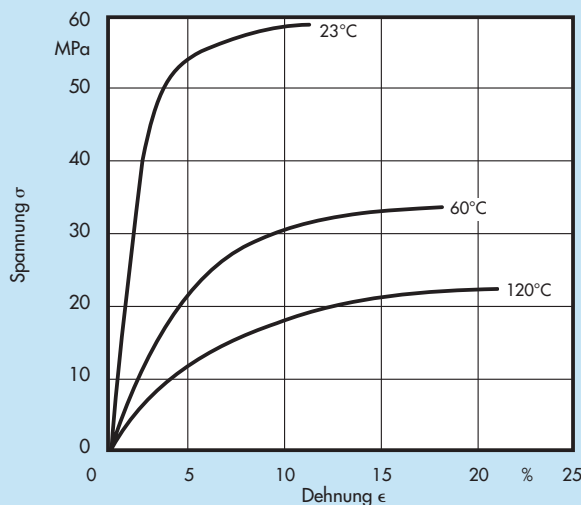
Celanex und Impet als technische Thermoplaste weisen Werte auf, die deutlich über denen der Standardkunststoffe liegen.

Charakteristische Spannungs-Dehnungsdiagramme von unverstärktem und verstärktem Celanex bei unterschiedlichen Prüftemperaturen sind in den Abb. 7 und 8 dargestellt.

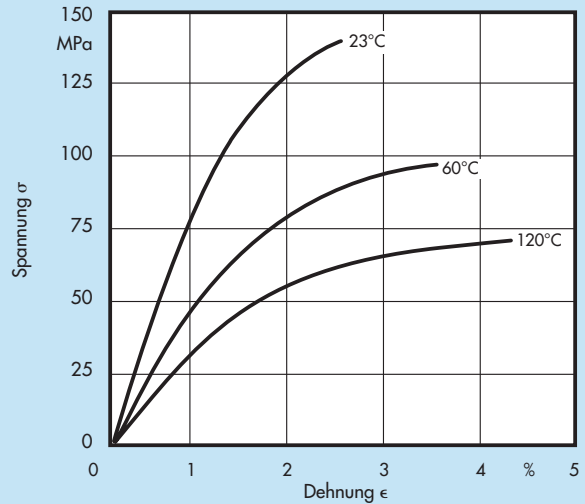
Abb. 9 zeigt die Bruchspannungen von Celanex-Grundtypen in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt und von der Temperatur.

Glasfaserverstärkte Polyester-Typen zeichnen sich durch besonders hohe Festigkeit und Steifheit aus. Die guten Materialeigenschaften sind bei optimalen Verarbeitungsbedingungen voll ausnutzbar.

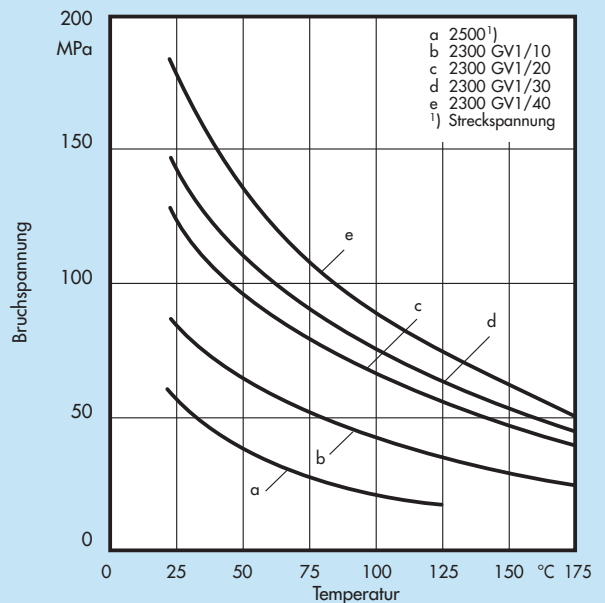
**Abb. 7:** Spannungs-Dehnungsdiagramm von Celanex 2500; gemessen nach ISO 527, Prüftemperaturen 23, 60 und 120 °C, Prüfgeschwindigkeit 50 mm/min



**Abb. 8:** Spannungs-Dehnungsdiagramm von Celanex 2300 GV 1/30; gemessen nach ISO 527, Prüftemperaturen 23, 60 und 120 °C, Prüfgeschwindigkeit 50 mm/min



**Abb. 9:** Bruchspannung (bzw. Streckspannung) von verstärktem und unverstärktem Celanex in Abhängigkeit von der Prüftemperatur, gemessen in Anlehnung an ISO 527 (Prüfgeschwindigkeit 50 mm/min)



Weitere unter kurzzeitiger Belastung bestimmte Eigenschaften sind die verschiedenen Elastizitäts-Moduln, nämlich der Zug- wie der Biege-E-Modul, nach ISO 527 bzw. ISO 178 gemessen, sowie die Anfangswerte des Biege-Kriechmodul ISO 899 Teil 2. Diese Größen stellen ein Maß für die Steifheit dar und dienen nicht nur der Charakterisierung von Kunststoffen, sondern können auch zur Festigkeitsberechnung und Dimensionierung von Formteilen herangezogen werden.

Abb. 10 gibt den Biege-E-Modul verschiedener Celanex-Typen zwischen - 50 und + 150 °C wieder.

### 3.1.2 Verhalten bei langzeitiger Beanspruchung

Die Ergebnisse der unter verschiedenen Bedingungen durchgeführten Dauerversuche geben dem Konstrukteur Hinweise für die Berechnung beim Entwurf entsprechend beanspruchter Bauteile.

Das Verhalten der Kunststoffe bei langzeitiger Zugbeanspruchung wird in zwei Grundversuchen geprüft:

- Zeitstand-, Kriech- bzw. Retardationsversuch nach ISO 899 (Deformationszunahme bei konstanter Spannung),
- Spannungsrelaxationsversuch nach DIN 53 441 (Spannungsabbau bei konstanter Dehnung).

Ersterer liefert die Zeitstandfestigkeit. Das ist die Zeit, nach der ein mit vorgegebener Spannung belasteter Probestab unter bestimmten Umgebungsbedingungen bricht. Die Untersuchungen werden an Zugstäben (einachsiger Spannungszustand) oder an Rohren (mehrachsigem Spannungszustand) in Luft oder einem anderen Medium durchgeführt.

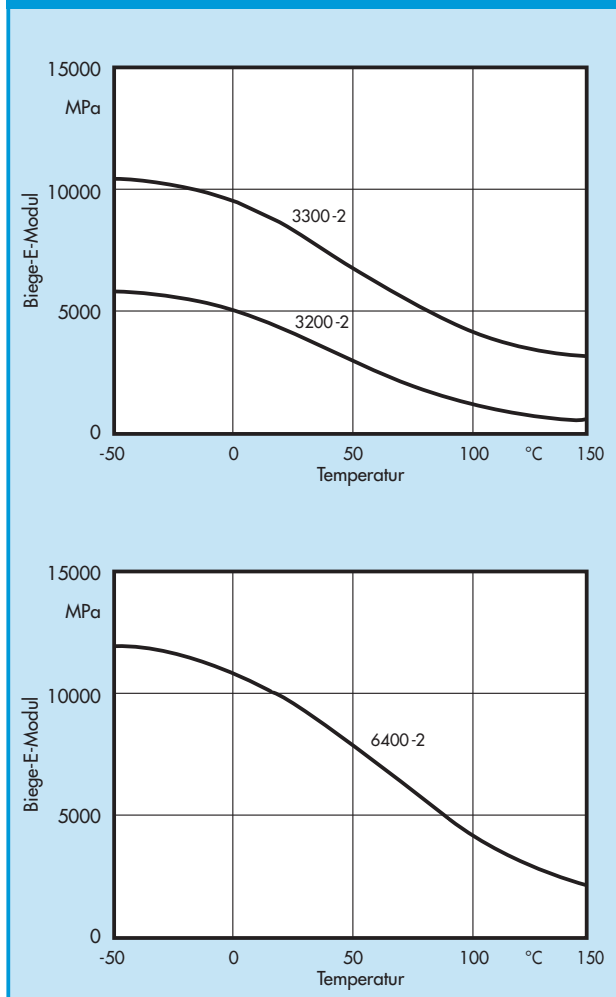
Eine anschauliche Zusammenfassung des Spannungs-Dehnungsverhaltens in Abhängigkeit von der Zeit vermitteln die sog. Isochronen Spannungs-Dehnungslinien. Bei Celanex 2300 GV 1/30 (Abb. 12) macht sich deutlich der positive Einfluß der Glasfaserverstärkung gegenüber dem unverstärkten Celanex 2500 (Abb. 11) geltend.

Die im Kriechversuch ermittelten Dehnungen und Kriechmoduln können in guter Näherung auch für Biege- und Druckbeanspruchung verwendet werden. Damit eine ausreichende Sicherheit gegen Bruch gegeben ist, wird bei Konstruktionen üblicherweise mit Dehnungen von 0,5 bis 1% gerechnet.

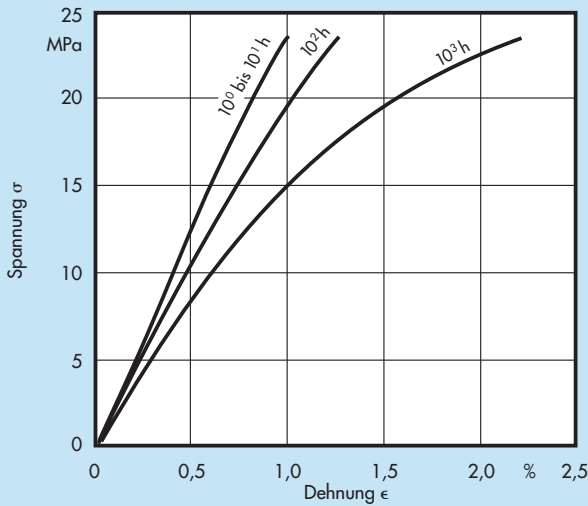
Die Verformung eines Kunststoff-Formteils ist nicht nur zeit- und temperaturabhängig, sondern darüber hinaus auch eine Funktion der Beanspruchungsart. Streng genommen wären für jede Beanspruchungsart eigene Werkstoff-Kennwerte zu ermitteln. Bei Verformungen von  $\leq 2\%$  sind die Abweichungen der Werkstoff-Kennwerte jedoch vernachlässigbar, so daß z. B. der Zeitverlauf der Stauchung eines druckbeanspruchten Bauteils auch mit dem bei Biegebeanspruchung ermittelten Biege-Kriechmodul ausreichend genau zu berechnen ist.

Die Ergebnisse aus Zeitstandversuchen im einachsigen Spannungszustand sind jedoch nur bedingt auf den mehrachsigen Spannungszustand übertragbar.

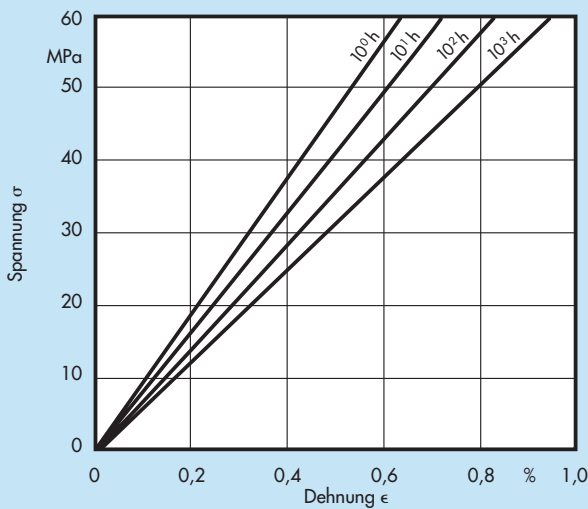
**Abb. 10:** Biege-E-Modul verschiedener Celanex-Typen in Abhängigkeit von der Temperatur, gemessen nach ISO 178



**Abb. 11:** Isochrone Spannungs-Dehnungslinien von Celanex 2500 bei 23 °C, Parameter ist die Zeit in Stunden

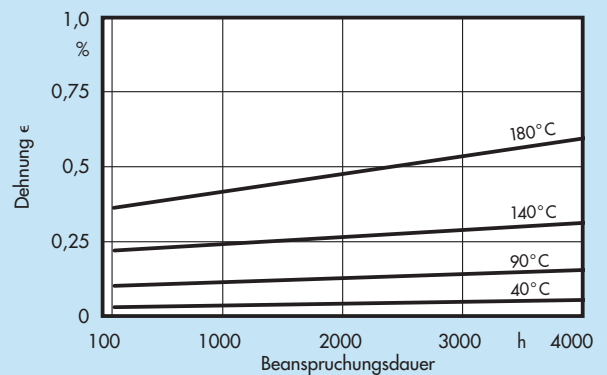


**Abb. 12:** Isochrone Spannungs-Dehnungslinien von Celanex 2300 GV1/30 bei 23 °C, Parameter ist die Zeit in Stunden

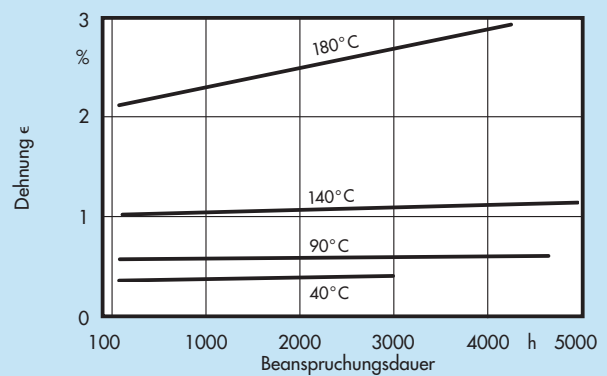


Celanex zeigt eine geringe Kriechneigung bei Biegebeanspruchung, selbst bei hohen Temperaturen (180 °C) und unter hoher Belastung (14 N/mm<sup>2</sup>). Abb. 13 und 14 zeigen die Kriechkurven bei unterschiedlicher Belastung der Probekörper.

**Abb. 13:** Biege-Kriechlinien von Celanex 3300-2, Randfaserspannung 3,5 N/mm<sup>2</sup>, bei verschiedenen Temperaturen



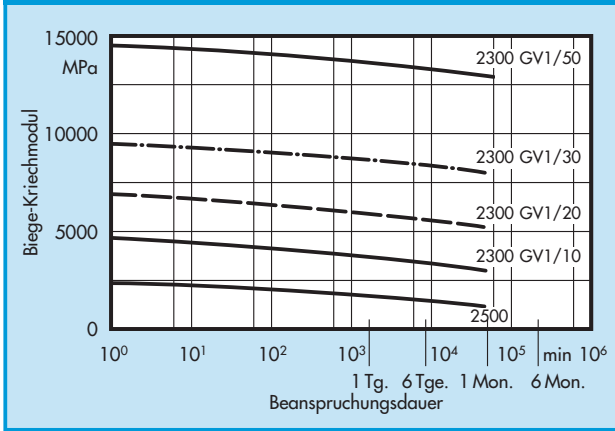
**Abb. 14:** Biege-Kriechlinien von Celanex 3300-2, Randfaserspannung 14 N/mm<sup>2</sup>, bei verschiedenen Temperaturen



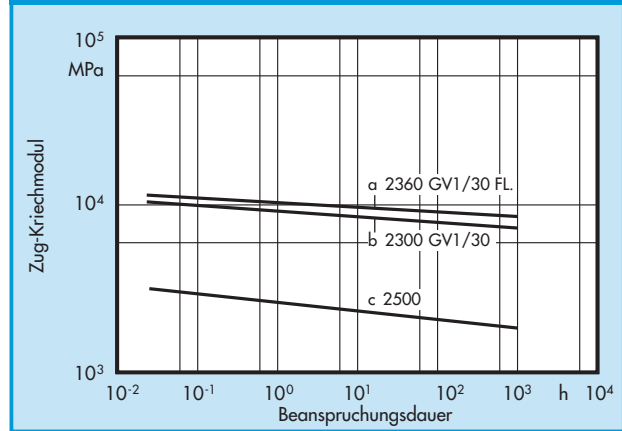
Der Biege-Kriechmodul nimmt bei Langzeitbelastung geringfügig ab, wie für unverstärkte und mit verschiedenen Glasfasergehalten verstärkte Celanex-Typen in den Abb. 15 und 16 bei Raumtemperatur und bei 80 °C dargestellt ist.

Zeitstand-Zugversuche mit unverstärktem und verstärktem Celanex zeigen ebenfalls eine schwache Abnahme des Zug-Kriechmoduls bzw. eine nur sehr geringe Zunahme der Dehnung (Abb. 17 und 18).

