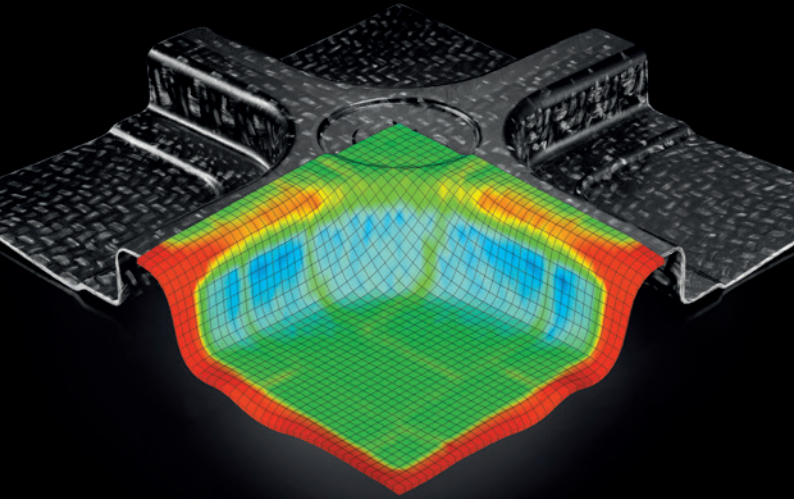


QUALITY PERFORMS.



Hinweise für den Verarbeiter

X Tepex®

QUALITY WORKS.

LANXESS
Energizing Chemistry

INHALTSVERZEICHNIS

04	1. ÜBER TEPEX®	28	3. AUSLEGUNG VON WERKZEUGEN UND HANDLINGSYSTEMEN
06	1.1 Matrixsysteme	28	3.1 Drapieren von Tepex®
07	1.2 Verstärkungsfasern	30	3.2 Auslegungshinweise bezüglich des speziellen Umformverhaltens von Tepex®
06	1.2.1 Glasfasern	32	3.3 Gestaltung der Werkzeugkavität
08	1.2.2 Kohlenstofffasern	33	3.4 Integration von Löchern
09	1.3 Faser-Matrix Haftung und Aufgabenteilung zwischen Faser und Matrix	34	3.5 Auslegungshinweise zum Überspritzen von Tepex®
10	1.4 Textile Halbzeuge	34	3.5.1 Rippengestaltung
12	1.5 Aufbauten von Tepex®-Laminaten	35	3.5.2 Gestaltung der Randbereiche
13	1.6 Tepex®-Familie	36	3.5.3 Patchen bzw. Überlappen von Tepex®
13	1.6.1 Tepex® dynalite	36	3.6 Allgemeine Auslegungshinweise zum Handling von Tepex®
13	1.6.2 Tepex® optilite		
14	1.6.3 Tepex® flowcore		
14	1.7 Nomenklatur		
16	1.8 Tepex®-Eigenschaften		
17	2. VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BAUTEILEN AUS TEPEX®	37	4. VERBINDUNGSTECHNIKEN FÜR TEPEX®
17	2.1 Aufheizen	38	4.1 Kleben
19	2.2 Umformverfahren	39	4.2 Fügen durch Spritzgießen
19	2.2.1 Diaphragmaverfahren	39	4.3 Mechanische Fügeverfahren
20	2.2.2 Umformen mit Gummistempeln	40	4.4 Schweißen
21	2.2.3 Umformen mit Metallwerkzeugen		
21	2.2.4 Fließpressen von Tepex® flowcore		
22	2.3 Kombinationstechnologien	41	5. RECYCLING VON TEPEX®
24	2.3.1 Insert-Molding (Kombination mit Spritzgießen)	43	6. KONSTRUKTION UND BERECHNUNG VON BAUTEILEN AUS TEPEX®
25	2.3.2 Hybrid-Molding (Kombination mit Spritzgießen)	44	6.1 FEM-Berechnungen: Voraussetzungen und Besonderheiten
26	2.3.3 Compression-Molding (Kombination mit LFT-Fließpressen)	45	6.2 Drapiersimulation
26	2.4 Variotherme Prozessführung	46	6.3 Integrative Simulation
		47	6.4 Simulation des Abkühlverhaltens
		48	6.5 Bauteile aus Tepex® selbstständig auslegen
		48	7. HIA NT® – SERVICE ENTLANG DER GESAMTEN ENTWICKLUNGSKETTE
		50	8. DANKSAGUNG

1. ÜBER TEPEX®

Unser thermoplastischer Hochleistungsverbundkunststoff **Tepex®** hat sich als großserientauglicher Leichtbauwerkstoff für die verschiedensten Anwendungen etabliert. Seine gleichbleibende Qualität und die thermoplastische Matrix machen ihn zu einem idealen Werkstoff für vollautomatisierbare und reproduzierbare Fertigungs- bzw. Verarbeitungsprozesse. **Tepex®** wird im Automobilbau, der Sportindustrie, im Bereich der Unterhaltungselektronik aber auch in diversen anderen Branchen genutzt.

Tepex® steht für eine Werkstoffgruppe vollständig imprägnierter und konsolidierter, plattenförmiger Verbundhalbzeuge aus hochfesten Endlosfasern (bzw. Langfasern im Falle von **Tepex®** flowcore) und einer thermoplastischen Matrix. Diese – in dieser Broschüre auch oftmals – so genannten Organobleche lassen sich durch Erwärmung und anschließender Umformung in kurzen Zykluszeiten zu komplexen Bauteilen verarbeiten. Als Endlosfasern dienen hauptsächlich Glas- und/oder Carbonfasern in Form von Geweben, Gelegen oder anderen textilen Halbzeugen. Matrixmaterialien sind Thermoplaste wie Polypropylen, Polyamid 6, Polyamid 66 und Polyamid 12, Polycarbonat, thermoplastisches Polyurethan und Polyphenylsulfid. Die Stärken von **Tepex®** lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- hohe Steifigkeit
- sehr hohe Festigkeit
- hohes Leichtbaupotenzial durch geringe Dichte
- sehr kurze Zykluszeiten bei der Bauteilfertigung
- thermoplastische Matrix ermöglicht das Umspritzen und Schweißen
- hohe Formgebungsfreiheit
- Lösungsmittelfreiheit
- werkstofflich rezyklierbar
- sehr hohes Energieabsorptionsverhalten
- niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient
- gute Form-, Chemikalien- und Korrosionsbeständigkeit

Diese Broschüre gibt einen Überblick über den Aufbau von **Tepex®**, seine Eigenschaften und seine Verarbeitungsmöglichkeiten. Außerdem lernen Sie unsere Serviceleistungen **HiAnt®** kennen, mit denen wir Sie auf allen Schritten der Entwicklung von Bauteilen aus **Tepex®** und bei deren Fertigung unterstützen.



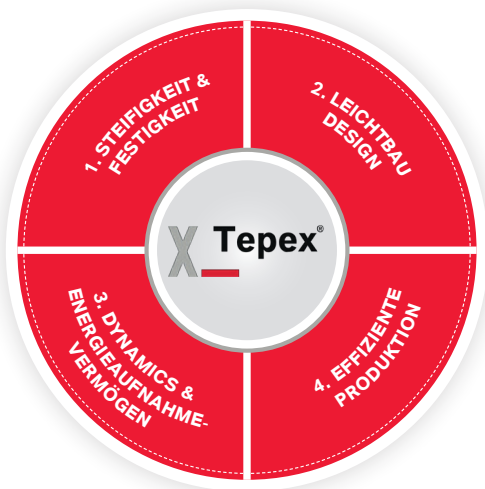
1.1 Matrixsysteme

Für **Tepex®** werden ausschließlich thermoplastische Kunststoffe als Matrixwerkstoff genutzt. Ihre Eigenschaften wirken sich insbesondere bei der Verarbeitung günstig aus. So lassen sich mit thermoplastischen Matrices sehr kurze Zykluszeiten realisieren und die Arbeitshygiene ist unkritisch. Darüber hinaus bieten thermoplastisch basierte Faser-Kunststoff-Verbunde die Möglichkeit, sie mit anderen thermoplastischen Kunststoffen gleicher Matrix und deren Verarbeitungsverfahren zu kombinieren. Damit lässt sich die konstruktive Freiheit bei der Bauteilgestaltung deutlich erhöhen.

