



Polyurethane zur Herstellung von Rotorblättern für Windkraftanlagen

Technische Informationen für Nord- und
Südamerika, Europa, den Nahen Osten und Afrika



Polyurethane zur Herstellung von Rotorblättern für Windkraftanlagen

Infusionsharzsystem aus **Baydur®**
und **Desmodur®** mit hoher Festigkeit

Unser aus **Baydur® 120V2** und **Desmodur® 44CP23** bestehendes, zweikomponentiges Polyurethanharz-System ist speziell für die Herstellung von Rotorblättern für Windkraftanlagen im Vakuuminfusionsverfahren entwickelt. Dieses System bietet die folgenden Vorteile:

- **Sehr niedrige Viskosität bei Raumtemperatur**
- **Schnelle Aushärtung bei erhöhter Temperatur**



Ein Polyurethanharz-System für Rotorblätter von Windkraftanlagen

Anwendung

Sehr niedrigviskoses Harzsystem für die Verarbeitung von Glas- und Carbonfasern, geeignet zur Herstellung von Bauteilen, die einer hohen statischen und dynamischen Belastung ausgesetzt werden sollen.

Vorteile

Aufgrund der niedrigen Viskosität und der langen Topfzeit kann dieses Harzsystem besonders vorteilhaft beim Vakuuminfusionsverfahren eingesetzt werden, auch für Teile mit komplexer Geometrie und langen Infusionswegen.

Charakteristik	Spezifikation
Harztyp	Zweikomponenten-Polyurethanharz-System: Polyol – Baydur® 120V2 und Isocyanat – Desmodur® 44CP23
Anwendung	Speziell entwickelt für das Vakuuminfusionsverfahren, insbesondere für die Herstellung von Rotorblättern für Windkraftanlagen
Merkmale	Sehr niedrige Viskosität bei Raumtemperatur Schnelle Aushärtung bei Temperaturen von 80 °C oder höher
Verarbeitungsbedingungen	Zwischen 15 °C und 35 °C

Für den Umgang mit Polyurethanharzen und deren Komponenten sind entsprechende Arbeitsschutzvorschriften zu beachten und einzuhalten. (Siehe die „Walk the Talk“-Richtlinien der ISOPA: <https://www.isopa.org/product-stewardship/walk-the-talk/>)

Kenndaten

Desmodur® 44CP23, Baydur® 120V2 und flüssige Mischung beider Komponenten

Eigenschaft	Einheit	Desmodur® 44CP23	Baydur® 120V2	Mischung	Standard	Anmerkungen
Dichte	g/cm ³	1,23 ± 0,05	1,03 ± 0,05	1,11 ± 0,05	Intern	bei 25 °C
Viskosität	mPas	160 ± 50	35 ± 10	60 ± 10	Intern	bei 25 °C
NCO-Gehalt	Gew.-%	30,8 ± 1,0	N/A	N/A	Intern	
Hydroxylzahl	mg KOH/g	N/A	357 ± 10	N/A	Intern	
Mischungsverhältnis	nach Gewicht nach Volumen	88 74	100 100	Index: 102		