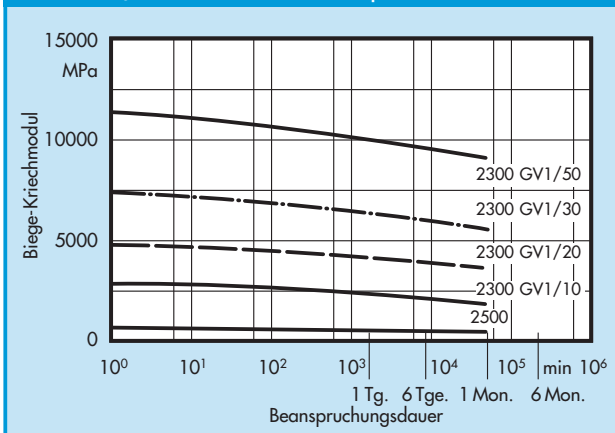
**Abb. 15:** Biege-Kriechmodul von unverstärktem und verstärktem Celanex, Biegespannung  $\sigma_b = 10 \text{ N/mm}^2$ , Prüftemperatur 23 °C



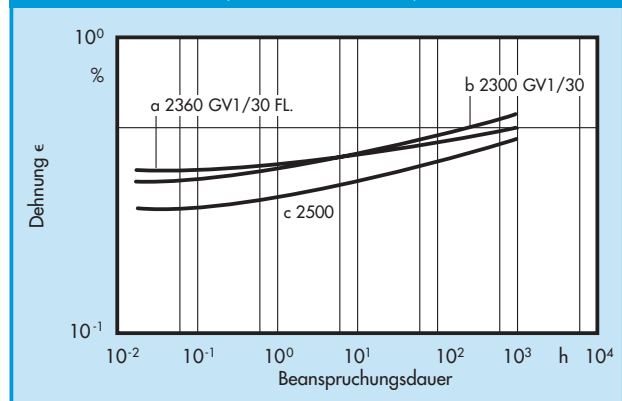
**Abb. 17:** Zug-Kriechmodul verschiedener Celanex-Typen, gemessen im Zeitstand-Zugversuch nach ISO 899, Prüftemperatur 23 °C, Spannung  $a = 40 \text{ N/mm}^2$ ,  $b = 35 \text{ N/mm}^2$ ,  $c = 7 \text{ N/mm}^2$



**Abb. 16:** Biege-Kriechmodul von unverstärktem und verstärktem Celanex, Biegespannung  $\sigma_b = 5 \text{ N/mm}^2$ , Prüftemperatur 80 °C



**Abb. 18:** Zeit-Dehnlagen verschiedener Celanex-Typen, gemessen im Zeitstand-Zugversuch nach ISO 899, Prüftemperatur 23 °C, Spannung  $a = 40 \text{ N/mm}^2$ ,  $b = 35 \text{ N/mm}^2$ ,  $c = 7 \text{ N/mm}^2$



### 3.1.3 Verhalten bei Schlagbeanspruchung

Der Schlagbiegeversuch dient zur Ermittlung des Zähigkeitsverhaltens ungekerbter und gekerbter Norm-Probekörper bei hoher Deformationsgeschwindigkeit. Die Werte der so ermittelten Schlag- und Kerbschlagzähigkeit dienen ausschließlich einer vergleichenden Beurteilung von Werkstoffeigenschaften und können auf beliebige Formteile nicht übertragen werden. Sie sind als Grundlage für ingenieurmäßige Berechnungen beanspruchter Bauteile daher auch nicht geeignet.

In diesen Fällen empfiehlt sich eine Bauteilprüfung unter praxisnahen Beanspruchungen.

Die Schlagzähigkeitsprüfung nach ISO 179 (Charpy) im Normklima führt bei nahezu allen unverstärkten Celanex-Grundtypen zu dem Ergebnis „ohne Bruch“. Auch die schlagzäh modifizierten Vandar-Grundtypen durchlaufen die Prüfung ohne Bruch.

Für die Herstellung erhöht schlagzäher Formteile eignen sich alle Vandar-Typen. Aber auch die höhermolekularen, zähfließenden Celanex-Grundtypen 3100, 1600 A und 1700 A können für die Fertigung schlagzäher Formteile herangezogen werden, sofern diese mittlere bis größere Wanddicken aufweisen.

Bei geringen Wanddicken kann die Verwendung höhermolekularer Celanex-Typen zur Orientierung der Molekülketten in Fließrichtung führen, was eine Anisotropie der mechanischen Eigenschaften bewirkt. Leichter fließende Celanex-Typen ergeben wenig orientierte, spannungsarme Formteile; ihre Zähigkeit kann daher u. U. größer sein als dies bei Teilen der Fall ist, die aus hochmolekularen Typen gefertigt werden.

Die Modifizierung der Grundtypen von Celanex und Vandar mit Zuschlagstoffen hat einen Einfluß auf die Zähigkeitseigenschaften. So wird beispielsweise durch die Glasfaserverstärkung die Schlagzähigkeit auch bei Vandar reduziert. Etwas weniger fällt die Mineralverstärkung ins Gewicht.

Die im Vergleich zur Schlagzähigkeit deutlich niedrigere Kerbschlagzähigkeit wird durch den Zusatz von Verstärkungsstoffen und durch Schlagzähmodifizierung angehoben. Bei der Artikelgestaltung sind Kerbstellen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Das Zähigkeitsverhalten wird wesentlich von den Verarbeitungsbedingungen beeinflusst.

### 3.1.4 Verhalten bei schwingender Beanspruchung

Durch periodische Belastung beanspruchte Konstruktionsteile müssen unter Zugrundelegen der Dauerschwingfestigkeit bemessen werden. Darunter versteht man den im Schwingversuch ermittelten Spannungsausgang  $\sigma_a$  – bei gegebener Mittelspannung  $\sigma_m$  –, den eine Probe für eine bestimmte Lastspielzahl, z. B.  $10^7$  Lastwechsel, ohne Bruch aushält („Wöhler-Kurve“). Die verschiedenen Beanspruchungsbereiche, in denen solche Versuche durchgeführt werden, sind in Abb. 19 wiedergegeben.

Für die meisten Kunststoffe beträgt die Schwingfestigkeit bei  $10^7$  Lastwechseln etwa 20 bis 30% der im Zugversuch ermittelten Bruchspannung. Sie sinkt mit steigender Temperatur und Lastwechselfrequenz sowie bei Vorhandensein von Spannungsspitzen an gekerbten Bauteilen.

Abb. 19: Beanspruchungsbereiche im Dauerschwingversuch

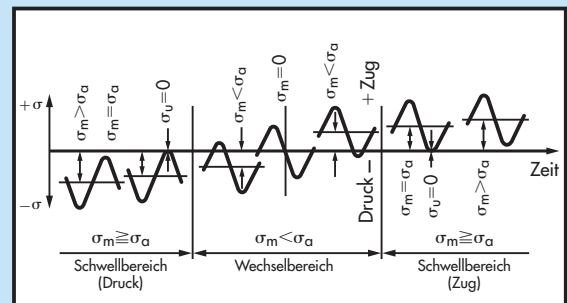


Abb. 20: Wöhler-Kurve für Celanex 2300 GV1/30, ermittelt im Biege-Wechselbereich

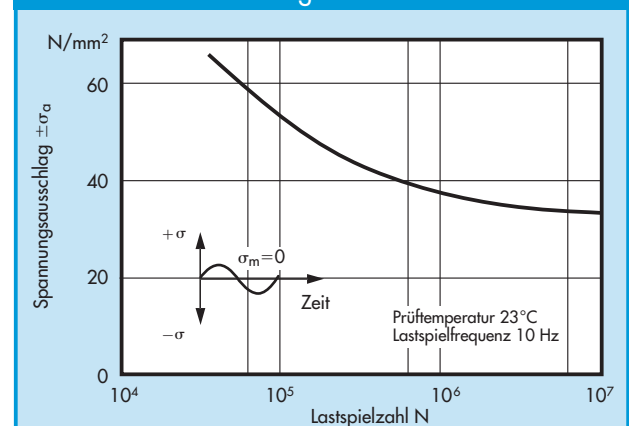


Abb. 20 zeigt die Wöhler-Kurve im Biege-Wechselbereich für Celanex 2300 GV 1/30. Für eine Lastspielzahl von z. B.  $N = 10^7$  entnimmt man dem Diagramm eine Biege-Wechselfestigkeit von  $\sigma_w = \pm 32 \text{ N/mm}^2$ .

### 3.1.5 Oberflächeneigenschaften

Die für viele technische Anwendungen wichtigen Oberflächeneigenschaften, wie Härte, Verschleißfestigkeit und Gleitverhalten, sind bei Celanex und Impet besonders günstig ausgeprägt.

#### Härte

Für Thermoplaste ist die Ermittlung der Kugeldruckhärte nach ISO 2039 Teil 1 gebräuchlich. Die Kugeldruckhärte ist temperaturabhängig und beträgt für die Celanex-Grundtypen zwischen 122 und 145  $\text{N/mm}^2$  bei 23 °C und 358 N Prüfkraft.

Glasfaserverstärktes Celanex 2300 GV 1/50 erreicht 235  $\text{N/mm}^2$ , Impet 2700 GV 1/45 sogar 300  $\text{N/mm}^2$ .

#### Gleitverhalten

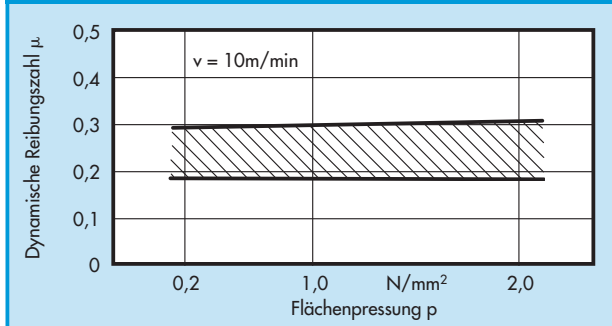
Celanex und Impet weisen ähnlich gute Gleiteigenschaften wie das Acetalcopolymerisat Hostaform® auf.

Beim Gleiten von unverstärktem Celanex 2500 gegen Stahl liegen die dynamischen Reibungszahlen abhängig von Flächenpressung  $p$  und Gleitgeschwindigkeit  $v$  zwischen 0,2 und 0,45 (Abb. 21 und 22). Bedingt durch den Erweichungsbereich bei 50 °C ist der für die Bemessung von Gleitlagern maßgebliche  $p \cdot v$ -Wert jedoch geringer als bei Hostaform. Aus diesem Grund werden vornehmlich die glasfaserverstärkten Produkte eingesetzt, wenn höhere Betriebstemperaturen – durch Reibungswärme oder durch die Umgebungstemperatur bedingt – zu erwarten sind. Das ist deshalb möglich, weil bei der Spritzgießverarbeitung – hohe Werkzeugwandtemperaturen vorausgesetzt – eine glasfaserarme Oberflächenschicht mit guten tribologischen Eigenschaften erzeugt wird. Einen Hinweis auf den hohen Verschleißwiderstand, auch der glasfaserverstärkten Typen, gibt Abb. 23.

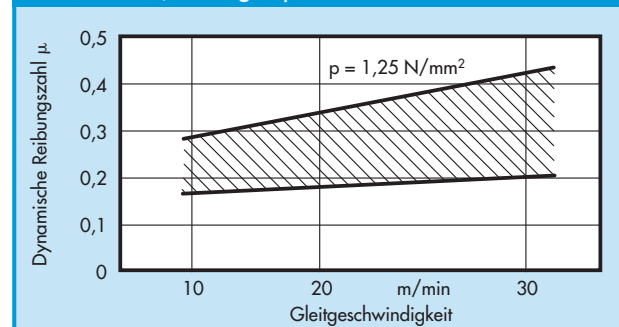
Werden nach längerer Betriebsdauer Glasfasern in der Gleitstelle freigelegt, muß bei Gleiten gegen Stahl mit Ruckgleiten (stick slip) und Geräuschentwicklung gerechnet werden. Glaskugelgefüllte Produkte

verhalten sich ähnlich wie die glasfaserverstärkten, im Hinblick auf die Geräuschentwicklung zeigen sie keine Vorteile.

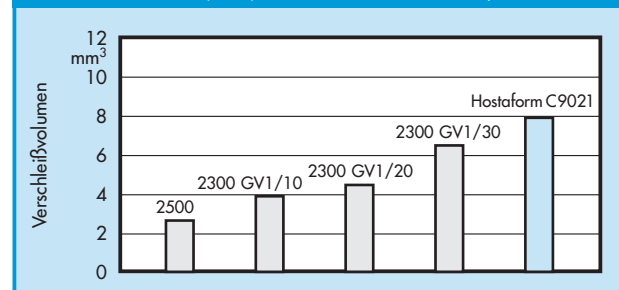
**Abb. 21:** Dynamische Reibungszahl  $\mu$  von Celanex 2500 in Abhängigkeit von der Flächenpressung, ermittelt unter gleitlagerähnlichen Bedingungen beim Gleiten auf Stahl ( $R_z = 2 \mu\text{m}$ , Lagerspiel 1%, Versuchsdauer 45 min)



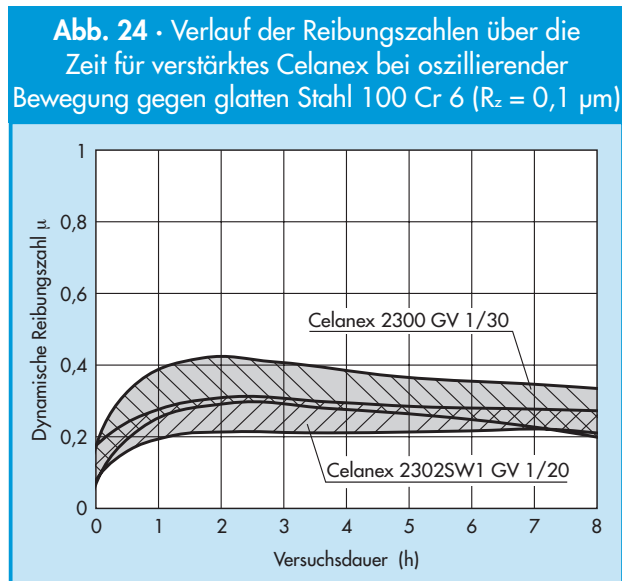
**Abb. 22:** Dynamische Reibungszahl  $\mu$  von Celanex 2500 in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit, ermittelt unter gleitlagerähnlichen Bedingungen beim Gleiten auf Stahl ( $R_z = 2 \mu\text{m}$ , Lagerspiel 1%, Versuchsdauer 30 min)



**Abb. 23:** Verschleißverhalten verschied. Celanex-Typen im Vergleich mit POM bei Trockengleiten auf einer geschliffenen Stahlwelle ( $R_z = 0,8 \mu\text{m}$ ,  $v = 136 \text{ m/min}$ ,  $F = 3,1 \text{ N}$ , Versuchsdauer 60 h)



Abgesehen von dem grundsätzlich niedrigen Niveau der Reibungszahlen aller Typen macht sich eine speziell abriebarme Modifizierung deutlich bemerkbar. Celanex 2002SW1 (unverstärkt) und Celanex 2302SW1 GV1/20 (glasverstärkt) werden speziell für tribologische Anwendungen eingesetzt.



Werden Flächenpressung  $p$  und Gleitgeschwindigkeit  $v$  auf Werte begrenzt, die einen merklichen Anstieg der Gleitflächentemperatur ausschließen, sind ungefüllte und glasfaserverstärkte Polyester gute Gleitpartner zu Hostaform, Polyamid, Polycarbonat und ABS schon im Trockenlauf. Durch eine Einmalschmierung mit Fett oder Öl wird die tribologische Belastbarkeit deutlich gesteigert; sie sollte, wann immer möglich, vorgesehen werden.

Weitere Informationen zu den tribologischen Eigenschaften von Celanex finden Sie in der Broschüre B.2.3 – Gleitlager aus technischen Kunststoffen.

### 3.2 Thermische Eigenschaften

Zu den wichtigsten thermischen Eigenschaften eines Kunststoffs zählen:

- die Stoffwerte Schmelzpunkt, Umwandlungstemperaturen bzw. Zustandsbereiche, spezifische Wärme, Enthalpie, Wärmeleitfähigkeit, Ausdehnungskoeffizient,
- Thermostabilität (Stabilität der Schmelze bei Verarbeitungstemperatur),

- Formbeständigkeit in der Wärme,
- Gebrauchstemperaturen in Luft.

#### Zustandsbereiche

Das Temperaturverhalten der Polyester-Typen ist abhängig von der Polymermatrix sowie von Art und Gehalt möglicher Verstärkungsstoffe.

Glasfaserverstärkte Einstellungen erreichen infolge der guten Haftung der polaren Matrix mit der Faser eine sehr hohe Steifheit und Festigkeit. Die Auswirkung der sog. Glasumwandlung tritt mit steigendem Glasfaserzusatz zurück, so daß oberhalb der Glasübergangstemperatur neben einer deutlichen Modul-erhöhung auch eine wesentliche Erhöhung der Wärmeformbeständigkeit erreicht wird.

Wie man den Schubmodulkurven (Abb. 5 und 6) entnehmen kann, setzt bei etwa 50°C (Celanex und Vandar) und 65°C (Impet) die Erweichung der amorphen Anteile ein; die kristallinen Bereiche schmelzen bei 220 bis 225°C (Celanex und Vandar) und 250 bis 255°C (Impet).

#### Längenausdehnungskoeffizient

Durch Zugabe von Verstärkungsstoffen zum Grundmaterial wird die Wärmedehnung reduziert. Es ist jedoch zu beachten, daß die Wärmedehnung in hohem Maße von der Orientierung, der Menge und der Art der Verstärkungsstoffe abhängt.

Insbesondere ergeben sich bei faserförmigen Verstärkungsstoffen Unterschiede längs und quer zur Orientierungsrichtung. Diese Unterschiede sind vernachlässigbar gering bei kugel- oder plättchenförmigen Verstärkungsstoffen, wie insbesondere Mikroglaskugeln und Mineral. Der Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  im Temperaturbereich zwischen 23 und 80°C ist für die Polyester-Typen der Tabelle 1 „Physikalische Eigenschaften“ zu entnehmen.

#### Formbeständigkeit in der Wärme

Die Formbeständigkeit in der Wärme (HDT) nach den genormten Prüfmethode (A, B, C, mit jeweils unterschiedlichen Prüfspannungen) gibt dem Konstrukteur erste Hinweise zu den Gebrauchstemperaturen eines Werkstoffs. Durch die Verstärkungsstoffe wird die Wärmeformbeständigkeit der Polyester-Typen bis in die Nähe des Kristallitschmelzbereichs angehoben, ein Verhalten, das auch von anderen Polymeren (z. B. Polyamid) bekannt ist.

Die verstärkten Celanex-Typen erreichen eine Wärmeformbeständigkeitstemperatur von 215°C, verstärktes Vandar immerhin 185°C und verstärktes Impet 228°C (HDT/A, 1,8 MPa). Das sind Spitzenwerte unter den technischen Kunststoffen, die nur von den Hochleistungsthermoplasten übertroffen werden.

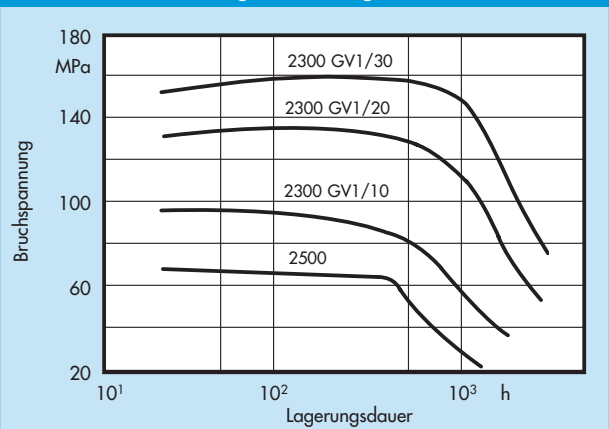
**Gebrauchstemperaturen in Luft**

Zahlreiche technoklimatische Einflüsse haben unterschiedliche Auswirkung auf den zeitlichen Ablauf der Wärmealterung. Begriffe wie „Wärmebeständigkeit“, „Dauergebrauchstemperatur“ usw. charakterisieren daher keine werkstoffspezifischen Eigenschaften, sondern sind nur im Zusammenhang mit dem jeweiligen Anforderungskatalog zu sehen.