Die irrige Auffassung, die Matrixwerkstoffe dienen lediglich als Klebstoff für die Verstärkungsfasern, während die eigentlichen Verbundeigenschaften ausschließlich von den Fasern bestimmt werden, ist weit verbreitet.

Dem Matrixsystem kommen wesentliche Aufgaben zu:

- Kräfte in die Faser einzuleiten
- Kräfte von Faser zu Faser überzuleiten
- Fasern vor Umgebungseinflüssen zu schützen
- Fixierung der Fasern in der gewünschten geometrischen Anordnung
- Übernahme von mechanischen Lasten insbesondere bei Beanspruchung quer zur Faserrichtung und bei Schubbelastung



Für **Tepex®** kommen standardmäßig folgende Thermoplaste zum Einsatz:

- Polyamid (PA) 6, 6.6 und 12
- Polypropylen (PP)
- Thermoplastisches Polyurethan (TPU)
- Polyphenylensulfid (PPS)
- Polycarbonat flammresistent (PC fr)

1.2 Verstärkungsfasern

Wie bei allen anderen Faser-Kunststoff-Verbunden auch, haben die Fasern bei **Tepex®** die Aufgabe, die am Bauteil anliegenden Lasten zu übernehmen. Hierzu müssen diese eine hohe Steifigkeit und Festigkeit sowie eine möglichst geringe Dichte mitbringen. Die Erfahrung zeigt, dass die meisten Werkstoffe in Faserform vielfach höhere mechanische Eigenschaften aufweisen als in ihrer kompakten Form. Diesem sogenannten Paradoxon der Faserform verdanken das Glas und der Kohlenstoff seine hervorragende Eignung als Verstärkungsfasern, obwohl diese eigentlich nicht zu den klassischen Konstruktionswerkstoffen zu zählen sind.

1.2.1 Glasfasern

Die Glasfaser ist eine anorganische Faser, deren hohe Festigkeit auf der starken kovalenten Bindung (Atombindung) zwischen Silizium und Sauerstoff basiert (SiO_2 = Quarz). Glasfasern entstehen aus einer Schmelze, die schnell abgekühlt wird, um die Kristallisation zu verhindern und ein dreidimensionales Netzwerk mit amorpher Struktur entstehen zu lassen. Daher besitzt die Glasfaser isotrope Eigenschaften.

Zusammenfassung der Eigenschaften von Glasfasern:

- gute Wirtschaftlichkeit bei hohen mechanischen Kennwerten
- sehr hohe Zug- und Druckfestigkeit
- ausgezeichnete thermische und elektrische Isolationsfähigkeit
- vollkommene Unbrennbarkeit
- keine Feuchtigkeitsaufnahme
- Resistent gegen Verderb

Je nach chemischer Zusammensetzung unterscheidet man unterschiedliche Fasertypen, wobei das E-Glas der mit Abstand gebräuchlichste Typ

ist und meist auch für **Tepex®** eingesetzt wird. Glasfasern haben einen Durchmesser zwischen 9 und 24 µm. Die Feinheit eines Glasfaserstrangs oder -rovings (Bündel aus parallelen Endlosfasern), Titer genannt, wird in der Einheit tex (1 tex = 1 g/1000 m) angegeben.

Diese Größe ist ein Maß für den Durchmesser und die Anzahl der einzelnen Filamente in einem Glasfaserstrang (Garn oder Roving). Feine Typen mit einem Titer < 300 tex werden idR als Filamentgarne bezeichnet, während Typen mit einem Titer > 300 tex zu den Rovinggarnen zählen. Die jeweiligen Garnfeinheiten können den entsprechenden **Tepex®**-Datenblättern entnommen werden.

1.2.2 Kohlenstofffasern

Als Kohlenstofffasern bezeichnet man solche technischen Fasern, welche in einem Temperaturbereich von 1300 bis 3000 °C aus einem Precursor (meist PAN-Faser) hergestellt und deren Kohlenstoff-Gehalt zwischen 92 und 99,9 Gew.-% liegt. Kohlenstofffasern sind aus einzelnen Schichten aufgebaut (Graphitstruktur), wobei die hohe Festigkeit und der hohe E-Modul auf der starken kovalenten Bindung (Atombindung) zwischen den einzelnen Kohlenstoffatomen innerhalb dieser Schichten basieren. Zwischen den einzelnen Schichten herrschen dagegen nur schwache Bindungen, sodass sich quer zur Faserrichtung vergleichsweise geringe Eigenschaften einstellen. Die Kohlenstofffaser ist aufgrund ihres extremen Eigenschaftsprofils die Herausragende unter allen Verstärkungsfasern.

Zusammenfassung der Eigenschaften von C-Fasern:

- sehr geringe Dichte
- extrem hohe Festigkeiten und sehr hohe E-Module
- nahezu linear-elastisches Verhalten
- ausgeprägte Anisotropie
- sehr geringer Wärmeausdehnungskoeffizient, in Faserrichtung sogar negativ
- Beständigkeit gegen die meisten Säuren und Alkalien, Verträglichkeit im menschlichen Körper
- gute elektrische Leitfähigkeit

Auch Kohlenstofffasern werden in verschiedene Typen unterteilt, die sich in ihren mechanischen Eigenschaften teilweise erheblich unterscheiden. Die wirtschaftlich attraktivste und für **Tepex®** meist genutzte Faser ist die HT-Faser, die eine sehr hohe Festigkeit und gute Steifigkeiten aufweist. C-Fasern haben einen Durchmesser zwischen 5 und 10 µm. Die übliche Lieferform von C-Fasern ist ähnlich wie bei Glasfasern ein endloses, auf eine Spule aufgewickelter Tow bzw. Roving. Diese Tows bestehen aus

mehreren Einzelfilamenten, wobei die Anzahl dieser Filamente in einem Tow mit der K-Zahl (1 K = 1000 Filamente/Tow) angegeben wird. Kohlenstofffasern mit einer K-Zahl größer 24 bezeichnet man als sogenannte „Heavy-Tows“.

1.3 Faser-Matrix Haftung und Aufgabenteilung zwischen Faser und Matrix

Ein Verbundwerkstoff besitzt nur dann optimale Eigenschaften, wenn die auftretenden Kräfte in die Fasern eingeleitet und von Faser zu Faser übertragen werden können. Voraussetzung dafür ist eine gute Haftung zwischen Faser und Matrix. Durch die gezielte Auswahl einer für jeden Kunststoff angepassten Schlichte, die nach der Faserherstellung auf die Faser aufgebracht wird, sowie einer gegebenenfalls notwendigen Additivierung des Thermoplasten mit einem Haftvermittler wird für **Tepex®** immer eine optimale Kopplung der Faser an die Matrix sichergestellt.

Die Aufgabenteilung zwischen Faser und Matrix lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

Bild 1: Darstellung der Relevanz der Komponente im Composite

		● Faser ● Matrix
Mechanische Eigenschaften	Steifigkeit	
	Festigkeit	
	Schlagzähigkeit	
Technische & chemische Eigenschaften	Elektrische Eigenschaften	
	Temperaturbeständigkeit	
	Chemische Beständigkeit	
	Korrosionsverhalten	
Verarbeitungseigenschaften		

Hervorzuheben ist die Tatsache, dass die Verarbeitungseigenschaften fast ausschließlich durch den Matrixwerkstoff bestimmt werden. Hierauf wird in den folgenden Kapiteln dieser Broschüre näher eingegangen.