Isocyanat-Komponente: **Desmodur® 44CP23**

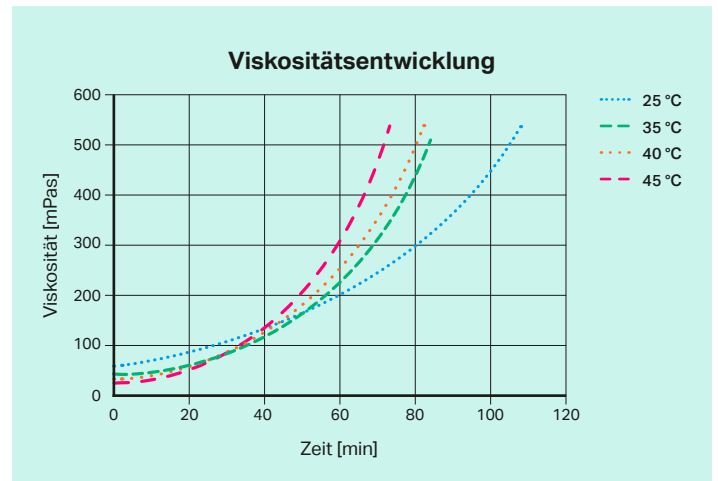
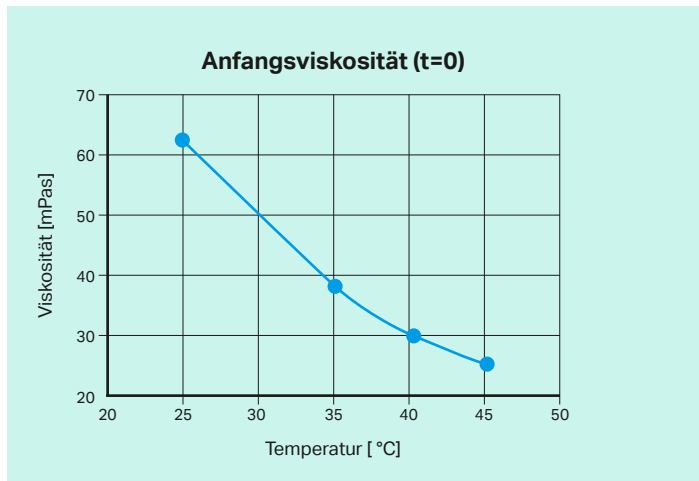
Polyol-Komponente: **Baydur® 120V2**

Viskosität der Mischung

Isotherm, bei verschiedenen Verarbeitungstemperaturen

Verarbeitungsviskosität

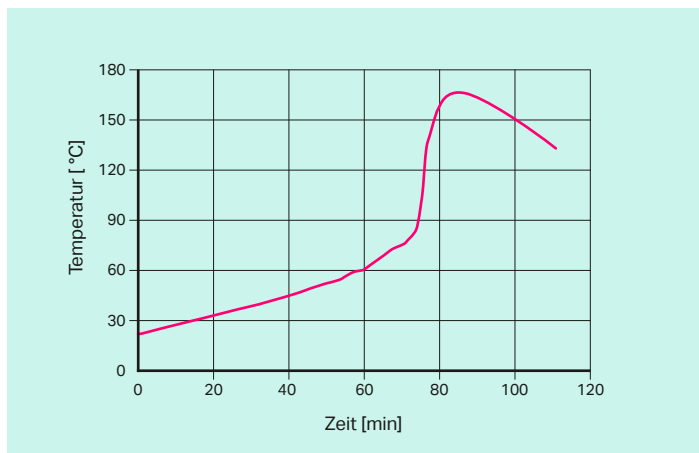
Die Anfangsviskosität von frisch gemischtem Harz reicht von ca. 38 mPas bei 35 °C bis ca. 62 mPas bei 25 °C. Höhere Temperaturen reduzieren die Viskosität der Mischung, verkürzen aber ihre Topfzeit. Die Viskosität der Mischung nimmt mit der Zeit zu. Bei höheren Temperaturen erreicht das Harz schnell seinen Gelpunkt und härtet aus.



Die Viskosität wurde mit einem Brookfield DV2T-Viskosimeter mit kleinem Probenadapter (ca. 7 g Harz) gemessen.

Exothermie und Temperaturentwicklung

Temperaturanstieg einer Harzprobe, die in einem offenen Gefäß gemischt wurde



Die Temperatur des Harzes steigt nach dem Mischen aufgrund der exothermen Natur der Polyurethanreaktion langsam an. Die typische Temperaturentwicklung des Harzes bei Mischung in einem offenen Gefäß (nichtadiabatisch) geht mit einer langen Topfzeit einher und vermeidet kritische Hot Spots während der Infusion und Aushärtung.

Beispiel:

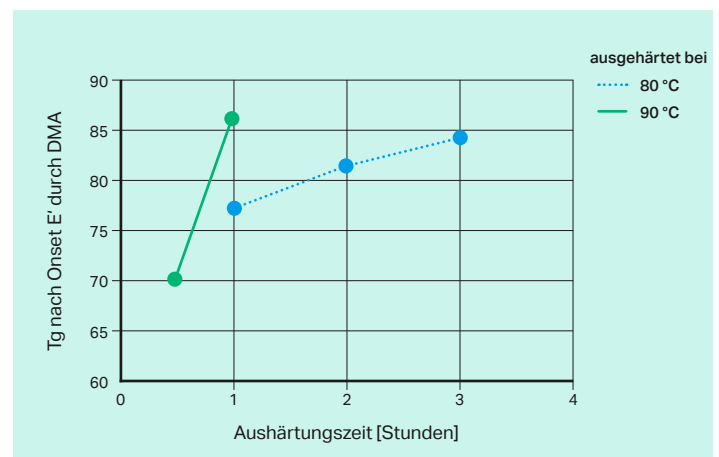
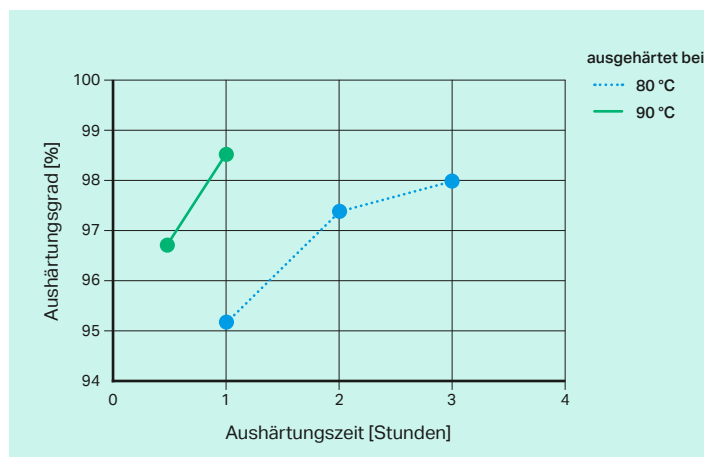
- Probengröße: 1 kg
- Volumen des Mischgefäßes: 1,5 l
- Anfangs-/Außentemperatur: 23 °C
- Max. Temperatur: 168 °C nach 85 min

Aushärtung und Entwicklung der mechanischen Eigenschaften

Aushärtungsgrad und Tg-Entwicklung des Harzes

Aushärtungsgrad (DOC) mittels DSC: Die Bestimmung des Aushärtungsgrads mittels DSC basiert auf dem Verhältnis der Restenthalpie eines ausgehärteten Materials zur Gesamtenthalpie des Harzsystems.

Tg durch DMA: In der Industrie werden häufig DSC-Methoden zur Tg-Bestimmung eingesetzt, jedoch ist die Tg-Bestimmung des PU-Infusionsharzes mit DSC schwierig, da der Übergang sehr breit ist. Stattdessen kann der Glasübergang Tg mittels DMA bestimmt werden.



Anmerkung: Diese Techniken wurden von Covestro zur Charakterisierung des Polyurethanharzes eingesetzt.

Für zusätzliche Informationen zu Materialeigenschaften und Charakterisierungstechniken wenden Sie sich bitte an unsere technischen Experten.

Verarbeitungshinweise

Trocknung

Die Feuchtigkeit in den Harzkomponenten und im Verstärkungsmaterial (z. B. Glas- oder Carbonfaser) muss auf ein Minimum reduziert werden, da sie zur Schaumbildung im Harz führen kann. Das Trocknen des Verstärkungsmaterials ist ein entscheidender Schritt, der durch verschiedene Verfahren erreicht werden kann und den Einsatz von Vakuum, Temperatur und Trocknungsmitteln einschließen kann.

Entgasung des Harzes: Die Harzkomponenten müssen vor dem Mischen einzeln oder direkt nach dem Mischen bei < 10 mbar Vakuum und unter konstantem Rühren für ca. 15 Minuten entgast werden. Während des Entgasens sollte die Temperatur des Harzes 30 °C nicht übersteigen.

Trocknung des Gelegeaufbaus: Alle mit dem Harz in Kontakt tretenden Materialien müssen vor der Infusion gründlich getrocknet werden. Typische Beispiele zur Trocknung eines Aufbaus aus 80 Glasfaserlagen von 1,7 m² sind:

- **Vakuumtrocknung:** Nach dem Aufbau der Glasfaserlagen und Hilfsmaterialien sowie der Abdichtung mit Vakuumfolie kann der gesamte Aufbau bei einem Vakuum von < 10 mbar und einer Temperatur von 35 °C für mindestens 90 min getrocknet werden. Die empfohlene Trocknungstemperatur sollte dabei zwischen 30 und 40 °C liegen. Auf diese Weise kann die Trocknungszeit minimiert und eine Verzögerung vor der Infusion (durch Wartezeit zur Abkühlung) vermieden werden.
- **Verwendung eines Trockenmittels:** Nach dem Aufbau und der Abdichtung kann das gesamte Gelege unter Anlegen von Vakuum getrocknet werden. Um den Prozess zu beschleunigen, kann ein Trockenmittel wie Stickstoff oder trockene Luft über eine VAP®-Membran in den Schichtaufbau eingebracht werden. Das Vakuum wird dabei über den Harzkanal angelegt und das Trockenmittel über den Entlüftungsschlauch zugeführt. Die Trocknung des Aufbaus ist typischerweise nach 45 min bei 25 °C und einem Stickstoffstrom von 10 NI/min abgeschlossen.

Anmerkung: Das Polyurethanharz von Covestro ist nicht speziell zur Herstellung von Bauteilen bestimmt, die hygroskopische Materialien wie z.B. Balsaholz enthalten. Für zusätzliche Unterstützung bezüglich Materialverträglichkeit und Verarbeitung wenden Sie sich bitte an unsere technischen Experten.

Infusion

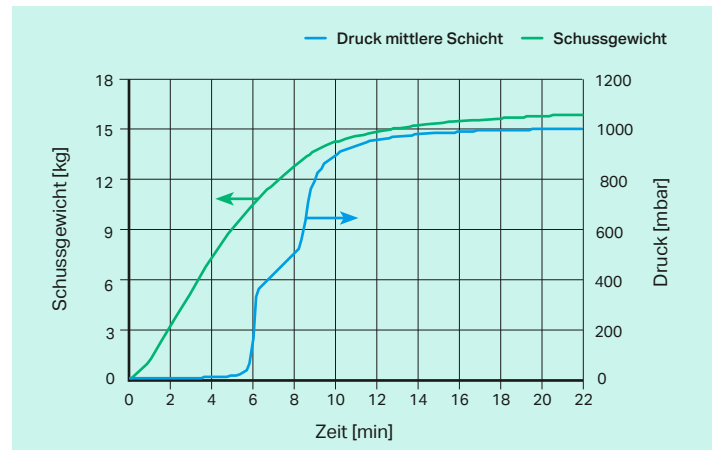
Die Infusion kann direkt nach dem Trocknen des Gelegeaufbaus beginnen. Die zur Vermeidung von Gasblasen im Komposit entgasten Harzkomponenten sollten möglichst genau im vorgegebenen Mischungsverhältnis gemischt werden. Vor der Infusion muss die Harzmischung homogen sein.

Infusionsbedingungen:

- Temperatur des gemischten Harzes: Min. 15 °C und max. 35 °C
- Temperatur des Aufbaus (nach dem Trocknen): Max. 35 °C

Beispiel: Infusion eines trockenen 60-lagigen UD-Glasfasergeleges, das einem Holmgurt-Segment von 1 x 0,5 m² entspricht

Temperatur des Harzes: 25 °C
 Temperatur des Glasgeleges: 35 °C
 Druck im Glasgelege: < 10 mbar
 Infusionsdruck: atmosphärisch
Infusionszeit: 23 min



Anmerkung: Covestro empfiehlt ein geschlossenes Direktinfusionsverfahren unter Verwendung des geeigneten Equipments (d. h. einer Direktinfusionsmaschine). Für zusätzliche Unterstützung bezüglich Equipment und Verarbeitung wenden Sie sich bitte an unsere technischen Experten.

Aushärtung

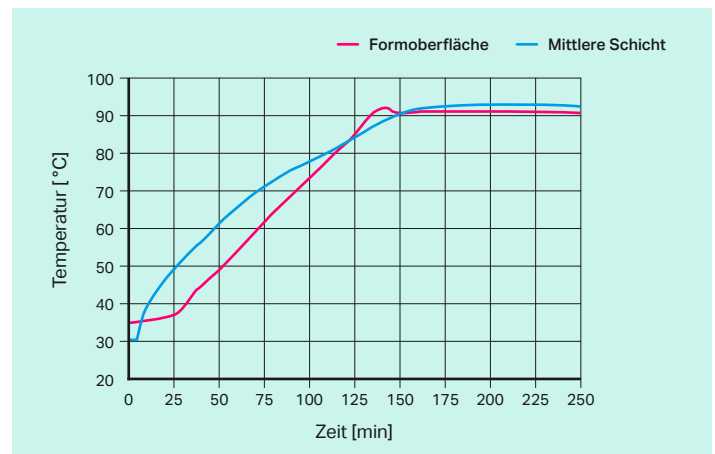
Aufgrund der relativ geringen Exothermie kann die Aushärtung des Polyurethanharzes von Covestro direkt nach der Infusion beginnen. Die folgenden Aushärtungsbedingungen ermöglichen einen hohen Aushärtungsgrad und hervorragende mechanische Eigenschaften.