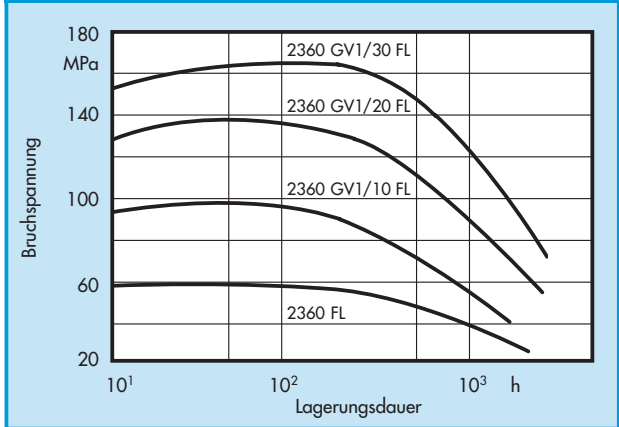
Viele Celanex-Typen sind in Anlehnung an die Maßstäbe von UL 746B geprüft worden. Die Temperaturindizes sind in der Richtwerte-Tabelle, Bestell-Nr. B 263 FB, zusammengefasst. Es werden je nach Typ Werte bis 140°C erreicht.

Die Abb. 25 und 26 zeigen die Ergebnisse von Wärmealterungsversuchen bei 180°C von Celanex-Grundtypen und von flammhemmend ausgerüsteten Typen.

**Abb. 25:** Abnahme der Bruchspannung von verstärktem und unverstärktem Celanex im Wärmealterungsversuch bei 180°C, gemessen in Anlehnung an ISO 527 (Prüfgeschwindigkeit 50 mm/min)



**Abb. 26:** Abnahme der Bruchspannung von flammhemmend ausgerüstetem Celanex im Wärmealterungsversuch bei 180°C, gemessen in Anlehnung an ISO 527 (Prüfgeschwindigkeit 50 mm/min)



**Stand der UL-Listungen**

Der Stand der UL-Listungen ist in dem Faltblatt im rückseitigen Einschub dieser Broschüre aufgeführt.

**3.3 Elektrische Eigenschaften**

Die Polyester-Typen der Ticona haben sehr gute elektrische Eigenschaften. Dank dieser Eigenschaften ist beispielsweise Celanex für die unterschiedlichsten Anwendungen in der Elektro-, Elektronik- und Telekommunikationsindustrie zugelassen und vorgeschrieben.

**Isolationseigenschaften**

Der spezifische Durchgangswiderstand ist hoch. Wichtig für den Konstrukteur sind Angaben über die Änderung des spezifischen Durchgangswiderstandes nach längerer Warmlagerung des Isolierstoffes in Luft, Wasser oder Öl. Abb. 27 zeigt diese Änderung bei Celanex 3300-2.

**Abb. 27:** Spezifischer Durchgangswiderstand von Celanex 3300-2 als Funktion der Lagerungsdauer bei 70°C und 100% relat. Luftfeuchte

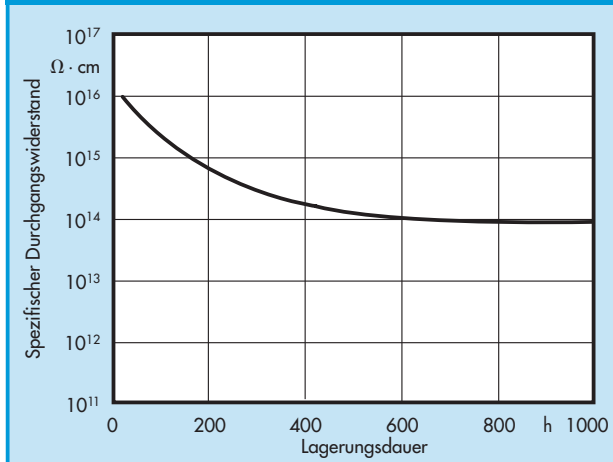
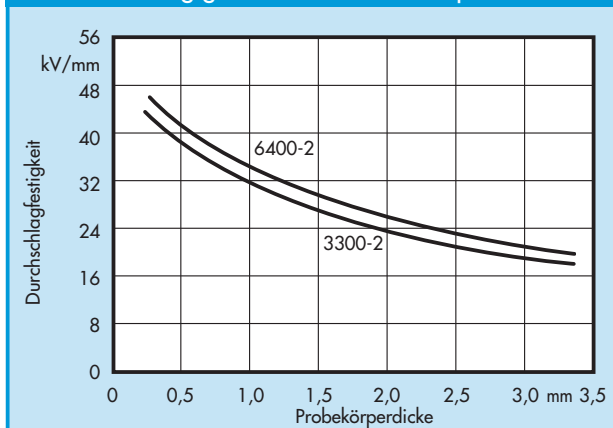


Abb. 28 zeigt den Einfluß der Probekörperdicke auf die Durchschlagfestigkeit an zwei Celanex-Typen. So erhält man an dünnen Probekörpern eine höhere Durchschlagfestigkeit als an dicken Platten. Das ist auch der Grund, weshalb Isolierfolien in Kondensatoren relativ dünn sein können.

**Abb. 28:** Durchschlagfestigkeit von Celanex in Abhängigkeit von der Probekörperdicke



### Dielektrizitätszahl, dielektrischer Verlustfaktor

Die Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  (relative Dielektrizitätskonstante) liegt bei den Celanex-Typen zwischen 3,5 und 5,1; bei Vandar zwischen 3,6 und 4,9 und bei Impet zwischen 4,0 und 5,2. Mit zunehmender Frequenz nimmt  $\epsilon_r$  leicht ab.

Der dielektrische Verlustfaktor  $\tan \delta$  ist ein Maß für den Anteil der Energie, der im Dielektrikum durch Umsatz in Wärme verlorengeht. Die Werte des Verlustfaktors der Polyester-Typen sind relativ niedrig und betragen bei einer Frequenz von 1 MHz für Celanex etwa 0,022; für Vandar etwa 0,029 und für Impet etwa 0,019.

Der niedrige dielektrische Verlustfaktor schließt Hochfrequenzerwärmung und Hochfrequenzschweißen aus.

3

## 4. Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen

In diesem Kapitel werden die Eigenschaften der Polyester-Typen bei Vorhandensein bestimmter Medien, und zwar gegebenenfalls in Abhängigkeit von Temperatur und Einwirkungsdauer, beschrieben.

### 4.1 Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme von Celanex und Impet ist sehr gering. Sie beträgt in Anlehnung an ISO 62 bei 23 °C zwischen 0,35 und 0,45 %. Für Vandar liegen die Werte etwas höher, und zwar bei 0,45 bis 0,5 %.

Diese geringe Wasseraufnahme bewirkt eine ausgezeichnete Maßhaltigkeit der Formteile.

Die Wasseraufnahme der Polyester-Typen verläuft reversibel, d. h. bei anschließender Lagerung in Luft wird das aufgenommene Wasser bis zum Erreichen des Gleichgewichtes wieder abgegeben.

### 4.2 Gebrauchstemperaturen in Heißwasser

Celanex und Vandar sind gegenüber Wasser bei Temperaturen bis zu 40 °C langfristig beständig. Wenn mit dauernder Einwirkung von heißem Wasser zu rechnen ist, empfiehlt sich die Anwendung von Hostaform – Acetalcopolymerisat (siehe hierzu die entsprechenden Hinweise in der Hostaform-Broschüre). Celanex widersteht aber kurzzeitiger Einwirkung von Dampf und unter Druck befindlichem Wasser bei Temperaturen bis 150 °C.

Impet ist gegen längere Einwirkung von heißem Wasser nicht beständig. Deshalb sollte von einem Einsatz in Wasser oder wässrigen Lösungen bei erhöhten Temperaturen über 50 °C oder in Dampf abgesehen werden.

### 4.3 Hydrolysebeständigkeit

Temperatur-Wechseltests in Kombination mit 80%iger Luftfeuchtigkeit werden insbesondere von der Automobilindustrie gefordert. Dabei wird zunehmend die Messung an Bauteilen nach der sogenannten USCAR als Referenz herangezogen. Bei dieser Prüfung werden Fertigteile Temperatur- und Feuchtigkeitswechseln gemäß Abb. 29 ausgesetzt. Nach der Durchführung von 40 Zyklen wird das Bauteil mechanischen, elektrischen und optischen Tests unterzogen.

Bauteile aus Standard-PBT erfüllen gewöhnlich die Anforderungen bei niedrigen Temperaturklassen (bis 80 °C bzw. 100 °C). Für die höheren Temperaturklassen (125 °C; 155 °C) stehen hydrolysestabilisierte Celanex-Typen zur Verfügung. Mit Celanex 3300HR kann auch nach 40 Zyklen Temperaturwechseltest noch 90% der Reißfestigkeit erhalten werden (siehe Abb. 30).

Abb. 29: Prozeßkurve zur Temperatur- und Feuchteprüfung gemäß USCAR Abschnitt 5.6.2, Klasse II

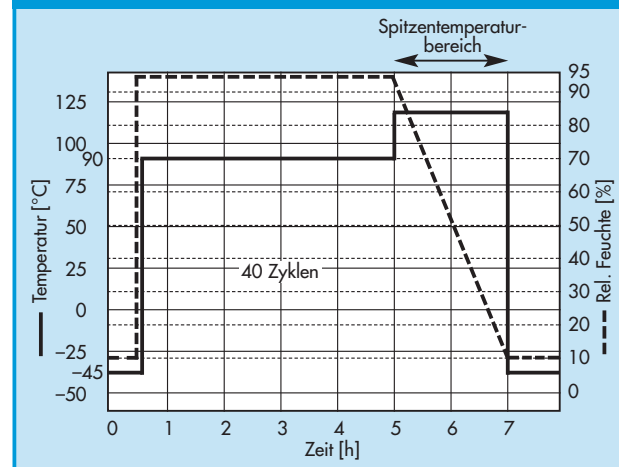
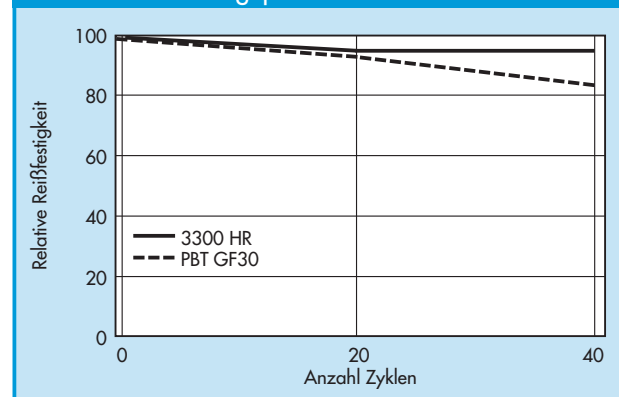


Abb. 30: Änderung der Reißfestigkeit von Celanex Probekörpern, die entsprechend USCAR Klasse III geprüft wurden



### 4.4 Chemikalienbeständigkeit

Für die Freigabe eines Werkstoffes, vor allem für höher beanspruchte Teile in aggressiven Medien, muß die chemische Tauglichkeit durch Praxistests, z. B. an Prototypen, nachgewiesen werden.

Celanex weist eine hohe Beständigkeit gegenüber zahlreichen organischen und anorganischen Chemikalien auf. Einen Überblick über das Verhalten bei Einwirkung verschiedenster Chemikalien gibt Tabelle 2 auf den Seiten 20–22.

Die Zugfestigkeit und die Abmessungen von gespritzten Probekörpern aus Celanex ändern sich bei Raumtemperatur in verdünnten Säuren nur geringfügig. Längere Einwirkung bei hohen Temperaturen führt jedoch zu einem allmählichen Polymerabbau.

Celanex besitzt eine ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber vielen organischen Lösemitteln und Chemikalien bei Raumtemperatur. Auch bei längerer Einwirkung treten im allgemeinen nur geringfügige Eigenschafts- und Dimensionsänderungen auf. Bei Einwirkung unter höheren Temperaturen können sich die Eigenschaften von Celanex ändern. Bei jeder Anwendung, in der Formteile aus Celanex mit organischen Chemikalien insbesondere bei erhöhter Temperatur über lange Zeiträume in Kontakt kommen, muß eine Prüfung von Prototypen vorgesehen werden.

Eine häufig gestellte Frage ist die Beständigkeit von Celanex PBT gegen Flüssigkeiten, die im Automobilsektor verwendet werden. Gerade beim Einsatz im Motorraum kann es durch unsachgemäße Handhabung zu Kontaminationen mit den verschiedensten Substanzen kommen, wie Benzin, Motoröl, Getriebeöl, Bremsflüssigkeit, Kühlmittel, Scheibenreinigungsmittel, Kaltreiniger, etc. Werden Bauteile aus Celanex mit diesen Flüssigkeiten benetzt, wird selbst nach mehrtägiger Einwirkzeit bei erhöhter Temperatur (übliche Testbedingungen sind 5 Zyklen: Benetzen + 48 h Lagerung bei 80 °C) mit Ausnahme von Batteriesäure keine Schädigung der Oberfläche beobachtet. Dies gilt auch für Flüssigkeiten, wie z.B. Kühlmittel (Ethylenglykol/Wasser-Mischung), gegen die Celanex PBT bei direkter Einlagerung bei erhöhter Temperatur nicht oder nur bedingt beständig ist.

Von Alkalien, oxidierenden Säuren, Chlorkohlenwasserstoffen und Phenolen wird Celanex angegriffen, bei erhöhten Temperaturen auch von Alkoholen, Aromaten, Ketonen und Estern.

Die Glasfaserverstärkung von Celanex kann bei einigen Chemikalien Abweichungen in der Beständigkeit bewirken. Deshalb ist es unbedingt ratsam, die Eignung durch einen Langzeittest zu prüfen.

**Tabelle 1: Spannungsrißbeständigkeit von Celanex 3300-2**

Lagerungsdauer 5 Stunden		
Spannung 82,8 N/mm <sup>2</sup>		
	Temperatur	Wirkung <sup>3)</sup>
Testkraftstoff C gemäß ASTM D 471 (50 Vol.-% Isooktan, 50 Vol.-% Toluol)	60	keine
Ethylenglykol	93	keine
Getriebeöl A	93	keine
Lockheed Bremsflüssigkeit (heavy duty)	60	keine
Uniflo Oil	93	keine
BTX <sup>1)</sup>	23	keine
Skydrol <sup>2)</sup>	23	keine

<sup>1)</sup> 50% Benzol, 37,5% Toluol, 12,5% Xylol

<sup>2)</sup> Hydraulische Flüssigkeit (Monsanto)

<sup>3)</sup> Unter einem Mikroskop mit 30facher Vergrößerung wurde keine Spannungsrißbildung beobachtet

Infolge seiner kristallinen Struktur ist Celanex nicht spannungsrißanfällig, während dies bei amorphen Kunststoffen unter bestimmten Einflüssen der Fall ist. Bei einer Lagerungsdauer von 5 Stunden in verschiedenen Testmedien bei Raumtemperatur zeigten Probekörper aus Celanex mit unterschiedlichen, in einer Biegevorrichtung aufgezwungenen Randfaserdehnungen keinerlei Rißbildung, Tabelle 1.

Elektrotechnische Bauelemente sind in bestimmten Fällen der Einwirkung von Ozon ausgesetzt. Versuche haben ergeben, daß Celanex 3300-2 nach 50 Stunden in einer 1,7% Ozon enthaltenen Atmosphäre bei einer Temperatur von 120 °C noch 70% seiner ursprünglichen Bruchspannung besitzt.

Als Lösemittel für Celanex kommen die für Polyester bekannten phenolischen Verbindungen oder halogenierten aliphatischen Säuren in Betracht.

Eine Übersicht über die Chemikalienbeständigkeit gibt Tabelle 2 für unverstärktes Vandar. Für glasfaserverstärkte Typen können mit einigen Chemikalien Abweichungen in der Beständigkeit auftreten. Vor dem Praxiseinsatz ist es deshalb unbedingt notwendig, die Eignung durch einen Langzeittest zu prüfen.

Impet hat im allgemeinen eine gute Chemikalienbeständigkeit, Tabelle 2. Es ist beständig gegenüber

schwachen Säuren, Salzlösungen, Ölen, Kraftstoffen, Lösemitteln und oberflächenaktiven Stoffen, unbeständig gegenüber starken Säuren, Laugen, Chlorkohlenwasserstoffen.

Wie bereits bei Celanex und Vandar erwähnt, kann die Glasfaserverstärkung auch von Impet bei einigen Chemikalien Abweichungen in der Beständigkeit bewirken. Es ist deshalb unbedingt nötig, die Eignung auch hier durch einen Langzeittest zu prüfen.

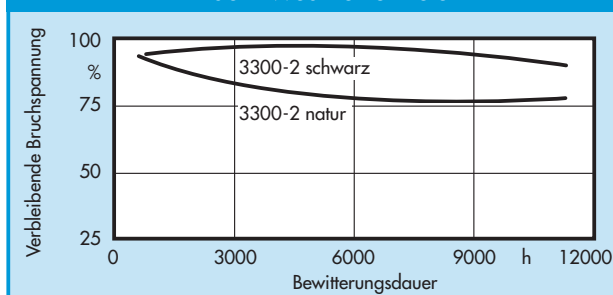
#### 4.5 Verhalten gegenüber Licht und Bewitterung

Die Polyester-Typen weisen ohne zusätzliche Stabilisierung bereits eine sehr gute Beständigkeit gegen Einwirkung von Ultraviolett-Strahlung und Außenbewitterung auf.