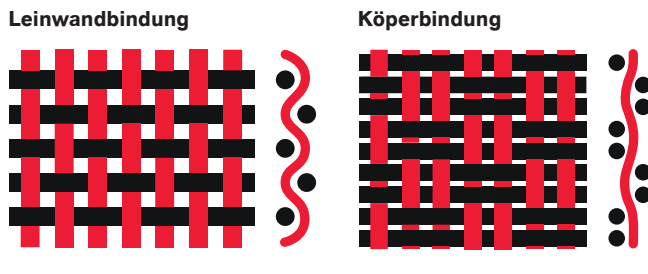
1.4 Textile Halbzeuge

Um Faserverbundmaterialien hinsichtlich der notwendigen Faserorientierung aber auch im Sinne einer effizienten und reproduzierbaren Bauteilfertigung optimal zu gestalten, werden spezielle textile Halbzeuge zu deren Herstellung eingesetzt. Für **Tepex®** werden vornehmlich drei verschiedene Arten von textilen Halbzeugen herangezogen:

- Textile mit 0°/90°-Faserorientierung: bidirektionale Gewebe
- Textile mit unidirektionaler Faserorientierung: unidirektionale Gewebe oder Gelege
- Textile mit quasiisotropen Eigenschaften: Wirrfasermatten (Non-Wovens)

Gewebe sind Flächengebilde aus rechtwinklig kreuzenden Kett- und Schußfäden, woraus sich die bidirektionale Verstärkungswirkung in 0° und 90° ergibt. Man unterscheidet bei Geweben unterschiedliche Bindungsarten, wobei für **Tepex®** meist die Leinwand- und die Körperbindung eingesetzt wird (Bild 2). Die Körperbindung stellt einen guten Kompromiss zwischen erzielbaren mechanischen Eigenschaften, Umformbarkeit und Handhabung dar, daher hat sich diese Bindungsart in der Faserverbundtechnik weitgehend durchgesetzt. Für viele Anwendungen werden aufgrund seiner einfachen Handhabung aber auch Leinwandgewebe eingesetzt.

Bild 2: Schematische Darstellung einer Leinwandbindung (links) und einer Körperbindung (rechts)



Haben Gewebe einen sehr hohen Anteil an Kett- oder Schußfäden spricht man von unidirektionalen Geweben, die eine Verstärkungswirkung hauptsächlich in 0° oder 90° aufweisen.

Als Gelege bezeichnet man ein Flächengebilde, das aus einer oder mehreren Lagen von parallel verlaufenden, gestreckten Fäden besteht. Die Verstärkungsrichtung kann mit diesem textilen Halbzeug innerhalb gewisser Grenzen nahezu beliebig eingestellt werden.

Die verschiedenen Verstärkungsarten finden sich auch im Tepex®-Code wieder:

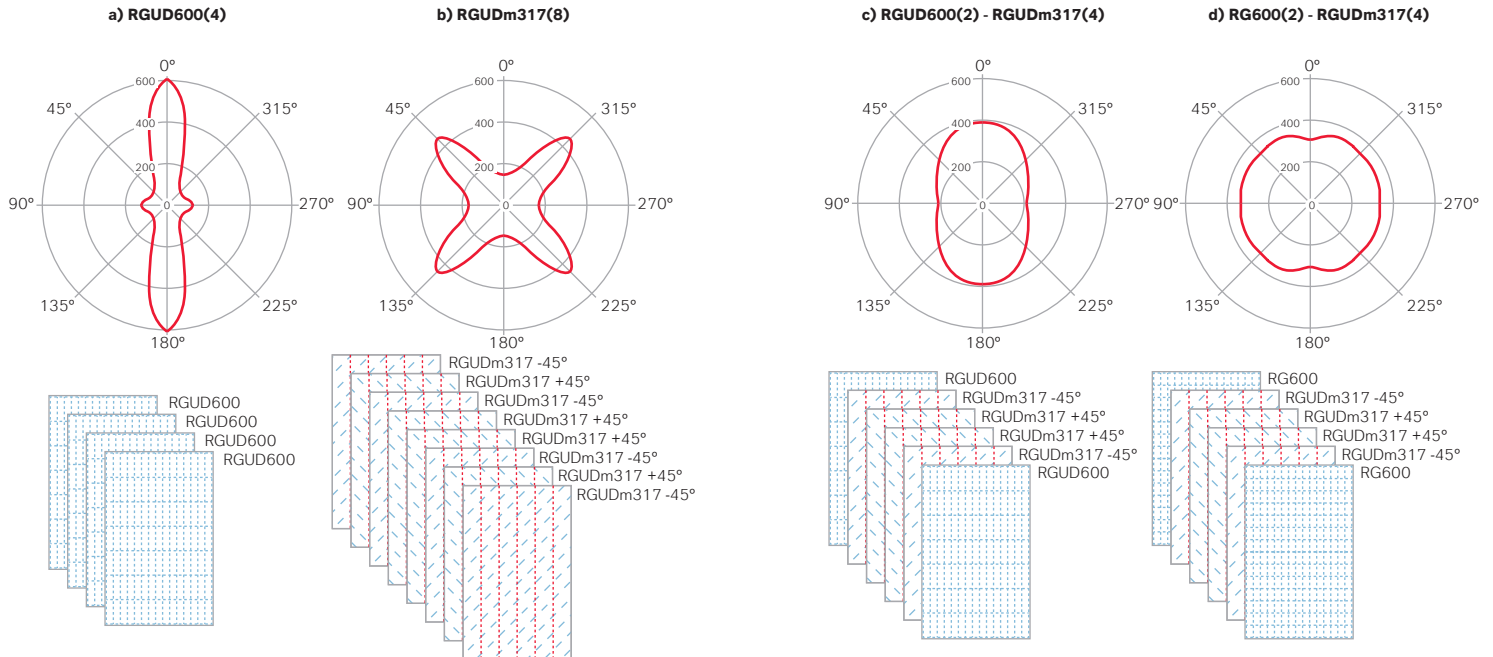
- C: **Carbongewebe**
- RG: **Rovingglasgewebe**
- FG: **Filamentglasgewebe**
- CUD: **Carbongewebe unidirektional**
- RGUD: **Rovingglasgewebe unidirektional**
- RGUDm: **Rovingglasgelege unidirektional**, geeignet für **multiaxiale** Aufbauten

1.5 Aufbauten von Tepex®-Laminaten

In den seltensten Fällen werden Faserverbund-Konstruktionen ausschließlich einachsig belastet, so dass nur eine Faserrichtung ausreichend wäre. Die oft mehrachsige Belastung des Werkstoffes erfordert daher zumeist mehrere Faserorientierungen, woraus sich unterschiedliche Laminataufbauten (Mehrschichtverbunde) ergeben.

Grundsätzlich können für Tepex® alle oben genannten textilen Halbzeuge miteinander kombiniert werden. Damit wird dem Konstrukteur die Chance eröffnet, das Laminat belastungsgerecht auszulegen. Neben den klassischen gewebefaserverstärkten Laminaten lassen sich somit auch multiaxiale Aufbauten bis hin zu quasiisotropen Eigenschaften realisieren, wie dies in Bild 3 beispielhaft dargestellt ist.

Bild 3: Beispielhafte Laminataufbauten mit Tepex®, (Festigkeit eines glasfaserverstärkten PA6 als Funktion des Winkels, Darstellung als Polardiagramm inkl. der jeweiligen Laminataufbauten)



1.6 Tepex®-Familie

1.6.1 Tepex® dynamite

Die Tepex® dynamite Materialien bestehen aus einer oder mehreren Lagen textiler Halbzeuge mit kontinuierlichen Fasern, die in einer Matrix aus technischen Thermoplasten eingebettet sind. Dieser Typ ist vollständig imprägniert und konsolidiert, alle Fasern sind also mit Kunststoff ummantelt und es befinden sich keine Luftporen im Material. Somit liefert Tepex® dynamite maximale Festigkeit und Steifigkeit bei sehr geringer Dichte.