Aushärtungsbedingungen:

- Aushärtungstemperatur: zwischen 80 °C und 100 °C
- Heizrate: 0,5 – 1 K/min
- Aushärtungszeit (nach Erreichen der Zieltemperatur):
 bei 80 °C → min. 3 Stunden
 bei 90 °C → min. 1 Stunde

Beispiel: Aushärtung eines infundierten 60-lagigen UD-Glasfasergeleges, das einem Holmgurt-Segment von 1 x 0,5 m² entspricht

Zieltemperatur: 90 °C
 Heizrampe: 0,5 K / min
Aushärtungszeit: 2 Stunden



Anmerkung: Covestro empfiehlt eine natürliche Kühlung und Entformung bei Temperaturen unter 60 °C, um die mechanischen Eigenschaften und die Formstabilität der Teile zu erhalten. Für zusätzliche Unterstützung bezüglich Verarbeitung und Materialeigenschaften wenden Sie sich bitte an unsere technischen Experten.

Eigenschaften von Reinharz

Werte einer beispielhaften Testplatte, die 3 Stunden bei 80 °C ausgehärtet wurde

Eigenschaft	Einheit	Wert	Standard
Dichte, ausgehärtet	g/cm ³	1,209 ± 0,001	DIN EN ISO 1183-1
Volumenschrumpfung	%	7,38 ± 0,11	DIN EN ISO 3521
Wasseraufnahme (nach 168 h)	%	0,59 ± 0,02	DIN EN ISO 62
Zugfestigkeit	MPa	80,3 ± 0,2	DIN EN ISO 527-2
Zug-E-Modul	MPa	3441 ± 18	DIN EN ISO 527-2
Maximale Zugdehnung	%	5,38 ± 0,23	DIN EN ISO 527-2

Eigenschaft	Einheit	Wert	Standard
Zugfestigkeit (bei -40 °C)	MPa	68,5 ± 7,5	DIN EN ISO 527-2
Zug-E-Modul (bei -40 °C)	MPa	4683 ± 77	DIN EN ISO 527-2
Maximale Zugdehnung (bei -40 °C)	%	1,70 ± 0,23	DIN EN ISO 527-2
Biegefestigkeit	MPa	134,6 ± 0,6	DIN EN ISO 178
Biege-E-Modul	MPa	3458 ± 28	DIN EN ISO 178
Maximale Biegedehnung	%	6,63 ± 0,48	DIN EN ISO 178

Dies sind die Eigenschaften einer Reinharz-Testplatte, die 3 Stunden lang bei 80 °C ausgehärtet wurde, gemessen bei Umgebungsbedingungen, sofern nicht anders angegeben.

Eigenschaften von Kompositen

Werte einer beispielhaften Komposit-Testplatte, die 3 Stunden bei 80 °C ausgehärtet wurde

Glasfaser-Verstärkung: 4 Schichten UD E-Glas (1200 g/m²)