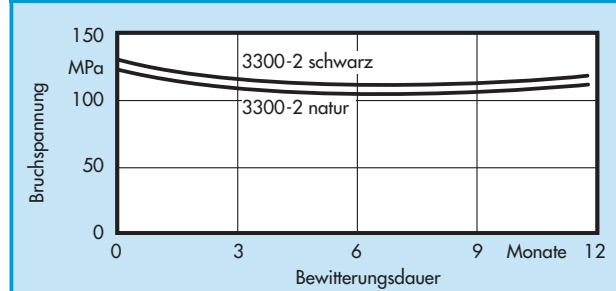
Labor-Weather-o-meter-Versuche an unpigmentierten und pigmentierten spritzgegossenen Probekörpern aus Celanex 3300-2 haben nur eine relativ geringe Abnahme der Bruchspannung ergeben. Abb. 31 zeigt die prozentuale Änderung der Bruchspannung als Funktion der Ausgangsfestigkeit in einem Weather-o-meter-Test bis zu 12 000 Stunden (500 Tage). Obgleich zwischen künstlicher Bewitterung im Labor und natürlicher Bewitterung im Freien keine genaue Korrelation besteht, liefern die unter genormten Laborversuchsbedingungen durchgeführten Versuche Ergebnisse, die für eine Abschätzung des Bewitterungsverhaltens im Freien herangezogen werden können. Im Einzelfall muß die Eignung durch Praxistests nachgewiesen werden.

Bei dreijähriger Bewitterung im Freien gemessene Werte zeigen, daß sich die physikalischen Eigenschaften von Celanex nicht grundlegend ändern. Erwartungs-

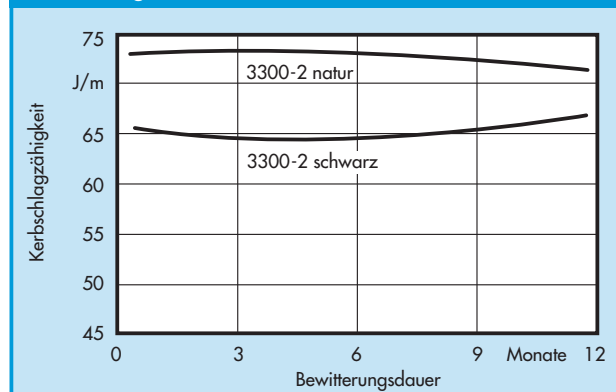
**Abb. 31:** Änderung der Bruchspannung von Celanex 3300-2 schwarz und naturfarben bei Bewitterung mit dem Weather-o-meter



**Abb. 32:** Bruchspannung von Celanex 3300-2 schwarz und naturfarben in Abhängigkeit von der Außenbewitterung, gemessen in Florida und Arizona



**Abb. 33:** Kerbschlagzähigkeit (Izod) von Celanex 3300-2 schwarz und naturfarben in Abhängigkeit von der Außenbewitterung, gemessen in Florida und Arizona



gemäß ist die Witterungsbeständigkeit von schwarz eingefärbtem Celanex höher als die des naturfarbenen Materials. Für Anwendungen, bei denen mit Langzeiteinsatz im Freien zu rechnen ist, empfiehlt sich daher der Einsatz von schwarz eingefärbten Celanex-Typen. Aus den Abb. 32 und 33 sind die Bruchspannungs- und Izod-Kerbschlagzähigkeitswerte nach 12monatiger natürlicher Bewitterung ersichtlich.

#### 4.6 Brandverhalten

Zur Charakterisierung des Verhaltens von Polymeren bei Einwirkung von Flammen oder glühenden Gegenständen gibt es eine Vielzahl von Normen und Prüfverfahren.

Die Ergebnisse der Glühdrahtprüfung, die an Celanex-, Vandar- und Impet-Typen durchgeführt wurde, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die meisten Celanex- und einige Vandar-Typen sind bei Underwriters Laboratories untersucht worden. Die Tabelle der UL-Listungen sind im beigefügten Falblatt enthalten.

Flammwidrig ausgerüstete Celanex-Typen erreichen die Einstufung V-0 zum Teil bereits bei Wanddicken von 0,4 mm bei bis zu 50 % Regeneratzusatz. Einige Typen erreichen auch die Einstufung UL 94-5 VA.

#### 4.7 Verhalten gegenüber energiereicher Strahlung

Die Polyester-Typen sind gegen energiereiche Strahlung relativ gut beständig. Erst bei einer absorbierten Energie von 100 kJ/kg tritt ein stärkerer Abbau ein.

Die Eignung muß durch Praxistests im Einzelfall nachgewiesen werden.

#### 4.8 Medizinisch-pharmazeutische Anwendungen

Da bei medizintechnischen Anwendungen besondere Ansprüche an die eingesetzten Materialien gestellt und im In- und Ausland differenzierte gesetzliche Bestimmungen erfüllt werden müssen, hat Ticona technische Kunststoffe speziell für den Healthcare-Bereich optimiert.

Günstige Testresultate ausgedehnter Testprogramme zur Bioverträglichkeit für die Celanex-Basispolymere machen die besondere Eignung dieser Polyester für die Medizintechnik deutlich. Das Material ist auch in Drug Master Files und Device Master Files der FDA gelistet.

Typ	Beschreibung
2401MT	Unverstärkter Standard-Typ
2402MT	Unverstärkt, verbesserte Fließfähigkeit
2403MT	Unverstärkt, höhere Kristallisationsgeschwindigkeit, schnellere Zykluszeiten
2404MT	PTFE-modifiziert, verbesserte Reib- und Gleiteigenschaften

Weitere Informationen sind in der Produkt-Info „Neue Kunststofftypen für die Medizin- und Labortechnik“ (B 281 D) zusammengefaßt. Auf Anfrage senden wir Ihnen diese gerne zu.

**Tabelle 2: Chemikalienbeständigkeit von unverstärktem und glasfaserverstärktem Celanex, von unverstärktem Vandar und von glasfaserverstärktem Impet – Übersicht**

Diese Angaben sind an Laborprobekörpern ermittelte Daten und können nur als Richtwerte dienen.  
Die Beständigkeit eines Formteils gegenüber einem bestimmten Medium muß unter Praxisbedingungen geprüft werden.

Zeichenerklärung:

+ = beständig (keine oder nur geringe Gewichtsveränderungen)

/ = bedingt beständig (kurzzeitiger Kontakt mit dem Medium möglich)

- = nicht beständig (Gewichtsveränderung über 5%, starke Abnahme der mechanischen Eigenschaftswerte)

Prüfdauer: 30 Tage.

Die Klammerwerte beziehen sich auf abweichende Chemikalienbeständigkeit bei verstärktem Celanex.

Medium <sup>1)</sup>	Celanex		Vandar		Impet	
	23 °C	60 °C	23 °C	60 °C	23 °C	60 °C
Aceton	+ (/)	-	+	-	/	
Allylalkohol	+					
Ameisensäure (10 %ig)	+	/	+	/	+	
Ammoniak (10 %ig)	/	-	/	-	+	
Amylacetat	+	-				
Benzin, normal und bleifrei	+	/	+	/	+	/
Benzin, Super	+	/	+	/	+	/
Benzol	+	-	+	-	+	
Bremsflüssigkeit	+	+	+	+	+	+
Butan	+		+			
Butandiol-1,4	+	/				
Butanol	+	/	+	/		
Butylacetat	+	+	+	+		
n-Butylether	+					
Calciumchlorid (10 %ig)	+	+ (/)	+	+		
Calciumhypochlorit	+	+				
Chlorbenzol	-	-	-	-		
Chloroform	-	-	-	-		
Dibutylphthalat	+	/	+	/		
1,2-Dichlorethan	-		-			
Dieselloil	+	+	+	+	+	
Diethylether	+		+		+	
Dioxan	+	-	+	-		
Essigsäure (5 %ig)	+	/				
Essigsäure (10 %ig)	+	/	/	/	+	/
Essigsäure (100 %ig)	-	-	-	-	/	
Ethanol	+	/	+	/	+	
Ethylacetat	+ (/)	-	/	-	/	
Ethylenglykol	+	/	+	/	+	/

**Fortsetzung Tabelle 2: Chemikalienbeständigkeit von unverstärktem und glasfaserverstärktem Celanex, von unverstärktem Vandar und von glasfaserverstärktem Impet – Übersicht**

Diese Angaben sind an Laborprobekörpern ermittelte Daten und können nur als Richtwerte dienen.  
Die Beständigkeit eines Formteils gegenüber einem bestimmten Medium muß unter Praxisbedingungen geprüft werden.

Prüfdauer: 30 Tage.

Die Klammerwerte beziehen sich auf abweichende Chemikalienbeständigkeit bei verstärktem Celanex.

Medium <sup>1)</sup>	Celanex		Vandar		Impet	
	23 °C	60 °C	23 °C	60 °C	23 °C	60 °C
Fluorkohlenwasserstoffe	+		+	+		
Fluorwasserstoffsäure (5%ig)	+ (/)	/ (-)				
Fluorwasserstoffsäure (10%ig)	/ (-)	/ (-)	/	/		
Glycerin	+	+ (/)	+	+	+	
Heptan	+	+	+	+		
Hexan	+	+	+	+	+	
Hydrauliköl	+	+	+	+	+	+
Isopropanol	+	/	+	/	+	
Kaliumchlorid (10%ig)	+	+ (/)	+	+		
Kaliumdichromat (10%ig)	+	+	+	+		
Kaliumhydroxid (1%ig)	+ (-)	/ (-)				
Kaliumhydroxid (10%ig)	/ (-)	-	-	-	-	
Kaliumpermanganat (10%ig)	+	/	+	/		
Kernseife	+	+	+	+		
Kerosin	+	+	+	+		
Kresol	-	-	-	-		
Leinöl	+	+	+	+		
Methanol	+	/	+	/	+	/
Methylenchlorid	-		-		-	
Methylethylketon	+ (-)	/	+	/		
Mineralöle	+	+	+	+		
Motorenöle	+	+	+	+	+	+
Natriumcarbonat (10%ig)	+	+	+	+	+	+
Natriumchlorid (10%ig)	+	+	+	+		
Natriumhydrogensulfit (10%ig)	+	+	+	+		
Natriumhydroxid (1%ig)	+ (-)	/ (-)				
Natriumhydroxid (10%ig)	/ (-)	-	-	-	-	
Natriumhypochlorit (10%ig)	+	+ (/)				
Oktan	+	+	+	+		
Olivenöl	+	+	+	+		
Paraffinöl	+	+	+	+		
Perchlorethylen	+	/	/	-		

**Fortsetzung Tabelle 2: Chemikalienbeständigkeit von unverstärktem und glasfaserverstärktem Celanex, von unverstärktem Vandar und von glasfaserverstärktem Impet – Übersicht**

Diese Angaben sind an Laborprobekörpern ermittelte Daten und können nur als Richtwerte dienen.  
Die Beständigkeit eines Formteils gegenüber einem bestimmten Medium muß unter Praxisbedingungen geprüft werden.

Prüfdauer: 30 Tage.

Die Klammerwerte beziehen sich auf abweichende Chemikalienbeständigkeit bei verstärktem Celanex.

Medium <sup>1)</sup>	Celanex		Vandar			Impet	
	23 °C	60 °C	23 °C	60 °C	23 °C		60 °C
Petroleum	+	+	+	+			
Pflanzenöle	+	+	+	+			
Phenol (10 %ig)	-	-	-	-			
Phosphorsäure (20 %ig)	+	/	+	/			
Salpetersäure (10 %ig)	+	/	+	/			
Salpetersäure konz.	-	-	-	-			
Salzsäure (10 %ig)	+	/	+	-	+		
Salzsäure konz.	-	-	-	-			
Schmierfette	+	+	+	+	+		+
Schwefelkohlenstoff	+		+				
Schwefelsäure (10 %ig)	+	-	+	-	+		
Schwefelsäure konz.	-	-	-	-			
Seifenlauge (10 %ig)	+	+ (-)	+	/			
Silikonöle	+	+	+	+			
Terpentinöl	+		+				
Tetrachlorkohlenstoff	+		+				
Tetrahydrofuran	/		-				
Toluol	+	-	/	-	+		
Transformatoröl	+	+	+	+			
Trichlorethylen	/	-	/	-			
Vaseline	+	+	+	+			
Waschmittel, synthetisch	+	+ (/)	+	+			
Wasser	+	+			+		+
Wasserstoffperoxid (5 %ig)	+	/					
Wasserstoffperoxid (35 %ig)	+	/					
Xylol	+	-	/	-	+		
Zitronensäure (10 %ig)	+	/	+	/			

<sup>1)</sup> Prozentangaben beziehen sich auf wäßrige Lösungen (Gew.-%)

## 5. Verarbeitung

### 5.1 Materialvorbereitung

Celanex, Vandar und Impet werden in Folien- oder Mehrlagensäcken geliefert. Vor der Verarbeitung ist das Material zu trocknen, um optimale Eigenschaften der Formteile zu erreichen. Der Feuchtigkeitsgehalt von Neuware und von Mahlgut (Regenerat) darf bei der Verarbeitung nicht höher als 0,02 % bei Celanex und Vandar bzw. 0,01 % bei Impet sein. Höhere Feuchtigkeitsgehalte führen zu einem hydrolytischen Abbau der Schmelze und zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Zähigkeit, der Formteile.

Der Fülltrichter der Verarbeitungsmaschine sollte während des Verarbeitungsvorganges verschlossen werden; eine Beheizung des Trichters kann vorteilhaft sein.

### 5.2 Regeneratzusatz

Einwandfreies, sortenreines Regenerat kann in trockenem Zustand bis zu einem Anteil von 20 % der Originalware zugesetzt werden. Bei den Celanex-Typen 2016, 3116, 3216 und 3316 erlaubt UL einen Regeneratzusatz bis zu 50 %. Die Eigenschaften der so hergestellten Formteile, insbesondere die mechanischen Eigenschaften, sind jedoch zu überprüfen.

### 5.3 Parameter beim Spritzgießen

Die bevorzugte Verarbeitung ist das Spritzgießen, eine Extrusionsverarbeitung ist jedoch ebenfalls möglich. Schußvolumen und Zylindervolumen sind so aufeinander abzustimmen, daß eine Verweilzeit der Masse in der Plastifiziereinheit von 5 bis 10 Minuten je nach gewähltem Temperaturprofil nicht überschritten wird. Bei längeren Verweilzeiten durch Unterbrechungen während der Verarbeitung ist die in der Plastifiziereinheit verbliebene Schmelze vor dem Wiederaufahren abzupumpen.

Die Fließfähigkeit der Schmelze ist bei allen Polyester-Typen sehr gut. Die Verarbeitungsbedingungen für Celanex, Impet und Vandar sind in Abb. 34 bis 37 dargestellt. Temperaturen oberhalb 270 °C sind bei Celanex und Vandar wegen der Gefahr einer thermischen Schädigung der Schmelze zu vermeiden. Bei Typen, die Flammenschutzmittel enthalten, sollte eine obere Temperatur von 265 °C nicht überschritten werden (siehe Abb. 35).

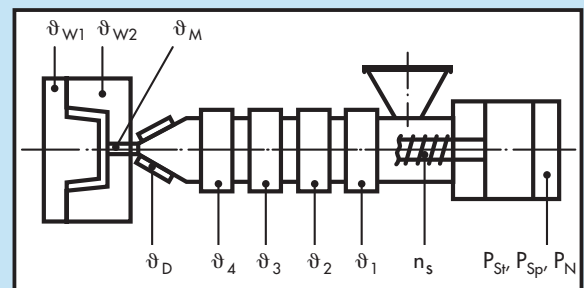
Bei Impet empfehlen sich Massetemperaturen zwischen 270 und 290 °C. Temperaturen oberhalb 295 °C können die Schmelze thermisch schädigen.

Einspritzgeschwindigkeit sowie Spritz- und Nachdruck sollten der jeweiligen Artikelgeometrie angepaßt werden. Im allgemeinen sind wegen der hohen Erstarrungs- und Kristallisationsgeschwindigkeit kurze Produktionszyklen zu erzielen. Insbesondere dünnwandige Teile sind mit

- hohen Spritzgeschwindigkeiten und
- hohem Spritzdruck

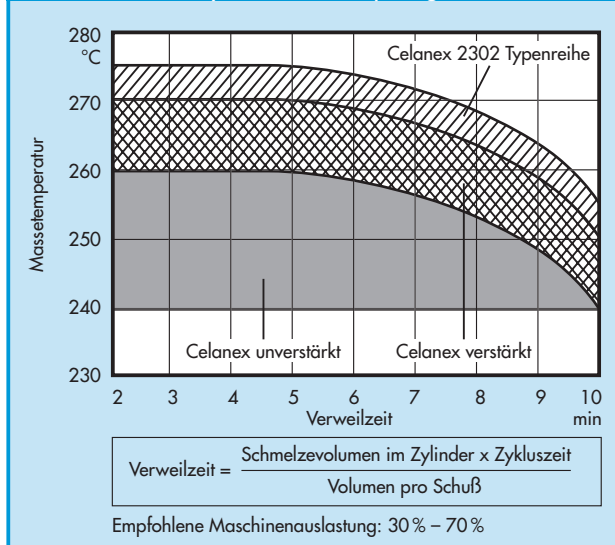
zu fertigen, um ein Erstarren der Schmelze schon während des Formfüllvorganges und damit schlechte Oberflächen zu vermeiden. Weiterhin ist ein mittlerer bis hoher Nachdruck zu empfehlen, um Einfallstellen auszuschließen. Auf eine gute Entlüftung des Werkzeugs ist zu achten.