1.6.2 Tepex® optilite

Tepex® optilite ist für Anwendungen maßgeschneidert, die neben einer maximalen Festigkeit und Steifigkeit eine ästhetisch ansprechende Optik bei minimaler Dicke mitbringen müssen. Tepex® optilite kann den individuellen Designanforderungen hinsichtlich Farbe und Gewebearchitektur angepasst werden.

1.6.3 Tepex® flowcore

Die in Tepex® flowcore enthaltenen Fasern haben eine endliche Länge, daher eignet sich dieser Materialtyp für das Fließpressen und gestattet somit einen erhöhten Spielraum bei der Formgebung. Auch hier sind die Fasern vollständig imprägniert und konsolidiert. Zur flowcore Familie zählen auch Aufbauten, die aus einer Kombination aus Endlos- (Tepex® dynalite) und Langfasern (Tepex® flowcore) bestehen. Typischerweise werden dabei die Endlosfasern auf die Außenseite des Laminats, die Langfasern in die Mitte des Laminats gelegt. Somit erhält man einen Faserverbundwerkstoff mit maximaler Biegesteifigkeit, der gleichzeitig die Ausformung komplexer Bauteile gestattet.

1.7 Nomenklatur

Ein Faserverbundwerkstoff wird durch die Angabe folgender Informationen eindeutig beschrieben:

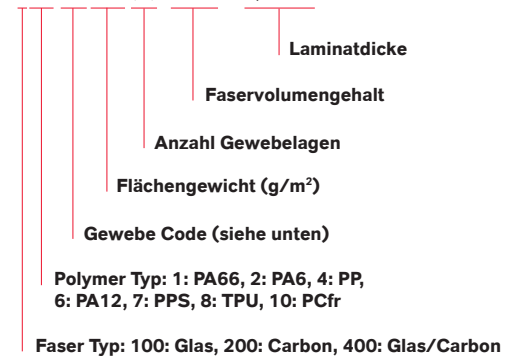
- Faserart (Glas, Carbon ...)
- Art des textilen Halbzeugs (Gewebe, Gelege ...)
- Kunststoff (PP, PA6 ...)
- Anzahl Lagen des Laminats
- Faservolumenanteil
- Richtung der Faseranordnung

Da Tepex® vollständig imprägniert und konsolidiert ist, lassen sich hieraus alle anderen Werte wie z. B. Laminatdicke und Fasergewichtsanteil berechnen. Aus dem Materialcode von Tepex® lassen sich alle relevanten Informationen ablesen:

Bild 4: Aufschlüsselung des Tepex® Materialcodes

Tepex® dynalite

108-FG290(4)/45% – 1,0 mm



Fabric Code:

FG = Filament Glas

FGAL = FG Alu beschichtet silber

FGc = FG gefärbt

RG = Roving Glas

RGUD = RG Uni-Direktional

RGR = RG Wirrfaser

C = Carbon

CUD = Carbon Uni-Directional

1.8 Tepex®-Eigenschaften

Faserkunststoffverbunde zeichnen sich insbesondere durch ihre hohe Steifigkeit und sehr hohe Festigkeit bei gleichzeitig sehr geringer Dichte aus. Dies sind die Eigenschaften eines idealen Leichtbauwerkstoffes. Die folgende Tabelle enthält die wesentlichen Kennwerte einiger Standard-Tepex®-Typen:

Bild 5: Materialkennwerte ausgewählter Tepex®-Materialien

Tepex®-Material	Faser	Polymer	Dichte (kg/dm ³)	Faservolumengehalt (Vol.-%)	Zugfestigkeit (MPa)	Zugmodul (GPa)	Biegefestigkeit (MPa)	Biegemodul (GPa)	Glasübergangstemperatur (°C)	Kristallschmelztemperatur (°C)
STANDARDMATERIALIEN										
Schnelle Werkstoffauswahl										
Tepex® dynalite 101	E-Glas Roving	PA 66	1,81	47	380	23	560	20	(-)	260
Tepex® dynalite 201	Carbon	PA 66	1,46	50	700	55	840	48	(-)	250
Tepex® dynalite 102	E-Glas Roving	PA 6	1,80	47	390	23	580	20	(-)	220
Tepex® flowcore 102	E-Glas Roving	PA 6	1,80	47	L= 260 T= 220 ⁽¹⁾	L= 19 T= 14 ⁽¹⁾	L= 450 T= 300 ⁽¹⁾	L= 18 T= 14 ⁽¹⁾	(-)	220
Tepex® dynalite 104	E-Glas Roving	PP	1,68	47	430	20	370	17	(-)	165
Tepex® dynalite 108	E-Glas Filament	TPU	1,82	45	440	23	650	21	94	(-)
Tepex® dynalite 210fr	Carbon	PC(fr)	1,47	45	550	48	750	44	100	(-)

¹ L = Longitudual; T = Transversal

2. VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BAUTEILEN AUS TEPEX®

Der Prozessablauf zur Herstellung von Bauteilen aus Tepex® enthält folgende Schritte:

1. Aufheizen des Organoblechzuschnitts oberhalb der Schmelztemperatur* des thermoplastischen Kunststoffes
2. Transport des erwärmten Zuschnitts zum Werkzeug
3. Aufnahme und Positionierung des erwärmten Zuschnitts im Werkzeug
4. Umformung mittels geeigneter Werkzeugtechnik
5. Gegebenenfalls Anspritzen oder Anpressen einer weiteren thermoplastischen Komponente (Kombinationstechnologien)
6. Abkühlung und Entnahme aus dem Werkzeug

Aufgrund dieses Verfahrensablaufs wird die Umformung von Tepex® auch als Thermoformen bezeichnet. Hierbei ist aber zu beachten:

- dass Organobleche nicht wie beim klassischen Thermoformen im kautschukelastischen Temperaturbereich umgeformt werden, sondern oberhalb der Schmelztemperatur*.
- dass mittels geeigneter Werkzeugtechnik und Prozessführung während der Umformung und des Abkühlens ein allseitiger und gleichförmiger Druck am Tepex®-Halbzeug anliegt.

Im Folgenden werden das Aufheizen sowie die einzelnen Umformverfahren bzw. -techniken kurz vorgestellt, nähere Informationen bezüglich der Umformmechanismen von Organoblechen und der hieraus resultierenden Werkzeugauslegung können Kapitel 3 entnommen werden.

2.1 Aufheizen

Durch das Aufheizen von Tepex® wird die Viskosität des thermoplastischen Kunststoffes so weit herabgesetzt, dass die einzelnen Fasern wäh-

*Exakter: Temperaturbereich oberhalb der Kristallschmelztemperatur bei teilkristallinen Kunststoffen bzw. der Glasübergangstemperatur bei amorphen Kunststoffen

rend des Umformvorgangs ausreichend Bewegungsfreiheit erhalten. Nur so lassen sich die in Kapitel 3 erläuterten Drapiermechanismen realisieren sowie Faltenbildung und Risse im Material vermeiden.