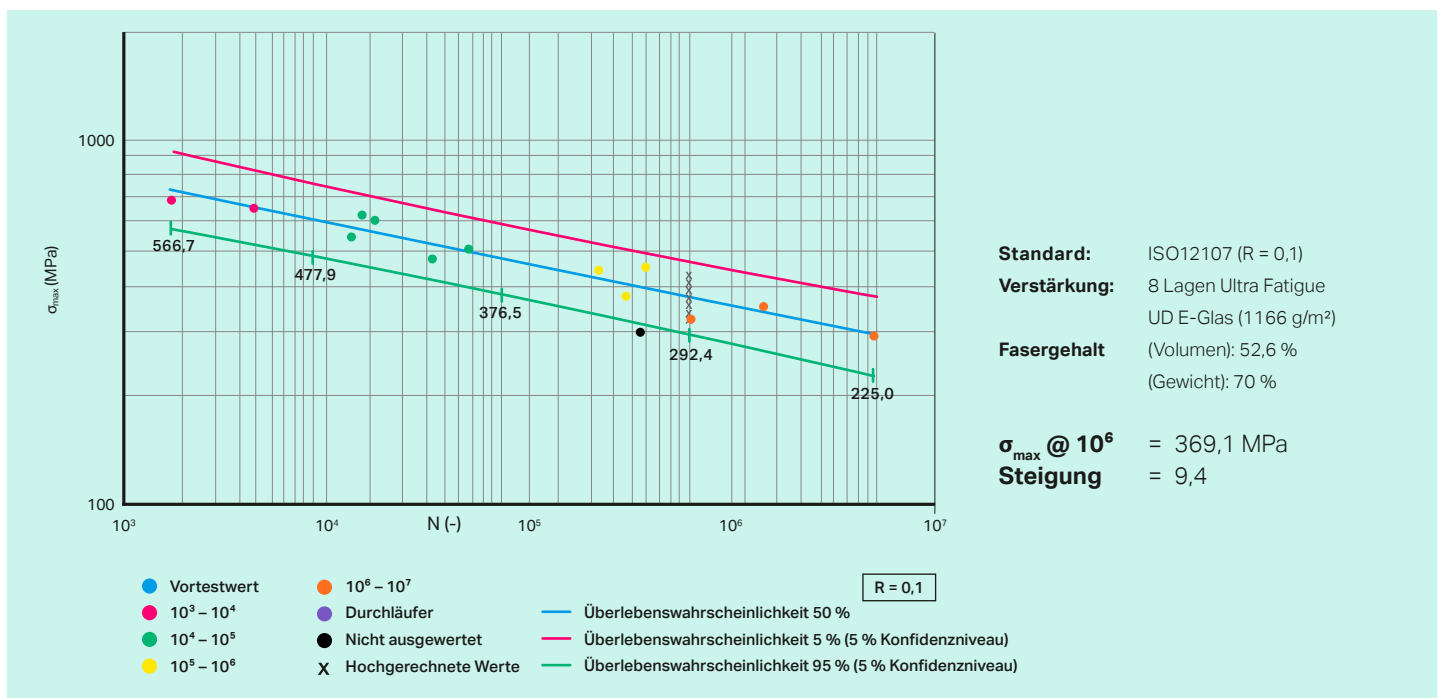
Carbonfaser-Verstärkung: 2 Lagen UD-Carbonfaser (880 g/m²)

Eigenschaft	Einheit	Glas	Carbon	Standard
Fasergehalt (Gewicht)	%	73,4 ± 0,1	66,1 ± 1,2	DIN EN ISO 1172 / 2564
Fasergehalt (Volumen)	%	57,0 ± 0,1	57,3 ± 1,3	DIN EN ISO 1172 / 2564
Zugfestigkeit 0° zur Faser	MPa	1074 ± 50	1688 ± 87	DIN EN ISO 527-5A2
Zug-E-Modul 0° zur Faser	GPa	44,4 ± 0,7	119,6 ± 5,5	DIN EN ISO 527-5A2
Maximale Zugdehnung 0° zur Faser	%	2,75 ± 0,09	1,33 ± 0,07	DIN EN ISO 527-5A2
Zugfestigkeit 90° zur Faser	MPa	59,5 ± 3,9	–	DIN EN ISO 527-5B
Zug-E-Modul 90° zur Faser	GPa	14,4 ± 0,2	–	DIN EN ISO 527-5B
Maximale Zugdehnung 90° zur Faser	%	0,45 ± 0,04	–	DIN EN ISO 527-5B
Zugfestigkeit 90° zur Faser (bei - 40 °C)	MPa	59,7 ± 4,6	–	DIN EN ISO 527-5B
Zug-E-Modul 90° zur Faser (bei - 40 °C)	GPa	16,9 ± 0,4	–	DIN EN ISO 527-5B
Maximale Zugdehnung 90° zur Faser (bei - 40 °C)	%	0,36 ± 0,04	–	DIN EN ISO 527-5B

Dies sind die Eigenschaften einer Komposit-Testplatte, die 3 Stunden lang bei 80 °C ausgehärtet wurde, gemessen bei Umgebungsbedingungen, sofern nicht anders angegeben.