Abb. 34: Verarbeitungsbedingungen für Celanex



Verarbeitungsbedingungen für Celanex			
	Unverstärkte Typen	Verstärkte Typen	Cx 2302/2303 Typenreihe
$\vartheta_1$	= 240 – 250 °C	250 – 260 °C	250 – 260 °C
$\vartheta_2$	= 240 – 250 °C	250 – 260 °C	250 – 260 °C
$\vartheta_3$	= 245 – 255 °C	255 – 265 °C	260 – 270 °C
$\vartheta_4$	= 245 – 255 °C	255 – 265 °C	260 – 270 °C
$\vartheta_D$	= 250 – 260 °C	260 – 270 °C	265 – 275 °C
$\vartheta_M$	= 250 – 260 °C	260 – 270 °C	265 – 275 °C
$\vartheta_{W1}, \vartheta_{W2}$	= 75 – 85 °C	75 – 100 °C	90 – 120 °C
Maximale Verweilzeit im Zylinder: 5–10 min (siehe Abb. 35)			
$P_{Sp}$	= 600 – 1000 bar		
$P_N$	= 400 – 800 bar		
$P_{St}$	= 10 – 30 bar		
Einspritzgeschwindigkeit: hoch			
Düsenbauart: vorzugsweise offen			
Vortrocknung des Materials:			
$\vartheta_{Tr}$	= 120 bis 140 °C, 2–4 h, $\leq 0,02\%$		
Trocknung im Trockenlufttrockner			
$\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_D$	°C	Zylindertemperaturen, Düsentemperatur	
$\vartheta_M$	°C	Massetemperatur	
$\vartheta_{W1}, \vartheta_{W2}$	°C	Werkzeugwandtemperaturen	
$n_s$	min <sup>-1</sup>	Schneckendrehzahl	
$P_{St}$	bar	Staudruck	
$P_{Sp}$	bar	Spritzdruck	
$P_N$	bar	Nachdruck	

**Abb. 35:** Spritzgießverarbeitung von Celanex  
Zuverlässige Verweilzeit von Celanex  
im Plastifizierzylinder einer Spritzgießmaschine



In Abb. 38 ist die Schneckenumfangsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl für verschiedene Schneckendurchmesser dargestellt. Bei Standardschnecken sollten Umfangsgeschwindigkeiten von 0,1 bis 0,3 (0,5) m/s nicht überschritten werden.

Bei den glasfaserverstärkten Polyester-Typen empfiehlt es sich, für den weitgehenden Erhalt der eingesetzten Glasfaserlänge und der damit verbundenen mechanischen Festigkeiten, bei niedriger Schneckendrehzahl und bei keinem oder sehr geringem Staudruck zu verarbeiten.

Für Teile mit besonders hohen Anforderungen an die Maßhaltigkeit ist bei Celanex je nach Typ eine Werkzeugwandtemperatur von 80 bis 110°C zu empfehlen.

### 5.4 Fließfähigkeit

Die Fließfähigkeit der Schmelze wird praxisnah in einem Spiraltest ermittelt.

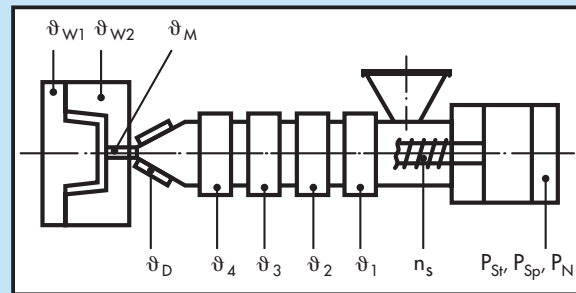
Unverstärktes Celanex bzw. Vandar zeigt im Vergleich zu verstärktem die größere Fließweglänge und somit die bessere Fließfähigkeit. Der Einfluß der Wanddicke und des Spritzdruckes ist

für Celanex den Abb. 39 bis 50

und für Vandar den Abb. 51 bis 53

zu entnehmen.

**Abb. 36:** Verarbeitungsbedingungen für Impet



Verarbeitungsbedingungen für Impet

- $\vartheta_1$  = 260 – 270 °C
- $\vartheta_2$  = 270 – 280 °C
- $\vartheta_3$  = 280 – 290 °C
- $\vartheta_4$  = 280 – 290 °C
- $\vartheta_D$  = 270 – 290 °C
- $\vartheta_M$  = 270 – 290 °C
- $\vartheta_{W1}, \vartheta_{W2}$  = 135 – 145 °C

Maximale Verweilzeit im Zylinder: 5–10 min

- $P_{Sp}$  = 600 – 900 bar
- $P_N$  = 300 – 500 bar
- $P_{St}$  = 10 – 20 bar

Einspritzgeschwindigkeit: hoch

Düsenbauart: vorzugsweise offen

Vortrocknung des Materials:

- $\vartheta_{Tr}$  = 120 bis 140°C, 2–4 h,  $\leq 0,02\%$   
Trocknung im Trockenlufttrockner

- $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_D$  °C Zylindertemperaturen, Düsentemperatur
- $\vartheta_M$  °C Massetemperatur
- $\vartheta_{W1}, \vartheta_{W2}$  °C Werkzeugwandtemperaturen
- $n_s$  min<sup>-1</sup> Schneckendrehzahl
- $P_{St}$  bar Staudruck
- $P_{Sp}$  bar Spritzdruck
- $P_N$  bar Nachdruck

**Abb. 37:** Verarbeitungsbedingungen für Vandar

Verarbeitungsbedingungen für Vandar

	Unverstärkte Typen	Verstärkte Typen	Vandar 9116
$\vartheta_1$	= 190 – 200 °C	190 – 200 °C	190 – 200 °C
$\vartheta_2$	= 210 – 220 °C	220 – 230 °C	200 – 210 °C
$\vartheta_3$	= 220 – 230 °C	230 – 240 °C	220 – 230 °C
$\vartheta_4$	= 230 – 240 °C	240 – 250 °C	220 – 230 °C
$\vartheta_D$	= 240 – 250 °C	250 – 265 °C	240 – 250 °C
$\vartheta_M$	= 240 – 250 °C	250 – 265 °C	240 – 260 °C
$\vartheta_{W1}, \vartheta_{W2}$	= 70 – 85 °C	75 – 85 °C	30 – 50 °C

Maximale Verweilzeit im Zylinder: 5–10 min

- $P_{Sp}$  = 600 – 900 bar
- $P_N$  = 300 – 500 bar
- $P_{St}$  = 10 – 20 bar

Einspritzgeschwindigkeit: hoch

Düsenbauart: vorzugsweise offen

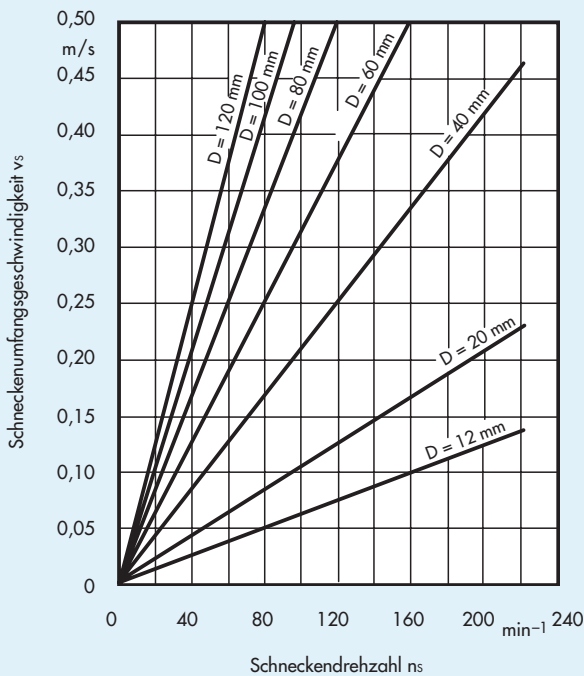
Vortrocknung des Materials:

- $\vartheta_{Tr}$  = 120 bis 140°C, 2–4 h,  $\leq 0,02\%$   
Trocknung im Trockenlufttrockner

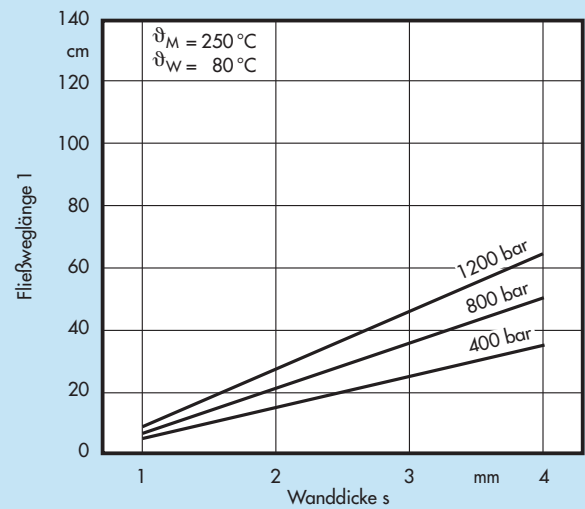
- $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_D$  °C Zylindertemperaturen, Düsentemperatur
- $\vartheta_M$  °C Massetemperatur
- $\vartheta_{W1}, \vartheta_{W2}$  °C Werkzeugwandtemperaturen
- $n_s$  min<sup>-1</sup> Schneckendrehzahl
- $P_{St}$  bar Staudruck
- $P_{Sp}$  bar Spritzdruck
- $P_N$  bar Nachdruck

Bei Werkzeugauslegungen ist nur mit dem 0,7 bis 0,8fachen der experimentell ermittelten Fließweglänge zu rechnen, um ausreichend hohe Forminnendrucke zu erreichen.

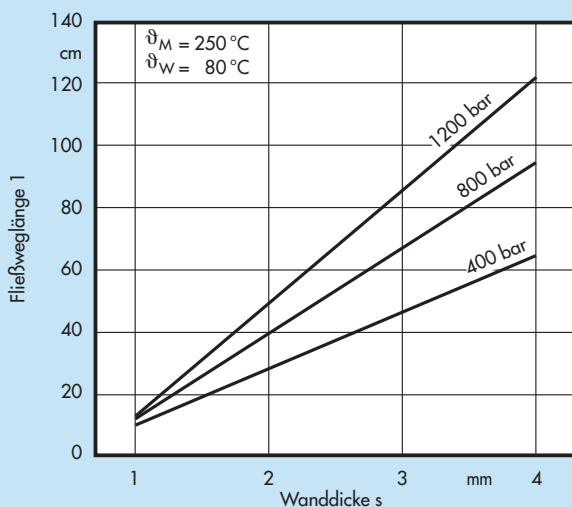
**Abb. 38** · Schneckenumfangsgeschwindigkeit  $v_s$  in Abhängigkeit von Schneckenendrehzahl  $n_s$  und Schneekendurchmesser  $D$



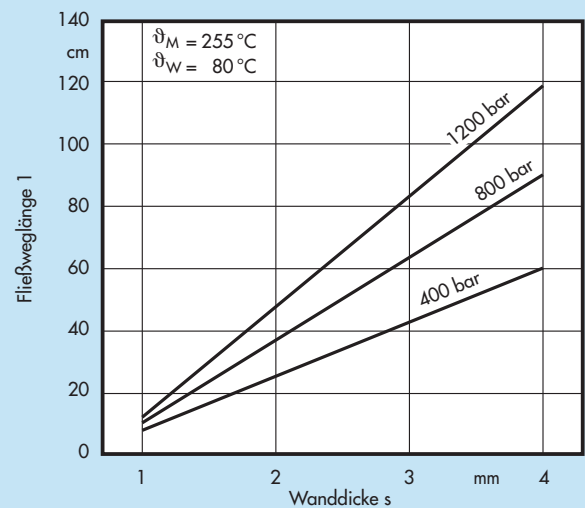
**Abb. 40**: Fließweglänge von Celanex 1600 A als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



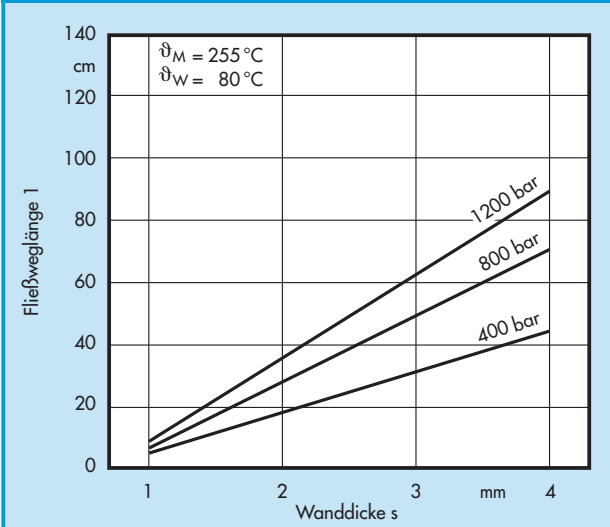
**Abb. 39**: Fließweglänge von Celanex 2500 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



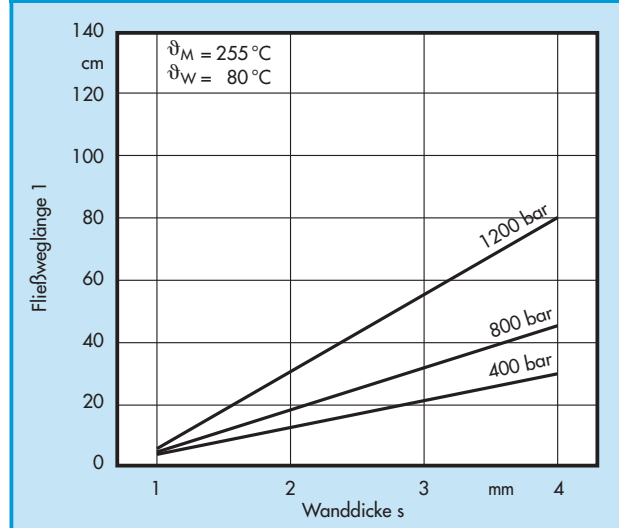
**Abb. 41**: Fließweglänge von Celanex 2300 GV1/10 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



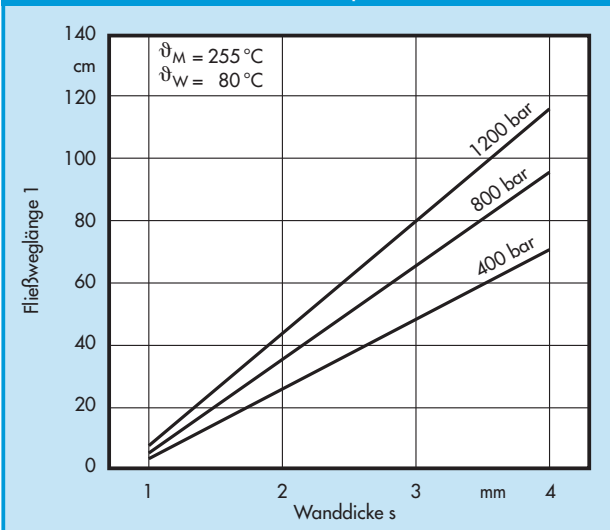
**Abb. 42:** Fließweglänge von Celanex 2300 GV1/20 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



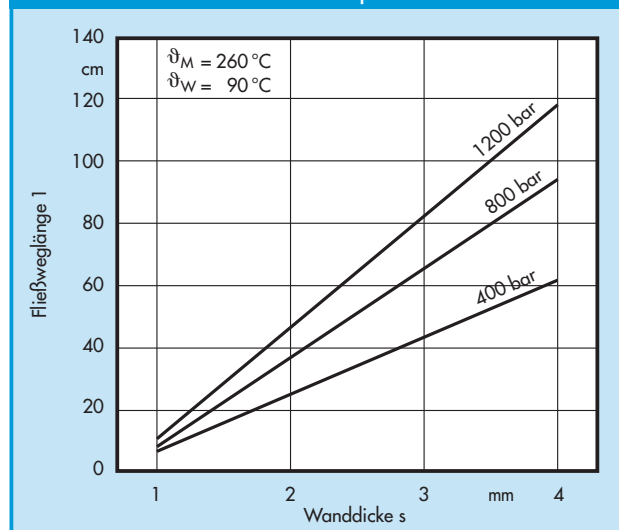
**Abb. 44:** Fließweglänge von Celanex 2300 GV1/50 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



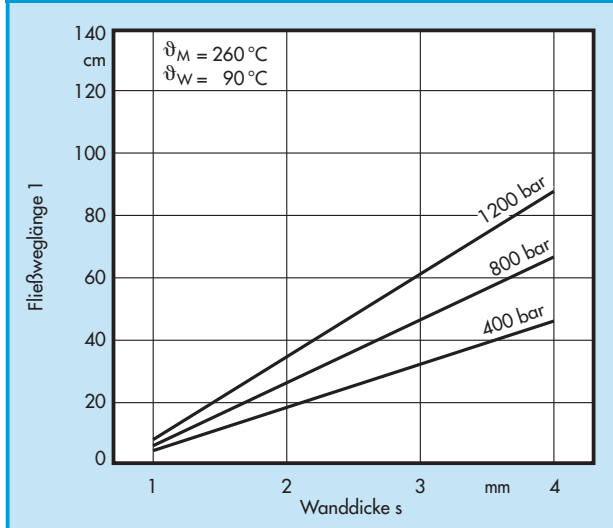
**Abb. 43:** Fließweglänge von Celanex 3300-2 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



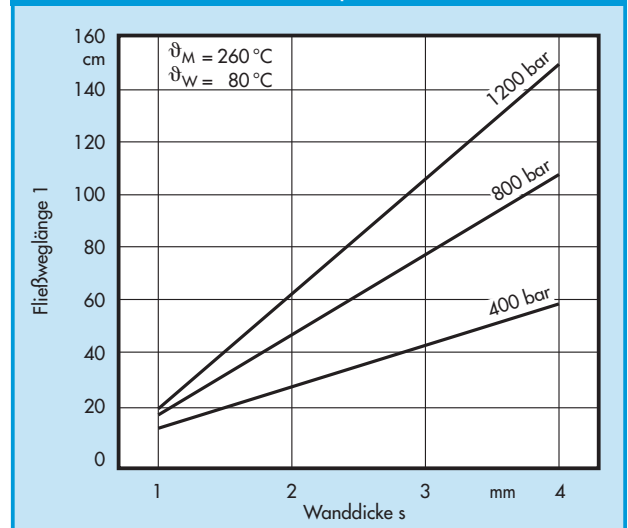
**Abb. 45:** Fließweglänge von Celanex 2302 GV1/15 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