Folgende Randbedingungen sind dabei einzuhalten:

- die Umformung von Tepex® muss grundsätzlich oberhalb der Schmelztemperatur* des eingesetzten thermoplastischen Kunststoffes erfolgen
- die Aufheiztemperatur ist ausreichend hoch zu wählen, so dass die Fasern auch nach dem Transport in das Werkzeug im Moment der Schließbewegung noch ausreichend Bewegungsfreiheit haben (Transportzeit bzw. -weg möglichst kurz halten)
- die Aufheiztemperatur und -zeit ist so zu wählen, dass oxidative Schädigungen vermieden werden
- der Aufheizprozess ist so zu gestalten, dass sich eine absolut gleichmäßige Temperaturverteilung über der gesamten Tepex®-Fläche einstellt
- die Temperaturregelung ist derartig zu konzipieren, dass Temperaturüberhöhungen bzw. -spitzen vermieden werden
- das Aufheizen sollte im Sinne einer effizienten Prozessführung nicht zur zykluszeitbestimmenden Größe werden

Dazu stehen prinzipiell folgende Methoden zur Verfügung:

- Aufheizen durch Strahlung (Infrarot)
- Aufheizen durch Konvektion (Luftströmung)

Bei der Infrarot-Strahlung handelt es sich um elektromagnetische Wellen im Spektralbereich zwischen sichtbarem Licht und Mikrowellenstrahlung. Die Halbzeugzuschnitte absorbieren die IR-Strahlung und heizen sich dadurch auf. Über Wärmeleitung erhitzt sich auch das Innere des Verbundes. Da Thermoplaste und Fasern im IR-Bereich ein hohes Absorptionsvermögen besitzen, ist die Wärmeübertragung sehr wirkungsvoll.

Ein ebenfalls stark verbreitetes Aufheizverfahren in der Kunststofftechnik ist Umlufttechnik. Umluftöfen mit Materialzuführung nach dem Paternoster-Prinzip gibt es für eine Vielzahl von Anwendungsfällen.

2.2 Umformverfahren

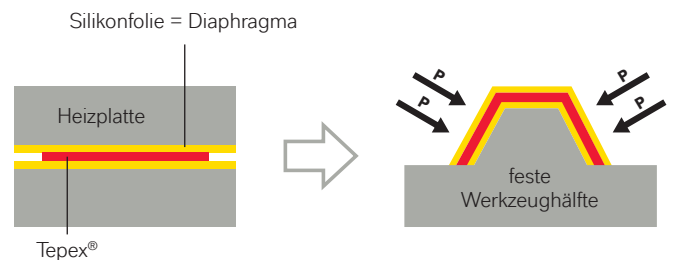
Für die Umformung von Tepex® existieren eine Vielzahl verschiedener Umformverfahren. Deren Auswahl richtet sich im Wesentlichen nach der Bauteilkomplexität und der herzustellenden Stückzahl. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren kurz beschrieben.

2.2.1 Diaphragmaverfahren

Das Diaphragmaformen ist das älteste Fertigungsverfahren zur Herstellung dünnwandiger Bauteile aus kontinuierlich faserverstärkten Thermoplasten.

Beim Diaphragmaformen wird das Halbzeug zwischen zwei hochelastische Folien platziert, der gesamte Aufbau mittels Strahlung oder Konduktion über Schmelztemperatur* der Matrix erwärmt und anschließend in die Umformstation transportiert. Die Druckglocke wird geschlossen, wobei die Diaphragmen als Dichtungen wirken. Das so aufgewärmte Laminatpaket wird auf dem formgebenden Werkzeug platziert und anschließend mit Druckluft beaufschlagt. Zur Unterstützung des Umformprozesses kann am Werkzeug ein zusätzliches Vakuum angelegt werden.

Bild 6: Schematische Darstellung der Diaphragmaformung von Tepex®



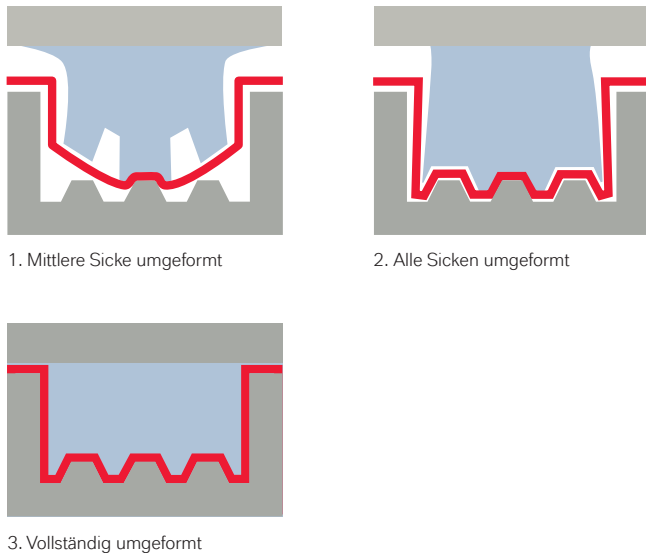
Vorteile dieses Verfahrens sind die geringen Investitionskosten und die Möglichkeit, unterschiedliche Materialdicken mit einem Werkzeug umformen zu können. Das Verfahren benötigt relativ lange Zykluszeiten und eignet sich eher für einfache Bauteilgeometrien, auch wenn leichte Hinterschnidungen möglich sind.

*Exakter: Temperaturbereich oberhalb der Kristallitschmelztemperatur bei teilkristallinen Kunststoffen bzw. der Glasübergangstemperatur bei amorphen Kunststoffen

2.2.2 Umformen mit Gummistempeln

Bei diesem Pressverfahren besteht das formgebende Werkzeug aus einem festen Unterwerkzeug, welches der Außenseite der Bauteilgeometrie entspricht und einem Oberwerkzeug, das aus Silikon besteht. Durch Schließen des Werkzeugs bei geringen Drücken wird Tepex® zu einem Bauteil umgeformt.

Bild 7: Schematische Darstellung der Verformung von Tepex® mittels Gummistempel



Der Silikonstempel ermöglicht durch seine hohe Elastizität ein sequentielles Umformen, wodurch die notwendige, gleichmäßige Druckverteilung während der Umformung gewährleistet werden kann (siehe hierzu auch Kapitel 3). Es ist auf eine entsprechende Entlüftung zu achten. Das Umformen mit Gummistempeln eignet sich aufgrund der geringen Investitionskosten und der einfachen Optimierung des Gummistempels für Prototypen und kleinere Serien. Das Verfahren hat aber auch bei einfacheren Geometrien seine Großserientauglichkeit bewiesen.

2.2.3 Umformen mit Metallwerkzeugen

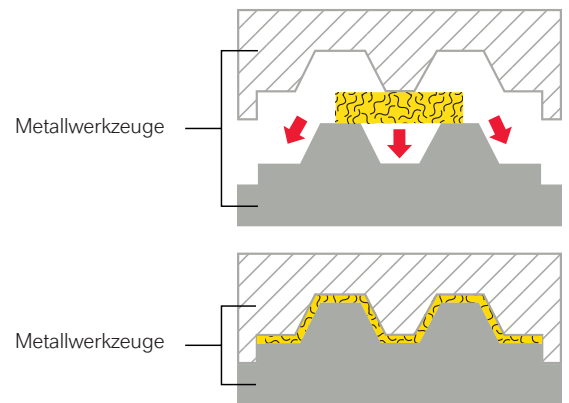
In den meisten Fällen wird Tepex® mittels Metallwerkzeugen umgeformt. Dabei bestehen beide Werkzeughälften aus Metall bzw. Stahl, die polymerabhängig temperiert werden. (engl.: Matched Metal-Molding). Bei der Auslegung des Werkzeugs ist besonderes Augenmerk auf die Kavität zu legen. Aufgrund des speziellen Umformmechanismus von Organoblechen sind hierbei grundlegende Aspekte zu beachten, hierzu wird an dieser Stelle auf Kapitel 3 verwiesen.

Mit dieser Umformtechnik lassen sich in Verbindung mit einer geeigneten Automatisierung sehr kurze Zykluszeiten sowie ein sehr reproduzierbarer Prozess realisieren. Darüber hinaus zeigen die so hergestellten Bauteile eine nur geringe Verzugsneigung. Dem gegenüber stehen höhere Investitionen und ein höherer Aufwand bei der Auslegung. Das Verfahren eignet sich damit besonders für die Großserie.