Eigenschaften von Kompositen: Fatigue

Werte für eine beispielhafte Komposit-Testplatte, die 3 Stunden bei 80 °C ausgehärtet wurde





Zukunftsgerichtete Aussagen

Diese Broschüre kann bestimmte in die Zukunft gerichtete Aussagen enthalten, die auf den gegenwärtigen Annahmen und Prognosen der Covestro AG beruhen.

Verschiedene bekannte wie auch unbekannte Risiken, Ungewissheiten und andere Faktoren können dazu führen, dass die tatsächlichen Ergebnisse, die Finanzlage, die Entwicklung oder die Performance der Gesellschaft wesentlich von den hier gegebenen Einschätzungen abweichen. Diese Faktoren umfassen diejenigen, die in den öffentlichen Berichten von Covestro beschrieben werden, die auf der Covestro-Website unter www.covestro.com abrufbar sind.

Die Gesellschaft übernimmt keinerlei Verpflichtung, solche zukunftsgerichteten Aussagen fortzuschreiben und an zukünftige Ereignisse oder Entwicklungen anzupassen.

Es liegt außerhalb unserer Kontroll- und Einflussmöglichkeiten, in welcher Art und Weise und zu welchem Zweck Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen sowie Informationen (unabhängig ob mündlich, schriftlich oder anhand von Produktionsbewertungen erhalten) einschließlich vorgeschlagener Formulierungen und Empfehlungen, anwenden und/oder einsetzen. Daher ist es unerlässlich, dass Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen und Informationen sowie Formulierungen und Empfehlungen eigenverantwortlich daraufhin überprüfen, ob sie für die von Ihnen beabsichtigte Verarbeitung und Anwendung auch tatsächlich geeignet sind. Eine anwendungsspezifische Untersuchung muss mindestens eine Überprüfung auf Eignung in technischer Hinsicht sowie hinsichtlich Gesundheit, Sicherheit und Umwelt umfassen. Derartige Untersuchungen wurden nicht notwendigerweise von Covestro durchgeführt und Covestro hat keine Zulassungen oder Genehmigungen für eine bestimmte Anwendung oder Nutzung der Produkte eingeholt, sofern dies nicht ausdrücklich erklärt wurde. [nur EMEA: Wenn die vom Käufer beabsichtigte Verwendung in dem Einsatz für Arzneimittel oder Medizinprodukte oder in Vorstufen für Medizinprodukte¹ oder einer anderen spezifisch regulierten Anwendung liegt, die zu einer Covestro selbst treffenden regulatorischen Anforderung führt oder führen kann, muss Covestro dieser Verwendung vor dem Verkauf ausdrücklich zustimmen. 1) Siehe Leitfaden für den Einsatz von Covestro-Produkten in einer Medizinischen Anwendung.] Der Verkauf aller Produkte erfolgt – sofern nicht schriftlich anders mit uns vereinbart – ausschließlich nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen, die wir Ihnen auf Wunsch gerne zusenden. Alle Informationen und sämtliche technische Unterstützung erfolgen ohne Gewähr (jederzeitige Änderungen vorbehalten). Es wird ausdrücklich vereinbart, dass Sie jegliche Haftung (Verschuldenshaftung, Vertragshaftung und anderweitig) für Folgen aus der Anwendung unserer Produkte, unserer technischen Unterstützung und unserer Informationen selber übernehmen und uns von aller diesbezüglichen Haftung freistellen. Hierin nicht enthaltene Aussagen oder Empfehlungen sind nicht autorisiert und verpflichten uns nicht. Keine hierin gemachte Aussage darf als Empfehlung verstanden werden, bei der Nutzung eines Produkts etwaige Patentansprüche in Bezug auf Werkstoffe oder deren Verwendung zu verletzen. Es wird keine konkludente oder tatsächliche Lizenz aufgrund irgendwelcher Patentansprüche gewährt.
Aufgabe: 2021 - Gedruckt in Deutschland



Covestro Deutschland AG
Geschäftsbereich
Polyurethane
D-51365 Leverkusen
Deutschland

solutions.covestro.com
wind-energy.covestro.com