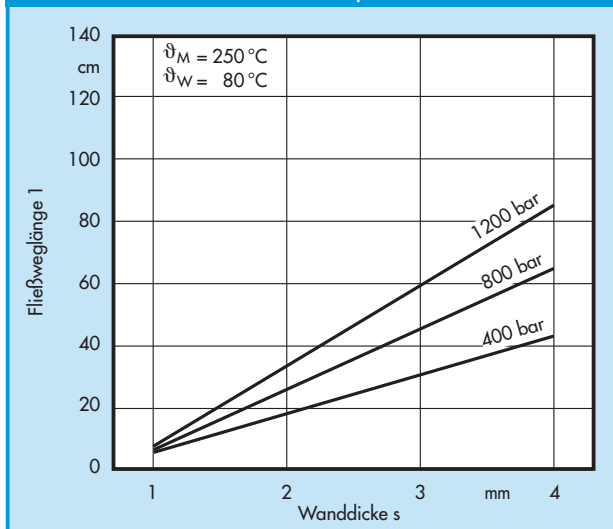
**Abb. 46:** Fließweglänge von Celanex 2302 GV1/30 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



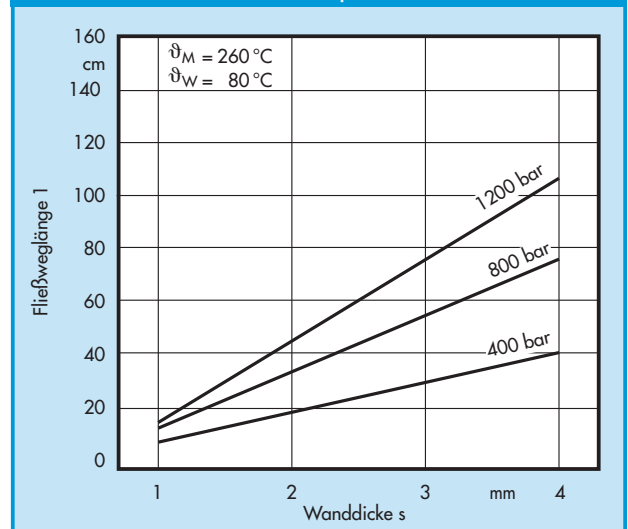
**Abb. 48:** Fließweglänge von Celanex 3314 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



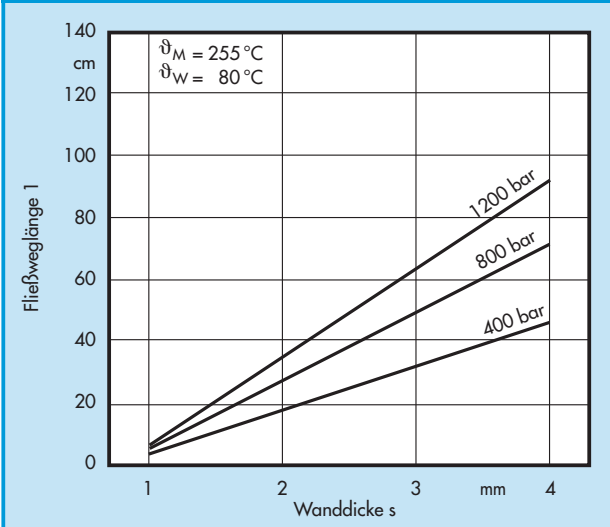
**Abb. 47:** Fließweglänge von Celanex 2300 GV3/20 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



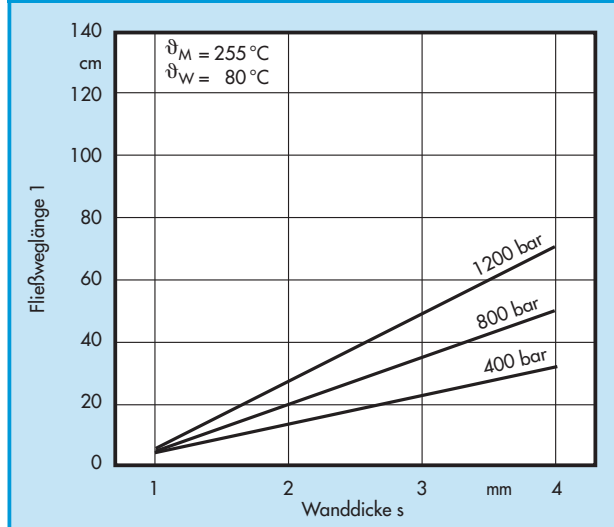
**Abb. 49:** Fließweglänge von Celanex 3316 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



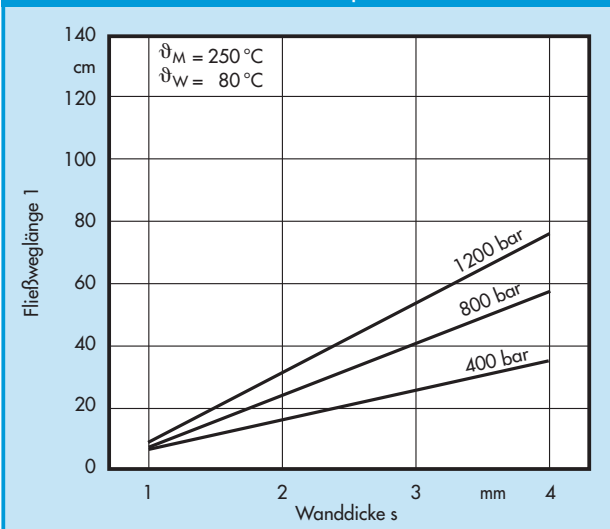
**Abb. 50:** Fließweglänge von Celanex J 600 und 6400-2 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



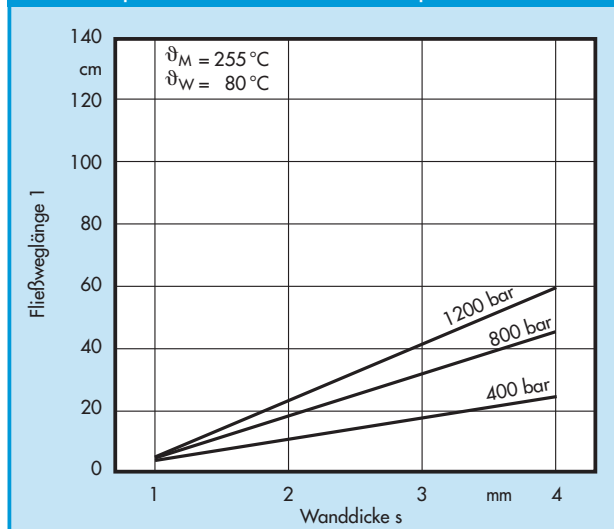
**Abb. 52:** Fließweglänge von Vandar 4612 R als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



**Abb. 51:** Fließweglänge von Vandar 4602 Z und 8000 als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



**Abb. 53:** Fließweglänge von Vandar 4632 Z und 4662 Z als Funktion der Wanddicke der Testspirale bei verschiedenen Spritzdrücken



### 5.5 Fließnahtfestigkeit

Die Fließnahtfestigkeit lässt sich durch den Vergleich der mechanischen Eigenschaften einseitig und zwei-seitig angespritzter Probekörper bestimmen. Aus der im Zugversuch ermittelten Bruchspannung geht hervor, daß bei unverstärktem Celanex kein Bruch in der Fließnaht erfolgt und somit am beidseitig angespritzten Zugstab eine ebenso hohe Bruch-

spannung wie am einseitig angespritzten gemessen wird.

Bei unverstärktem Vandar ist dagegen mit einer Ab-nahme der Bruchspannung bei beidseitig angespritztem Zugstab von 10 bis 20 % zu rechnen.

Bei Glasfaserverstärkung sinkt die Bruchspannung im Vergleich zum einseitig angespritzten Probekörper

auf 40 bis 60 % des Ausgangswertes ab. Der Lage einer Fließnaht muß daher bei diesen Formmassen bereits bei der Artikelkonstruktion Rechnung getragen werden.

### 5.6 Schwindung

Bei der Schwindung unterscheidet man zwischen Verarbeitungsschwindung VS und Nachschwindung NS. Die Summe aus Verarbeitungsschwindung VS und Nachschwindung NS wird als Gesamtschwindung GS bezeichnet.

Die Verarbeitungsschwindung der Polyester-Typen ist abhängig von der Wanddicke der Formteile, der Werkzeugwand- und Masstemperatur, der Anschnittgestaltung und den Spritzbedingungen (Einspritzgeschwindigkeit, Spritzdruck, Nachdruck):

Celanex: Abb. 54 bis 58,  
Vandar: Abb. 59.

Die Verarbeitungsschwindung wurde nach 24-stündiger Lagerung bei Raumtemperatur gemessen. Die Nachschwindung (und damit die Gesamtschwindung) wurde nach 2-stündiger Lagerung bei 140°C ermittelt.

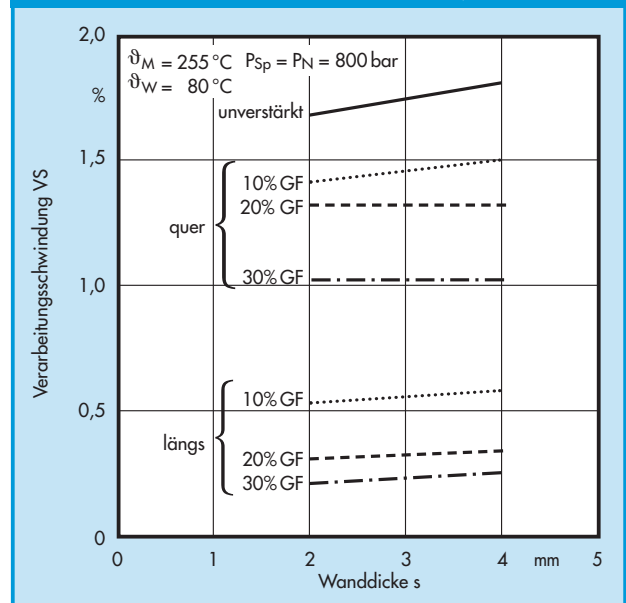
Die Verarbeitungsschwindung bei den unverstärkten Polyester-Typen ist nahezu unabhängig von der Fließrichtung (längs, quer) und nimmt mit steigender Wanddicke zu. Bei glasfaserverstärktem Polyester ist die Schwindung abhängig von der Fließrichtung. Sie ist in Fließrichtung, d. h. längs zur Glasfaserorientierung deutlich niedriger als in Querrichtung. Diese Anisotropie kann zu einem Verzug des Formteils führen, der sich häufig durch Verlegen des Anschnitts und durch kunststoffgerechtes Gestalten des Formteils minimieren läßt. Der Verzug wird auch durch Angußart und Werkzeugwandtemperatur beeinflusst. Es sind allseits möglichst gleiche Wanddicken des Formteils anzustreben.

Mit steigender Werkzeugwandtemperatur nimmt die Verarbeitungsschwindung zu, die Nachschwindung dagegen ab (Abb. 60 bis 62).

Für Bauteile mit besonders hohen Anforderungen an die Maßhaltigkeit, ist je nach Celanex-Typ eine Werkzeugwandtemperatur von 80 bis 120°C zu empfehlen.

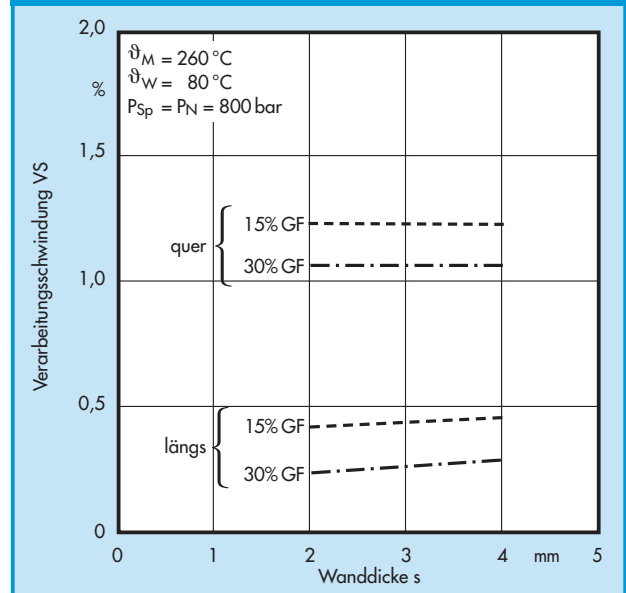
**Abb. 54:** Verarbeitungsschwindung VS als Funktion der Wanddicke für folgende Celanex-Typen:

unverstärkt: Celanex 2500  
10% GF: Celanex 2300 GV1/10  
20% GF: Celanex 2300 GV1/20  
30% GF: Celanex 2300 GV1/30

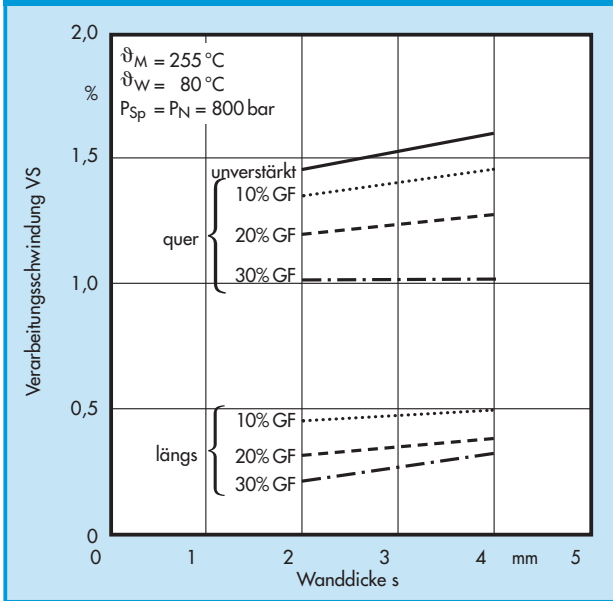


**Abb. 55:** Verarbeitungsschwindung VS als Funktion der Wanddicke von leichtfließenden glasfaserverstärkten Celanex-Typen:

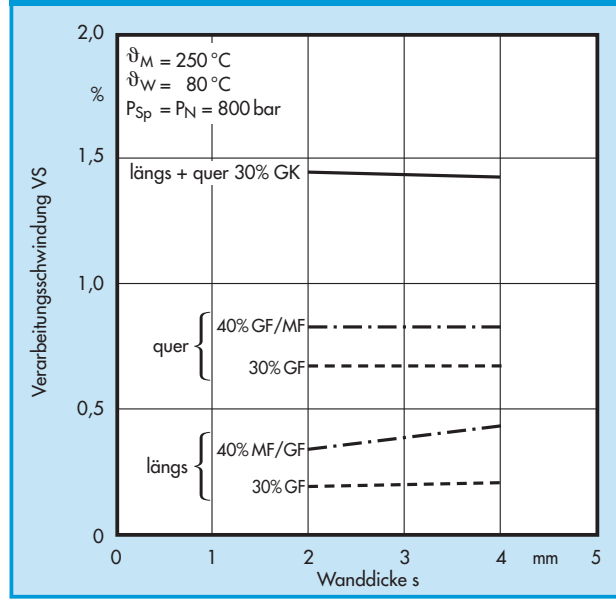
15% GF: Celanex 3200  
30% GF: Celanex 3300



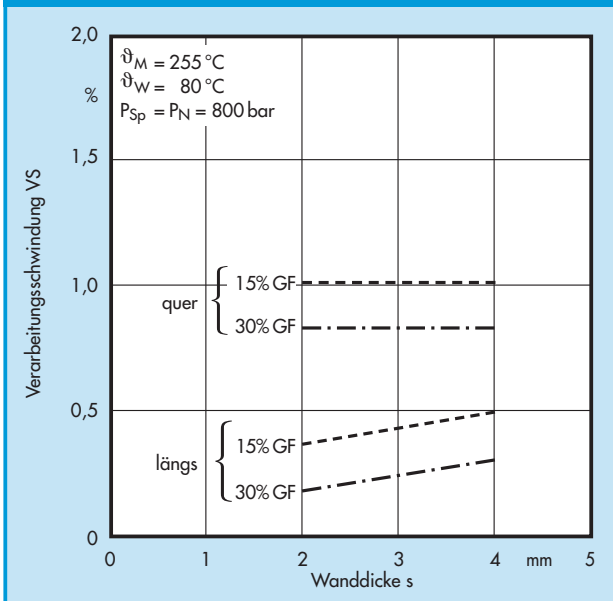
**Abb. 56:** Verarbeitungsschwindigkeit VS als Funktion der Wanddicke für flammhemmend ausgerüstete Celanex-Typen: unverstärkt: 2360 FL  
 10% GF: Celanex 2360 GV1/10 FL  
 20% GF: Celanex 2360 GV1/20 FL  
 30% GF: Celanex 2360 GV1/30 FL



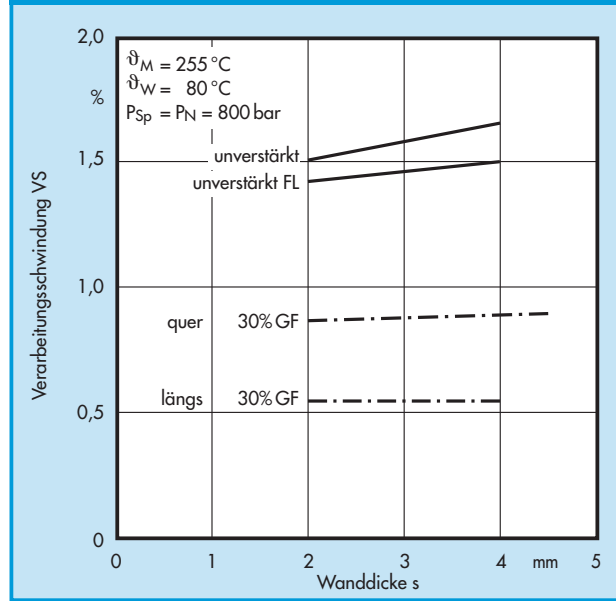
**Abb. 58:** Verarbeitungsschwindigkeit VS als Funktion der Wanddicke von verzugsreduzierten Celanex-Typen: 30% GF: Celanex 733 LD  
 30% GK: Celanex 2300 GV3/30  
 40% GF/MF: Celanex J600



**Abb. 57:** Verarbeitungsschwindigkeit VS als Funktion der Wanddicke Celanex-Typen mit erhöhtem Oberflächenglanz: 15% GF: Celanex 2302 GV1/15  
 30% GF: Celanex 2302 GV1/30