2.2.4 Fließpressen von Tepex® flowcore

Wie bereits einleitend beschrieben, ist Tepex® flowcore aufgrund seiner Verstärkung mit endlichen Faserlängen von ca. 30 bis 50 mm für das Fließpressen geeignet. Somit lassen sich auch komplexere Bauteilgeometrien realisieren. Auch die Ausformung von Rippen und Funktionselementen wird möglich. Das Fließpressen ist in der Kunststofftechnik ein weit verbreitetes Verfahren, das sich durch seine hohe Reproduzierbarkeit und geringen Taktzeiten auszeichnet.

Bild 8: Fließpressen von Tepex® flowcore



Ähnlich wie bei den bekannten thermoplastischen Fließpressmassen GMT oder LFT wird ein genau definiertes Volumen **Tepex®** flowcore zunächst aufgeheizt und danach an geeigneter Stelle im Werkzeug platziert. Die Formteilbildung bzw. die Füllung des Werkzeugs wird durch den Schließvorgang des Werkzeugs hervorgerufen, welcher eine Fließbewegung des Plastifikats induziert. Üblicherweise werden hierzu Tauchkanalwerkzeuge eingesetzt.

2.3 Kombinationstechnologien

Die Kombination von **Tepex®** mit kurz- oder langfaserverstärkten Kunststoffen mit demselben Matrixsystem und deren Verarbeitungsprozessen Spritzgießen und Fließpressen bietet darüber hinaus die hervorragende Möglichkeit, neben dem werkstofflichen auch konstruktiven Leichtbau z. B. durch Anspritzen von

- versteifenden und stabilisierenden Rippen
- Kräfteinleitungselementen
- Funktionselementen
- Konturen im Randbereich des Bauteils zu betreiben.

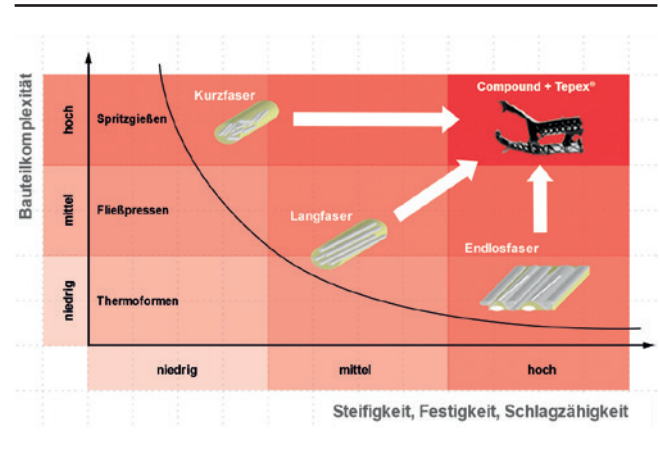
Bei geeigneter Materialauswahl und Prozessführung erhält man ein Bauteil mit einer stoffschlüssigen Verbindung der beiden Komponenten (siehe Abbildung 9).

Diese im Folgenden vorgestellte Verfahrensinnovation geht zurück auf das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Sprifom“, welches mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Diese Technik hat sich seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Der Maschinenhersteller Krauss-Maffei vermarktet diese Kombinationstechnologie unter dem Namen „FiberForm“, der Maschinenhersteller Engel unter dem Namen „Organomelt“. Grundsätzlich wird zwischen einem zweistufigen (in dieser Broschüre Insert-Molding genannt) und einem einstufigen Prozess (in dieser Broschüre Hybrid-Molding genannt) unterschieden. Beide Verfahren einen folgende Vorteile:

- größere Formgebungsfreiheit
- Möglichkeit der Integration von weiteren Funktionen und damit Reduktion von Folgeschritten
- Kombination von werkstofflichem und konstruktivem Leichtbau

- kurze Zykluszeiten
- reproduzierbare und voll automatisierbare Prozesse
- verfügbare und beherrschbare Anlagentechnik

Bild 9: Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten von Tepex® mit Compounds



Unabhängig von der gewählten Technologie muss eine gute Verbundfestigkeit zwischen den beiden Komponenten durch Verschweißen gewährleistet sein. Diese Verbundhaftung hängt im Wesentlichen von der Temperatur des Organoblechs und der Temperatur der Schmelze im Moment des Anspritzens ab. Daraus ergeben sich folgende verfahrenstechnische Schlussfolgerungen, die durch entsprechende Untersuchungen bestätigt werden können:

1. Umso höher die Temperatur des Organoblechs und je höher die Temperatur der angespritzten Schmelze, umso besser die Verbundhaftung. Da mit relativ hohen Schmelztemperaturen* angespritzt wird und sich eine Kontakttemperatur an der Verbindungsstelle ergibt, können meist auch Organoblech-Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur* ausreichen.
2. Die Transferzeit zwischen Aufheizen des Organoblechs und der Umformung sollte so kurz wie möglich sein, um ein Abkühlen zu vermeiden (gilt generell).

*Exakter: Temperaturbereich oberhalb der Kristallitschmelztemperatur bei teilkristallinen Kunststoffen bzw. der Glasübergangstemperatur bei amorphen Kunststoffen

3. Die Einspritzgeschwindigkeit hat einen signifikanten Einfluss auf die Verbundhaftung. Je höher diese gewählt wird, umso mehr Scherung bringt man in die Schmelze ein und umso geringer sind die Abkühlereffekte, was sich positiv auf die Verschweißung auswirkt. Insbesondere in angusfernen Bereichen kommt dieser Effekt zum Tragen.
4. Ein hoher Nachdruck wirkt sich ebenfalls positiv auf die Verbundfestigkeit aus.

2.3.1 Insert-Molding (Kombination mit Spritzgießen)

Beim Insert-Molding-Verfahren findet das Umformen des Organoblechs und das Über- bzw. Anspritzen mit dem kurz- oder langfaserverstärktem Kunststoff in jeweils getrennten Werkzeugen und Maschinen statt. Um eine stoffschlüssige Verbindung bzw. Verschweißung mit der angespritzten Kunststoffmasse zu erzielen, empfiehlt es sich, das zunächst vorgeformte Bauteil (Insert) noch einmal zu erwärmen, bevor es in der Spritzgießform positioniert wird. Nur so erreicht man die gewünschte Verschweißung der beiden Komponenten.

2.3.2 Hybrid-Molding (Kombination mit Spritzgießen)

Beim Hybrid-Molding hingegen erfolgen die Umformung des Organoblechs und das Anspritzen gemeinsam im Spritzgießwerkzeug. Die Schließeinheit der Spritzgießmaschine dient dabei als Umformpresse. Das Werkzeug, welches somit diverse Aufgaben zu übernehmen hat, muss für diesen Prozess speziell ausgelegt werden. Hinweise zur Auslegung finden sich in Kapitel 3. Um werkzeugfallende Teile ohne Nachbearbeitung herzustellen, werden die Organoblechhalbzeuge als endkonturnahe Zuschnitte zur Verfügung gestellt. Diese Zuschnitte stellen eine drapiergerechte Abwicklung des herzustellenden Bauteils dar, die sich mittels der Drapieranalyse berechnen lässt (siehe hierzu auch Kapitel 6: „Konstruktion und Berechnung von Bauteilen“).

Bild 10: Insert-Molding mit Tepex®

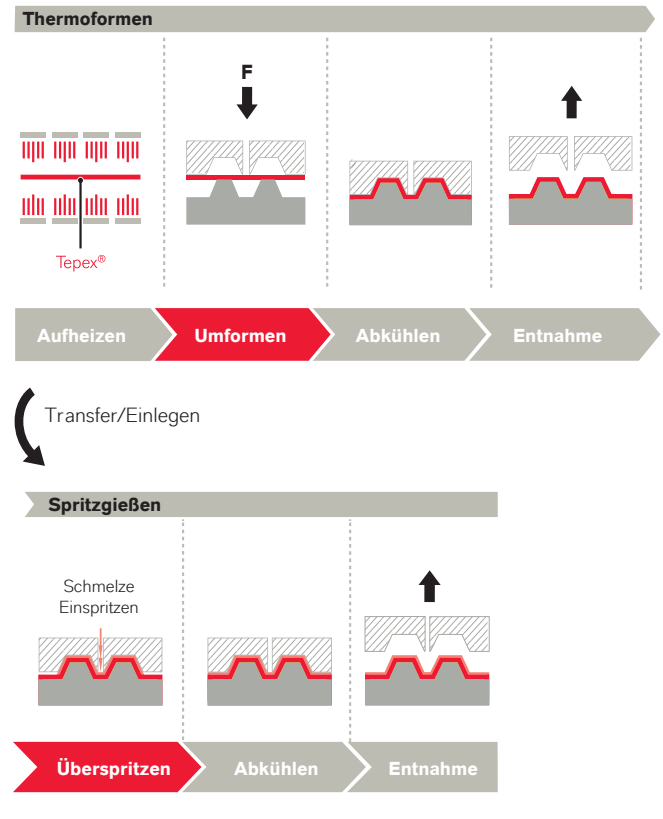
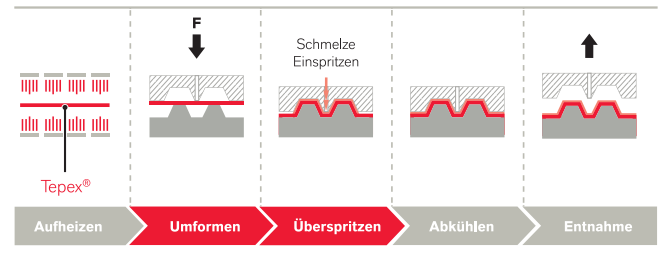


Bild 11: Hybrid-Molding mit Tepex®

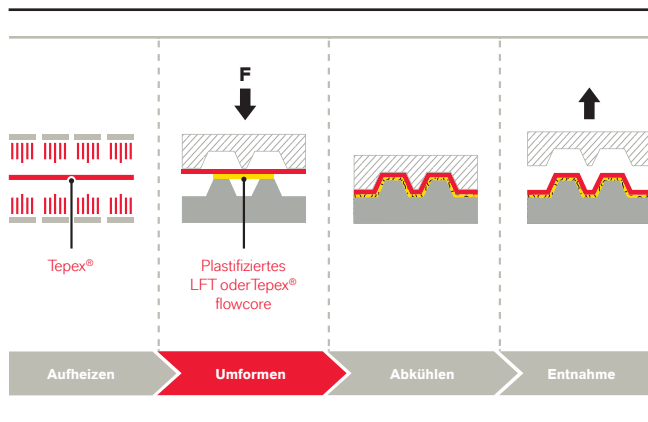


2.3.3 Compression-Molding (Kombination mit LFT-Fließpressen)

LFT steht für Langfaserthermoplaste, deren Verstärkungsfasern eine Länge von mindestens 4 mm aufweisen. Bei dem zumeist angewendeten Direktverfahren wird unmittelbar vor der Presse die Formmasse bestehend aus Fasern, Matrix und gegebenenfalls Additiven mittels Extrusionstechnik hergestellt. Die so gefertigte Masse wird anschließend durch Fließpressen mit Tauchkantenwerkzeugen verarbeitet. Das notwendige Fließen der Schmelze wird dabei durch den Schließdruck der entsprechend ausgelegten Presse aufgebracht.

Kombiniert man dieses Verfahren mit vorgeheizten Organoblechen, lassen sich auf einfache Weise großflächige, hochbelastbare und verzugsfreie Bauteile in sehr kurzen Zykluszeiten herstellen. Herausragendes Merkmal ist die extrem hohe Schlagzähigkeit derartig hergestellter Bauteile.

Bild 12: Tepex® Hybrid-Molding in Kombination mit LFT oder Tepex® flowcore.

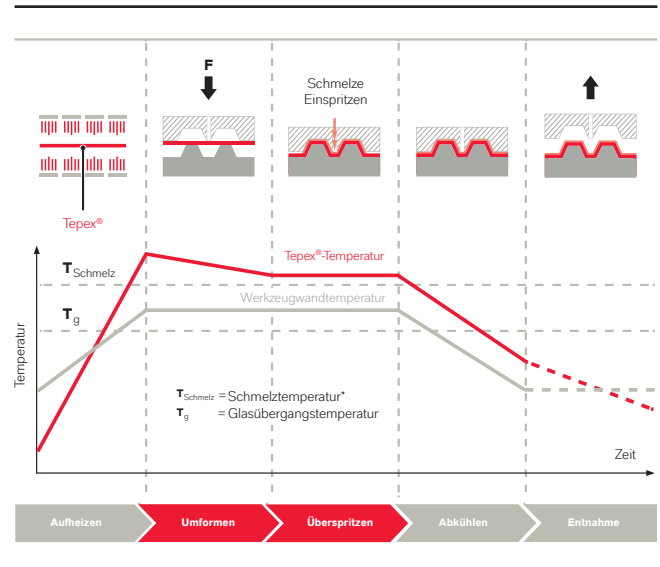


2.4 Variotherme Prozessführung

Falls notwendig, lässt sich die Oberflächenqualität von Tepex®-Bauteilen mit Hilfe einer variothermen Prozessführung weiter erhöhen. Bei der variothermen Werkzeugtemperierung werden die Werkzeugwände vorübergehend auf eine Temperatur zwischen Glasübergangs- und Schmelztemperatur* des verwendeten Kunststoffs aufgeheizt; erst nach Abschluss der

Formteilbildung wird das Werkzeug wieder abgekühlt. Diese Erhöhung der Werkzeugwandtemperatur verzögert die Erstarrung der Schmelze, so dass sich die Oberfläche hiermit hergestellter Bauteile gut ausbilden kann. Bild 13 stellt den Prozessverlauf inkl. der Temperaturzyklen für das Tepex® und die Werkzeugwand für das Hybrid-Molding (Kombination von Organoblechumformung und Spritzgießen, siehe Anfang dieses Kapitels) dar.

Bild 13: Variotherme Prozessführung beim Hybrid-Molding



*Exakter: Temperaturbereich oberhalb der Kristallitschmelztemperatur bei teilkristallinen Kunststoffen bzw. der Glasübergangstemperatur bei amorphen Kunststoffen

3. AUSLEGUNG VON WERKZEUGEN UND HANDLINGSYSTEMEN

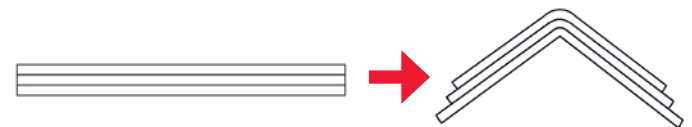
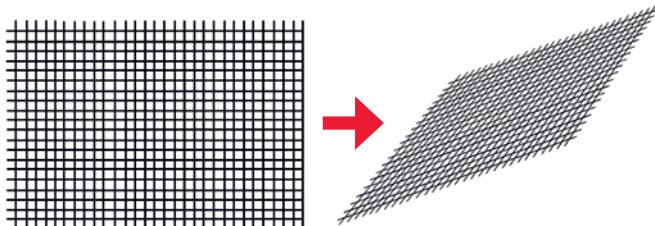
Inzwischen existiert ein großer Erfahrungsschatz, wie Werkzeuge zur Verarbeitung von Tepex® am besten aufgebaut werden und wie die Konstruktion der Handlings-Komponenten darauf abzustimmen ist. LANXESS unterstützt Kunden im Rahmen von Projekten bei allen Fragen zur Werkzeugauslegung mit seinem HiAnt®-Kundenservice. Außerdem haben sich mittlerweile zahlreiche Maschinenhersteller und Werkzeugmacher auf die Verarbeitung von Organoblechen spezialisiert. Entscheidend für die Auslegung und Handhabung von Tepex® ist ein grundlegendes Verständnis für die Umformmechanismen von endlosfaserverstärkten Kunststoffen.