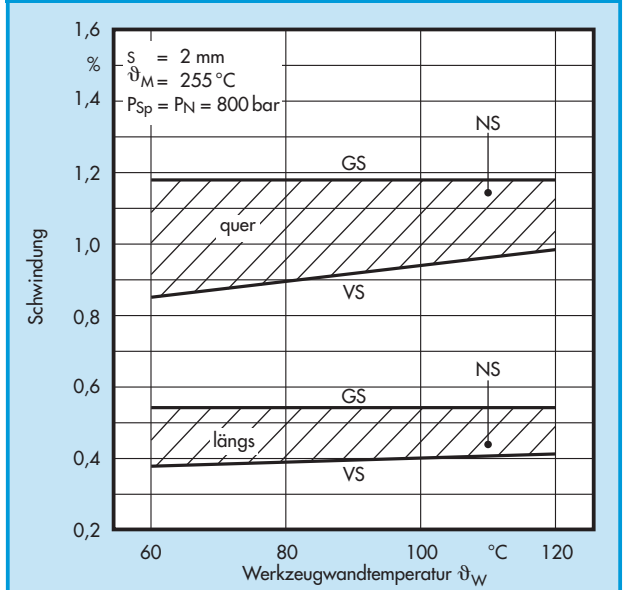


**Abb. 59:** Verarbeitungsschwindigkeit VS als Funktion der Wanddicke von folgenden Vandar-Typen: unverstärkt: Vandar 4602 Z  
 unverstärkt, flammhemmend ausgerüstet: Vandar 8000 30% GF: Vandar 4662 Z

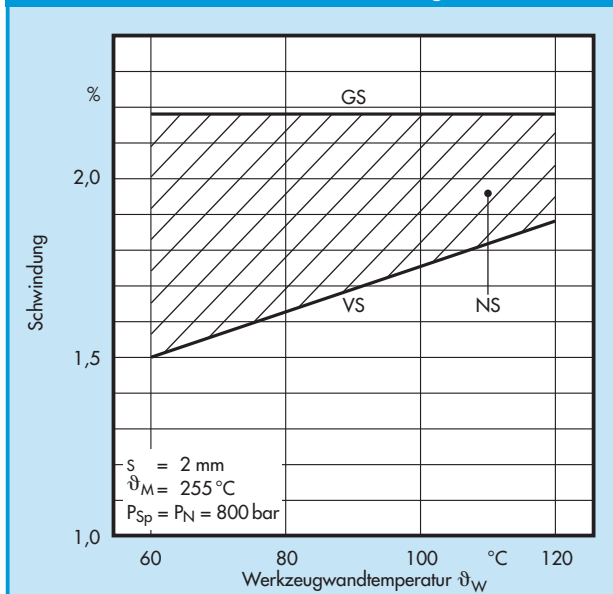


Die in den Abb. 54–59 dargestellten Verarbeitungsschwindungswerte wurden 24 h nach der Entformung der Spritzkörper gemessen. Die Nachschwindung bei Raumtemperatur ist nach 36 Stunden bei RT oder 2 h bei 140 °C relativ abgeschlossen. Für unverstärkte PBT's kann diese Nachschwindung zusätzlich bis zu 0,5 % betragen, bei glasfaserverstärkten Typen bis zu 0,2 %. Die Nachschwindung bei höherer Lager- oder Prüftemperaturen muss empirisch am Baumteil ermittelt werden. Die Abbildungen 60–62 zeigen Beispiele der Gesamtschwindung in Abhängigkeit der Werkzeugwandtemperatur.

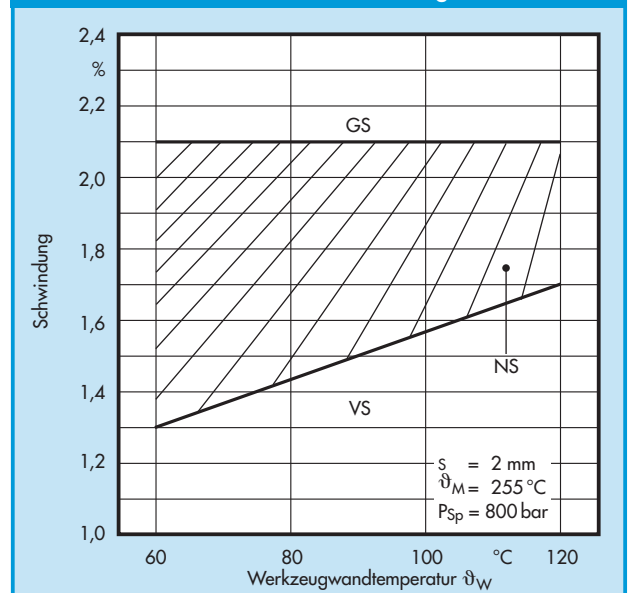
**Abb. 61:** Verarbeitungsschwindung VS und Gesamtschwindung GS von Celanex 3200-2 als Funktion der Werkzeugwandtemperatur, NS = Nachschwindung



**Abb. 60:** Verarbeitungsschwindung VS und Gesamtschwindung GS von Celanex 2500 als Funktion der Werkzeugwandtemperatur, NS = Nachschwindung



**Abb. 62:** Verarbeitungsschwindung VS und Gesamtschwindung GS von Celanex 2360 FL als Funktion der Werkzeugwandtemperatur, NS = Nachschwindung



## 5.7 Mögliche Schwierigkeiten und ihre Behebung beim Spritzgießen von Celanex, Impet und Vandar

Maßnahmen Probleme	Zylinder- temperatur	Düsen- temperatur	Werkzeugwand- temperatur	Einspritz- geschwindigkeit	Spritzdruck	Nachdruck	Staudruck	Schnecken- drehzahl	Kühlzeit	Anguß, Anschnitt	Anschnitt verlegen	Material vortrocknen	Düsendurch- messer	Entlüftung
Sprödigkeit	-		+				-	-		+		x	+	
Verfärbung	-	-		-			-	-		+			+	x
Matte Stellen	+	+	+	+	+			+			x			x
Einfallstellen oder Lunker	x	x	+	+	+	+	+	-	+	+		x	+	
Fließnähte	+		+	+	+	+	+	+		+	x			x
Unvollständige Formfüllung	+	+	+	+	+	+	+			+			+	x
Gratbildung	-		-	-	-	-	-	-						
Haften der Angüsse			+/-		-	-			+/-	+				
Haften der Formteile	-		+/-	-	-	-			+/-					
Verzug			x		x	x			+	+	x			

+ bedeutet: Erhöhen bzw. Vergrößern

- bedeutet: Verringern

x bedeutet: Kontrollieren

## 5.8. Spritzgießen-Sonderverfahren

Celanex- und Impet-Typen lassen sich problemlos mittels GID und MuCell-Spritzgußverfahren verarbeiten. Für MuCell-Verfahren wurden im Ticona-Technium für die wichtigsten Polyestertypen Werkstoffkennwerte ermittelt, die bei Bedarf dem Kunden zur Verfügung stehen.

## 6. Weiterverarbeitung

### 6.1 Spanende Bearbeitung

Halbzeug und Formteile aus Celanex, Vandar und Impet lassen sich gut spanend bearbeiten. Verwendbar sind Werkzeuge und Zerspanungsmaschinen, wie sie auch für die Metall- und Holzbearbeitung gebräuchlich sind. Aufgrund der hohen Erweichungstemperatur neigen die Polyester-Typen nicht zum Schmieren. Es kann deshalb auf eine zusätzliche Kühlung während des Zerspanungsvorganges verzichtet werden.

Beim Bohren sollten Schnittgeschwindigkeiten von 50 bis 60 m/min bei 0,5 mm Vorschub/U und beim Drehen und Fräsen Schnittgeschwindigkeiten von 250 bis 400 m/min bei 0,2 mm Vorschub/U nicht überschritten werden.

Weitere Hinweise siehe auch VDI-Richtlinie 2003.

### 6.2 Fügen von Formteilen und Halbzeug

Im Zuge der Rationalisierung und der wirtschaftlichen Herstellung von Kunststoffbaugruppen gewinnt die Fügetechnik in zunehmendem Maße an Bedeutung. Aus fertigungs- und montagetechnischen Gründen ist es erforderlich, Formteile nachträglich miteinander zu verbinden. Formteile aus Celanex, Vandar und Impet können rationell und mechanisch beanspruchbar verbunden werden. Für das Verbinden eignen sich unterschiedliche Verfahren, die in der Schriftenreihe „Berechnen, Gestalten, Anwenden“ ausführlich behandelt werden. In der Reihe B „Konstruieren technischer Formteile“ sind bisher zu diesem Thema erschienen:

- B.3.1 Berechnen von Schnappverbindungen mit Kunststoffteilen
- B.3.2 Verbindungen mit Metallschrauben
- B.3.3 Kunststoffbauteile mit angeformten Gewinden
- B.3.4 Berechnen von Preßverbindungen
- B.3.5 Filmgelenke aus technischen Kunststoffen
- B.3.7 Ultraschallschweißen und -fügen von Formteilen aus technischen Kunststoffen

#### – Schweißen

Formteile aus Celanex, Vandar und Impet können je nach Fügeteilgeometrie und Einsatzgebiet durch Ultraschall-, Vibrations-, Rotationsreib- und durch Heizelementschweißen verbunden werden. Beim Heizelementschweißen ist wegen der großen Haftneigung der Schmelze auf dem Heizelement die kontaktlose

Strahlungserwärmung zu bevorzugen. Für den Prototypenbau bietet sich darüber hinaus auch das Warmgasschweißen mit Zusatzwerkstoff an.

Beim Laserdurchstrahlschweißen werden mit einem naturfarbenen PBT (transmittierende Seite) auf einem schwarzen PBT hohe Haftfestigkeiten erzielt. Soll aber Ober- und Unterteil eine hohe Übereinstimmung der Farbanmutung erhalten, wird die transmittierende Seite mit speziellen für den Laserstrahl durchlässigen Farben ausgerüstet.

Mit zunehmendem Gehalt an Verstärkungsmitteln, Flammschutz- oder sonstigen Modifizierungsmitteln kann das Schweißverhalten nachteilig beeinflusst werden. Mögliche Qualitätsverluste lassen sich unter Umständen durch konstruktive Maßnahmen, wie z. B. breitere Fügezonen, ausgleichen.

#### – Kleben

Für das Kleben von Celanex, Vandar und Impet sind Zweikomponenten-Klebstoffe auf der Grundlage von Epoxidharzen, Polyurethanen oder Silikonharzen zu empfehlen. Ferner sind je nach Einsatzzweck Cyanoacrylat- und Schmelzklebstoffe verwendbar. Aufgrund der guten Lösemittelbeständigkeit ist ein Kleben mit Lösemitteln nicht zu empfehlen.

#### – Sonderverfahren

Sind Formteile aus Celanex, Vandar und Impet untereinander oder mit artfremden Werkstoffen zu verbinden, lassen sich mit den gebräuchlichen Methoden auch Nietungen, Bördelungen oder Verdämmaufgaben ausführen.

Ebenso gilt dies für das Einbetten metallischer Gewindeeinsätze, die mit Hilfe von Ultraschall oder Warmeinsenken im Kunststoff verankert werden können.

Als mechanische – teilweise wieder lösbare – Verbindungsverfahren bieten sich Schraub-, Schnapp- und Preßverbindungen an. Auch Verbindungen mit federnden Klemmblechen sind realisierbar.

### 6.3 Oberflächenveredelung

Publikumsgeschmack und Werbung begnügen sich nicht allein mit der Pigmentierung der Kunststoffe oder der Möglichkeit, zweifarbige Teile spritzgießen

zu können, sondern fordern außerdem das Bedrucken, Lackieren oder Prägen in dekorativer und/oder instruktiver Art. Dazu kommt das Beflocken und Metallisieren der Oberflächen.

### 6.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Oberfläche

Für einen ästhetisch befriedigenden Arbeitserfolg beim Veredeln von Kunststoff-Formteilen ist deren einwandfreie glatte Oberfläche unabdingbare Voraussetzung. Unebenheiten oder Kratzer, Fließmarkierungen oder eine sonstige „unruhige“ Oberfläche werden i. allg. durch die Veredelungsprozesse nicht beseitigt, sondern bleiben auch auf der dekorierten Oberfläche sichtbar und beeinträchtigen das Aussehen. Dem ist sowohl durch entsprechende Sorgfalt beim Polieren der Werkzeuge als auch durch Einhalten optimaler Verarbeitungsbedingungen Rechnung zu tragen (Werkzeug- und Masstemperatur, Spritzdruck, Einspritzgeschwindigkeit). Weiterhin sollte, da bei fast allen Formteilen mit verschmutzten Oberflächen zu rechnen ist, in der Regel dem Veredlungsverfahren ein Reinigungsprozeß vorangehen.

Es ist häufig eine spezielle Vorbehandlung der Oberfläche erforderlich. Diese kann chemischer oder mechanischer Natur sein. Ohne Vorbehandlung haftende Überzüge bedürfen in jedem Fall einer Wärmebehandlung, sei es unmittelbar beim Auftragen (Prägefolien) oder nachträglich (Haftlacke, Druckfarben).

Das Aufrauen der Oberfläche durch Sandstrahlen, Schleifen o. ä. aktiviert diese und fördert die Haftung nachträglich aufgebrachtener Schichten. Da dieses Verfahren recht aufwendig ist, wird es jedoch kaum angewandt.

### 6.3.2 Lackieren

Für die Lackierung von Formteilen aus Celanex, Impet und Vandar eignen sich verschiedene Ein- und Zweikomponenten-Lacksysteme, sowohl auf Lösungsmittel- als auch auf Hydrobasis. Ihre Auswahl richtet sich vor allem nach den Anforderungen, die an die Lackierung gestellt werden, zum Beispiel hinsichtlich Witterungsbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit, Kratzbeständigkeit, Haptik usw. Um eine einwandfreie Haftung bei der Lackierung zu erzielen, müssen die Formteile gereinigt werden. Eine zusätzliche Vorbehandlung durch Beflammen oder Einwirkung von

Korona-Entladungen und unter Umständen eine Grundierung verbessern die Haftung.

### 6.3.3 Metallisieren im Hochvakuum

Mit Hilfe dieses Verfahrens kann man den Gegenständen aus Celanex eine spiegelnde Metalloberfläche verleihen. Folgende Arbeitsgänge sind erforderlich:

– Vorbehandlung

Die zu metallisierenden Oberflächen werden zunächst gesäubert und entfettet. Danach wird mechanisch mattiert oder besser mit Säure vorbehandelt, wie einleitend beschrieben. Auch die besprochene Primerbehandlung ergibt befriedigende Ergebnisse.

– Grundlackierung

Die gute Haftung des aufgedampften Metalls hängt wesentlich von der Eignung des Grundierlackes ab, der auf die zu überziehenden Flächen aufgetragen wird. Die eigens für das Vakuummetallisieren entwickelten Zweikomponentenlacke auf der Basis von Polyisocyanat haben sich gut bewährt. Sie werden nach dem Auftragen im Wärmeschrank ausgehärtet.

– Vakuummetallisierung

Das Bedampfen mit dem gewünschten Metall geschieht unter den für dieses Verfahren üblichen Bedingungen.

– Decklackierung

Die aufgedampfte Metallschicht ist mechanisch sehr empfindlich. Sie wird zum Schutz gegen Kratzer mit einem farblosen oder transparent gefärbten Decklack überzogen.

### 6.3.4 Galvanisieren

Es ist möglich, Formteile aus Celanex nach den üblichen chemogalvanischen Behandlungsstufen mit einer leitenden Metallschicht zu überziehen und anschließend zu galvanisieren.

Eine feste Verankerung der Metallschicht auf dem Kunststoff ist nur mit Spezialtypen zu erreichen. Bei Standardtypen müsste die Ummantelung wenigstens so dick sein, dass sie selbsttragend ist.

### 6.3.5 Heißprägen

Das Heißprägen auf Formteilen aus Celanex ist ein häufig angewandtes Bedruckungsverfahren; kennzeichnend ist, daß die Oberfläche nicht vorbehandelt wird. Sie muß jedoch, wie beim Heißprägen anderer Kunststoffe, sauber sein.

Entsprechend der Verbreitung dieses Verfahrens ist die Anzahl der angebotenen Prägefolien groß. Ihre Auswahl richtet sich nach dem jeweils vorgesehenen Prägeverfahren (Positiv- Prägen, Negativ-Prägen, Flächen-Prägen, Relief- Prägen, Hub-Verfahren, Abroll-Verfahren, Abhebe- Verfahren, Prägen mit Messing- oder Silikongummi- Stempel), den an die Prägung gestellten Anforderungen (Kratz- und Scheuerfestigkeit, Chemikalien- bzw. Witterungsbeständigkeit) und natürlich nach dem gewünschten Farbton einschließlich Oberflächenqualität (glänzend, matt). Diese Vielfalt macht es unmöglich, pauschale Empfehlungen hinsichtlich geeigneter Folien-Typen und ebenso hinsichtlich deren Verarbeitungsbedingungen zu geben. So liegen zum Beispiel die erforderlichen Temperaturen des Prägestempels je nach Folienart zwischen 120 und 220°C. Bei den verwendeten Präegeräten müssen Druck, Temperatur und Verweilzeit des Stempels genau einstellbar sein. Insbesondere ist auf einen gleichmäßigen Anpreßdruck zu achten. Dabei genügt es nicht, den Prägestempel genau einzustellen, auch die Unterlage muß eben und druckfest sein. Weiche Unterlagen wie Gummi bringen keine guten Ergebnisse. Hoher Anpreßdruck, kurze Verweilzeit und hohe Temperatur sind die bevorzugten Verarbeitungsbedingungen. Naturgemäß sind glatte Flächen einfacher zu prägen als gewölbte, massive Teile einfacher als hohle. In Einzelfällen können beträchtliche Vorversuche erforderlich werden.

In jedem Falle empfiehlt es sich, bei den einschlägigen Folienherstellern Rat einzuholen.

Für die erwähnten Haftlacke, Farben und Prägefolien weisen wir auf Wunsch Bezugsquellen nach.

### 6.3.6 Beschriften und Markieren mit dem Laserstrahl

Das Beschriften mit dem Laserstrahl ist ein sauberes Verfahren, d.h. pastöse Farbstoffe oder Lösungsmittel werden nicht benötigt. Die Vorbehandlung von Oberflächen entfällt; Formteile werden nicht beschädigt oder verschmutzt. Das Markieren mit dem Laser-

strahl erfordert wenig Zeit, ist einfach, äußerst flexibel bei Wechseln von Schriften und Zeichen und lässt sich problemlos in Produktionslinien einfügen.

Es stehen zwei Laserbeschriftungsverfahren zur Auswahl: die Masken-Pulsiertechnik und die Laserstrahlablenkung. Welches Verfahren zum Einsatz kommt, hängt von Aufgabenstellung, Ergebniswunsch oder Werkstofftyp ab. Für jedes Verfahren ist ein spezielles Gerät erforderlich.

### Lasermarkierung von Formteilen aus Celanex

Über die Lasermarkierung von Celanex-Teilen liegen umfangreiche Untersuchungen vor. Hohe Qualitäten bei der Laserbeschriftung von Celanex Bauteilen werden mit allen Celanex Typen in weiß – und hellgrauen Farben sowie bei den FL-Typen auch in natur erzielt. Als schwarze Einfärbung steht die Sonderfarbe 10/9101 zur Verfügung. Weitere Farbtypen sind auf Anfrage erhältlich.

## 7. Brandsicherheitstechnischer Hinweis

Kunststoffe sind, wie fast alle organischen Produkte, brennbar. Bei ihrer Lagerung, Verarbeitung und Konfektionierung können daher Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes notwendig sein. Entscheidend hierfür sind insbesondere die im jeweiligen Land geltenden örtlichen Vorschriften und Richtlinien.

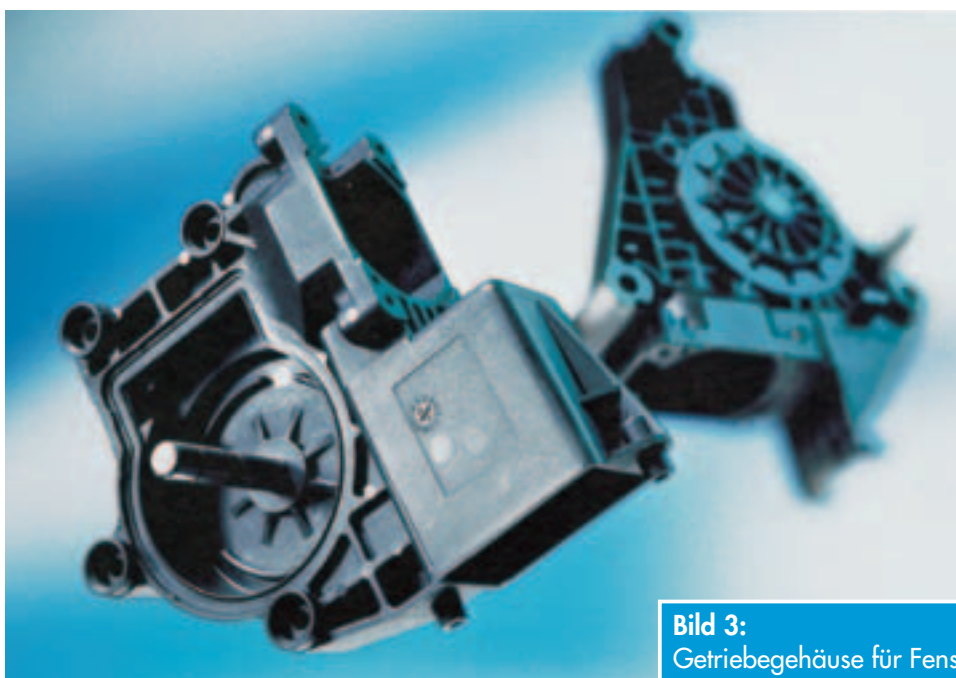
Für bestimmte Endprodukte und Anwendungsbereiche können besondere brandtechnische Anforderungen bestehen. Diese festzustellen und einzuhalten gehört ebenfalls zur Verantwortung des Verarbeiters der Ausgangswerkstoffe sowie zur Verantwortung des Anwenders der betreffenden Erzeugnisse.

## 8. Literaturhinweise

- [1] Ticona GmbH: C.3.3 Gestalten von Formteilen aus technischen Kunststoffen.
- [2] Ticona GmbH: C.3.4 Richtlinien für das Gestalten von Formteilen aus technischen Kunststoffen.
- [3] Witan, K. et al.: Berührungslos Beschriften mit dem Laserstrahl. Kunststoffe, Bd. 83, 1993, Heft 11.



**Bild 1 und 2:**  
Airbag-Abdeckungen für Fahrer (1) und  
Beifahrer (2) aus einem Vandar-Spezialtyp



**Bild 3:**  
Getriebegehäuse für Fensterhebermoto-  
ren aus glasfaserverstärktem Celanex



**Bild 4:**  
Gehäuse für ABS-Sensoren aus  
glasfaserverstärktem Celanex



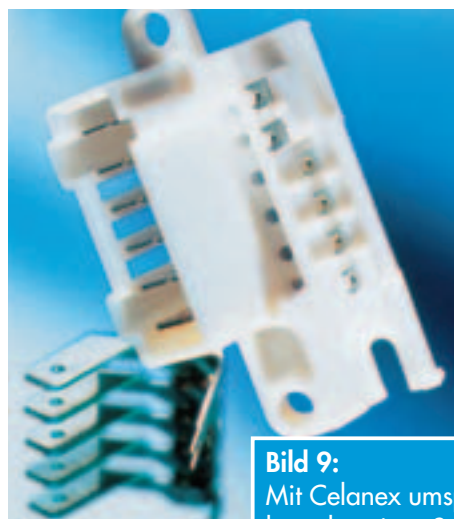
**Bild 5:**  
Isolierung und Griff aus glasfaserverstärktem Celanex  
mit hohem Oberflächenglanz für eine Friteuse



**Bild 6 und 7:**  
Druckschalter (6) und TV-Schalterstößel (7) aus flammhemmend ausgerüstetem Celanex



**Bild 8:**  
Motorteil aus Celanex für  
Waschmaschinenantrieb



**Bild 9:**  
Mit Celanex umspritzte Metall-  
kontakte eines Steckverbinders



**Bild 10:**  
VW-Steckverbinder aus Celanex



**Bild 11:**  
Sockelunterteil eines Parallelhub-Druckfolgeschalters aus flammhemmend ausgerüstetem Celanex



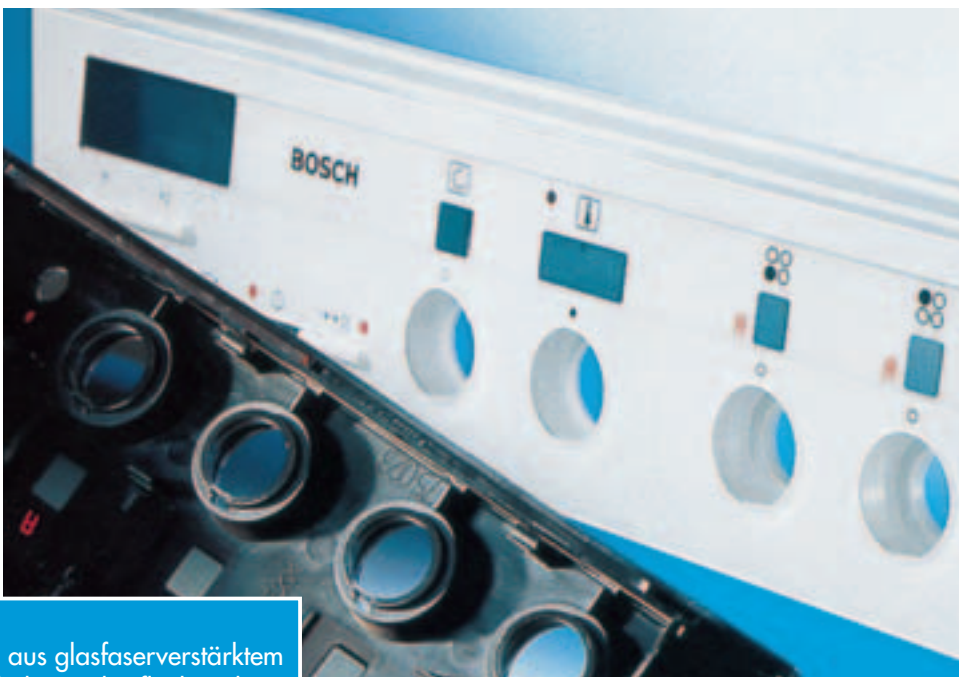
**Bild 12 und 13:**  
Griff für einen Elektroherd, aus  
Celanex in der GID-Technik gefertigt



**Bild 14:**  
Bügeleisengriff mit exzellenter  
Oberfläche aus Celanex



**Bild 15:**  
Präzisionslaserbeschriftung in vielen  
Farbvarianten auf Celanex-Oberflächen



**Bild 16:**  
Herdblenden aus glasfaserverstärktem  
Celanex mit hohem Oberflächenglanz



**Bild 17:**  
Sandwicher aus glasfaserverstärktem  
Celanex mit hohem Oberflächenglanz



**Bild 18 und 19:**  
Trockenbügelseisen und Bügeleisen-Isolierschild  
mit hervorragenden Oberflächen aus Celanex



**Bild 20:**  
Heizkosten-Verteilergehäuse aus  
Celanex mit Laserbeschriftung



**Bild 21:**  
Sockel aus glasfaserverstärktem  
Celanex für Kompakt-Sparlampen

## 10. Stichwortverzeichnis

- Abbau, hydrolytischer 23  
 Anwendungsbeispiele 37 – 40  
 Aufbau, molekularer 2, 3
- Bewitterung 18  
 Biege-E-Modul 8  
 Biege-Kriechlinien 9  
 Biege-Kriechmodul 10  
 Bohren 33  
 Brandverhalten 18  
 Bruchdehnung 5  
 Bruchspannung 5, 7, 14
- CAMPUS Kunststoff-Datenbank 6  
 Chemikalienbeständigkeit 20 – 22
- Dauerschwingfestigkeit 11  
 Dauerschwingversuch 11  
 Dielektrischer Verlustfaktor 15  
 Dielektrizitätszahl 15  
 Drehen 33  
 Düsenbauart 23 – 24  
 Durchgangswiderstand, spezifischer 14  
 Durchschlagfestigkeit 15
- Eigenschaften, elektrische 14  
     , mechanische 6  
     , thermische 13
- Einfärbungen 5  
 Einspritzgeschwindigkeit 23 – 24  
 Energiereiche Strahlung 19
- Farbkonzentrate (master batches) 5  
 Fehlerursachen beim Spritzgießen 32  
 Fließfähigkeit der Schmelze 24  
 Fließnahtfestigkeit 28  
 Fließweglänge 25 – 28  
 Formbeständigkeit in der Wärme 3, 13  
 Fräsen 33  
 Fügen 33
- Galvanisieren 34  
 Gebrauchstemperaturen in Heißwasser 16  
 Gebrauchstemperaturen in Luft 14  
 Gesamtschwindung 31  
 Glasübergangstemperatur 6, 13  
 Glasumwandlung 13  
 Gleitverhalten 12  
 Granulat 5
- Härte 12  
 Heißprägen 35  
 hydrolytischer Abbau 23
- isochrone Spannungs-Dehnungslinien 9  
 Isolationseigenschaften 14
- Kerbschlagzähigkeit (Charpy) 4, 11  
 Kerbschlagzähigkeit (Izod) 18  
 Kleben 33  
 Kugeldruckhärte 12  
 Kurzzeitverhalten 7
- Lackieren 34  
 Längenausdehnungskoeffizient 13  
 Langzeitverhalten 8  
 Laserstrahl, Beschriften mit dem 35  
 Lichtstabilität 18  
 Lieferform 5  
 Literaturhinweise 36
- Massetemperaturen (Spritzgießen) 23 – 24  
 Materialvorbereitung 23  
 Mechanische Eigenschaften 6  
 Mechanischer Verlustfaktor 6  
 Metallisieren im Hochvakuum 34
- Nachdruck 23 – 24  
 Nachschwindung 28 – 30
- Oberflächeneigenschaften 12  
 Oberflächenveredelung 33 – 35
- p · v-Wert 12
- Qualitätsmanagement 5
- Regeneratzusatz 23  
 Reibungszahlen 12
- Schlagbeanspruchung 11  
 Schlagzähigkeit (Charpy) 11  
 Schlagzähigkeit (Izod) 11  
 Scheckendrehzahl 23 – 24  
 Schubmodul G 6  
 Schweißen 33  
 Schwindung 29 – 31  
 Selbsteinfärben 5  
 spanende Bearbeitung 33

Spannungs-Dehnungsdiagramme 7  
Spannungs-Dehnungslinien, isochrone 9  
Spannungsrißbeständigkeit 16, 17  
spezifischer Durchgangswiderstand 14  
Spiraltest 25 – 28  
Spritzdruck 23 – 24  
Spritzgießen 23 – 32  
Staudruck 23 – 24

thermische Eigenschaften 13  
Trocknen des Materials 23

Umgebungseinflüsse 16 – 19  
UV-Beständigkeit 18

Verarbeitung 23 – 35  
Verarbeitungsbedingungen (Spritzgießen) 23 – 24  
Verarbeitungsschwindigkeit 29 – 31  
Verlustfaktor, dielektrischer 15  
Verlustfaktor, mechanischer 6  
Verschleißverhalten 12  
Verweilzeit im Zylinder 23 – 24  
Verzug 29

Wärmealterungsversuche 14  
Wärmeformbeständigkeitstemperatur 13  
Wasseraufnahme 16  
Weiterverarbeitung 33 – 35  
Werkzeugwandtemperaturen 23, 24, 31, 32  
Witterungsbeständigkeit 18  
Wöhler-Kurve 11

Zeit-Dehnlinien 10  
Zug-E-Modul (Sekantenmodul) 4  
Zug-Kriechmodul 10  
Zugversuch 7

### Hinweise für Anwender:

Die in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen sind nach unserem besten Wissen zutreffend. Wir übernehmen jedoch keinerlei Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen. Bestimmte Eigenschaften unserer Produkte werden hiermit weder vereinbart noch zugesichert.

Die in dieser Veröffentlichung enthaltenen Berechnungsverfahren beruhen häufig auf Vereinfachungen und sind daher nur annähernder Natur. Wir empfehlen dringend, das Funktionieren des jeweiligen Bauteils in der konkreten Anwendung durch das Ausprüfen von Prototypen sowie genauere Berechnungsverfahren sicherzustellen. Jede Anwendung der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen oder der hierin beschriebenen Produktionsmittel, Verarbeitungsverfahren oder Materialien setzt die Einhaltung aller einschlägigen Sicherheitsvorschriften und Bestimmungen zum Schutze der Gesundheit voraus.

Ob durch die Verwendung der in dieser Veröffentlichung genannten Materialien bestehende Patente verletzt werden, hat der jeweilige Anwender in alleiniger Verantwortung zu prüfen.

Die Eigenschaften von Formteilen werden durch verschiedene Faktoren wie etwa Materialauswahl, Zusätze zum Material, Formteildesign, Verarbeitungs- oder Umweltbedingungen beeinflusst. Die Entscheidung über die Eignung eines bestimmten Materials und Bauteildesigns für einen konkreten Einsatzzweck obliegt ausschließlich dem jeweiligen Anwender. Dieser hat sicherzustellen, dass das verarbeitete Material den Anforderungen des jeweiligen Produktes und Einsatzzweckes entspricht. Hierfür hat er Prototypen aller Produkte, die Kunststoffe enthalten, unter den härtesten Bedingungen auszuprüfen, denen die Produkte in der praktischen Anwendung ausgesetzt sein werden.

Die in dieser Veröffentlichung angegebenen Materialdaten und Meßwerte basieren entweder auf Laborversuchen unter standardisierten Bedingungen und bewegen sich innerhalb der normalen Eigenschaften unveränderten Original-Materials, oder sie entstammen verschiedenen veröffentlichten Quellen. Wenngleich davon auszugehen ist, dass diese Daten und Werte für das jeweilige Material typisch sind, bilden sie allein keine ausreichende Grundlage für eine Bauteilauslegung und dienen auch nicht der Festlegung von Maximalwerten, Minimalwerten oder Wertebereichen zu Spezifikationszwecken. Farbstoffe oder sonstige Zusätze können zu erheblichen Abweichungen in den Materialeigenschaften führen.

Wir empfehlen dem Anwender dringend, die aktuellen Anweisungen des jeweiligen Herstellers für den Gebrauch der einzusetzenden Materialien einzuholen und diese zu befolgen sowie die Handhabung der Materialien nur hinreichend geschultem Personal zu überlassen. Wenn Sie zusätzliche technische Informationen benötigen, erreichen Sie uns unter einer der umseitig aufgeführten Telefonnummern. Bei der Verarbeitung unserer Produkte berücksichtigen Sie bitte die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter, die Sie von unserem Customer Service unter einer der umseitig aufgeführten Telefonnummern erhalten. Zudem ist es bei vielen Materialien erforderlich, den Kontakt von Menschen mit diesen Materialien im Hinblick auf mögliche schädliche Auswirkungen auf das praktisch geringstmögliche Maß zu reduzieren. Soweit in dieser Veröffentlichung Risiken aufgeführt sind, können darüber hinaus weitere, in dieser Veröffentlichung nicht aufgeführte Risiken bestehen.

Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt.

© Copyright Ticona GmbH  
Ausgabe: Juli 2004

## **Hostaform®**

Polyoxymethylen Copolymer (POM)

## **Celanex®**

Thermoplastische Polyester (PBT)

## **Impet®**

Thermoplastische Polyester (PET)

## **Vandar®**

Thermoplastische Polyester Blends

## **Riteflex®**

Thermoplastische Polyester Elastomere (TPE-E)

## **Vectra®**

Flüssigkristalline Polymere (LCP)

## **Fortron®**

Polyphenylensulfid (PPS)

## **Celstran®, Compel®**

Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT)

## **GUR®**

Ultrahochmolekulares Polyethylen (PE-UHMW)

Ticona GmbH

Information Service

Tel.: +49 (0)180-5 84 26 62 (Deutschland)

+49 (0) 69-30 51 62 99 (Europa)

Fax: +49 (0)180-2 02 12 02

eMail: [infoservice@ticona.de](mailto:infoservice@ticona.de)

Internet: [www.ticona.com](http://www.ticona.com)