3.1 Drapieren von Tepex®

Großen Einfluss auf die Werkzeugauslegung hat das spezielle Umformverhalten von Tepex®. Die Umformung, auch Drapierung genannt, verläuft nur im geringen Maße durch Fließvorgänge wie bei den klassischen Kunststoffverarbeitungsverfahren, sondern basiert im Wesentlichen auf der Verformung des textilen Halbzeugs (Drapieren). Man unterscheidet im Wesentlichen zwei verschiedene Drapier- bzw. Umformmechanismen, die im Bild 14 dargestellt sind (Faserdehnung, Faserstreckung und Faserschlupf werden hier vernachlässigt):

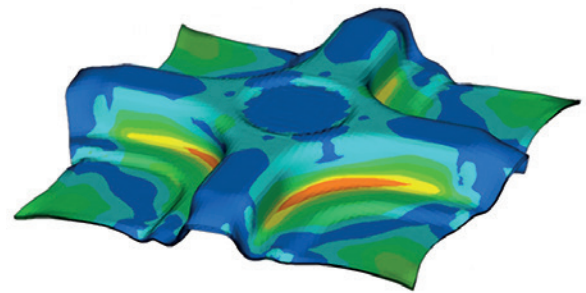
- Winkeländerungen bzw. Gewebescherung des textilen Halbzeugs, auch Trellis-Effekt genannt
- Verschiebungen einzelner Lagen untereinander, auch Interply shear genannt (bei mehrlagigem Aufbau des Laminats)

Bild 14: Umformmechanismen von Tepex®; links: Trellis-Effekt; rechts: Verschieben der Einzellagen



Diese beiden Mechanismen gestatten einzeln oder in Kombination sehr hohe Umformgrade. In Bereichen des Bauteils mit starker dreidimensionaler Verformung findet demnach eine mehr oder weniger starke Änderung der Faserorientierung gegenüber dem Ausgangszustand statt. Die Folge ist zunächst eine nicht zu vermeidende Aufdickung des Materials, welche bei der Werkzeugauslegung zu berücksichtigen ist (siehe Kapitel 3.3. „Gestaltung der Werkzeugkavität“). Bei einer weiteren Steigerung der Drapierung kann es zu einem Blockieren des Textils kommen, die Folge ist dann eine unerwünschte Faltenbildung. Eine Drapiersimulation ergibt Aufschlüsse über solche kritischen Umformgrade, sodass geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden können.

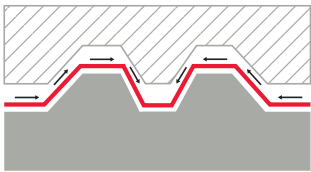
Bild 15: Ergebnis einer Drapiersimulation (Shear angle als Maß für die Gewebescherung)



3.2 Auslegungshinweise bezüglich des speziellen Umformverhaltens von Tepex®

Neben den oben beschriebenen Umformmechanismen ist die Kenntnis über die besondere Kinematik der Umformung von Tepex® für die Werkzeugauslegung und Konstruktion von besonderer Bedeutung. Um eine reproduzierbare, gleichmäßige Ausformung des Bauteils zu gewährleisten, muss der aufgeheizte Verbundwerkstoff während des Umformvorgangs ungehindert von außen zur Werkzeugmitte hin nachgleiten können.

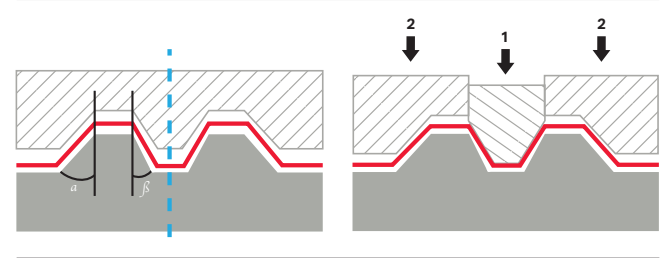
Bild 16: Nachgleiten von Tepex® während der Schließbewegung des Werkzeugs



Bei komplexeren Geometrien kann es bei einer unvorteilhaften Auslegung des Werkzeuges zu Spannungen zwischen benachbarten Bereichen des Bauteils kommen, welches ein Einklemmen und sogar Zerreißen des Materials zur Folge haben kann.

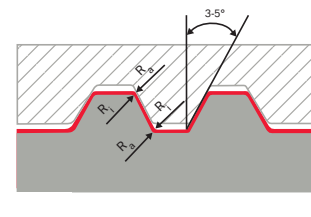
Auch hier deckt eine Drapieranalyse derartige Bereiche auf und liefert wertvolle Informationen für die Gestaltung des Werkzeuges. Zur konstruktiven Lösung dieser Problematik existieren mehrere Lösungsansätze. So sollten die Winkel der Flanken von der Kavitätmitte zum Werkzeugrand hin größer werden, wie dies in Bild 17 zu erkennen ist. Darüber hinaus können Schieber oder vorlaufende Stempel zum Einsatz kommen, die dafür sorgen, dass das Material zeitversetzt in den Eingriff des Werkzeuges gelangt und somit nacheinander ausgeformt wird (Sequentielles Umformen). Gegebenenfalls ist zu prüfen, ob Bauteilbereiche mit sehr geringen Winkeln durch aktive Elemente wie z.B. Seitenschieber auszuformen sind.

Bild 17: Lösungsansätze zur Vermeidung von Spannungen während der Umformungen (links: Anpassung der Winkel, rechts: Integration eines Voreilers)



Damit Bauteile aus Tepex® im oben aufgezeigten Sinn gut ausgeformt, aber auch sicher und schnell entformt werden können, empfehlen sich – unabhängig von der Materialdicke – für vertikale Bereiche des Werkzeuges Öffnungswinkel bzw. Entformungsschrägen von $\geq 5^\circ$. Eingeschränkt sind auch Konturen mit Entformungsschrägen von $\geq 2^\circ$ umsetzbar.

Bild 18: Auslegung von Radien



Die Innen- und Außenradien eckiger Konturen sollten möglichst nach folgenden Regeln konstruiert werden, auch damit beim Umformen keine Schädigung der Fasern durch zu scharfe Werkzeugkanten auftreten:

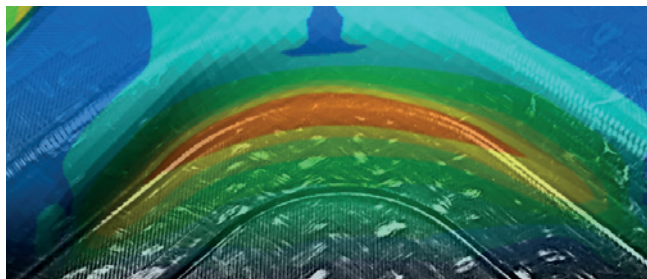
- Innenradius $R_i \geq$ Wanddicke Tepex®, aber mindestens R_i (1 mm)
- Außenradius $R_a \geq$ Innenradius R_i + Wanddicke Tepex®

3.3 Gestaltung der Werkzeugkavität

Tepex® wird vollständig imprägniert und konsolidiert ausgeliefert. Die einzelnen Fasern des textilen Halbzeugs sind also von der thermoplastischen Matrix umschlossen und das Laminat enthält nahezu keine Luft einschlüsse. Beim Erwärmen über die Schmelztemperatur* der thermoplastischen Matrix erhöht sich die Dicke von Tepex® um bis zu 20 Prozent. Der Vorgang erklärt sich im Wesentlichen mit der Erhöhung des Volumens des Kunststoffes und mit dem Lösen von Eigenspannungen des textilen Halbzeugs durch die Erwärmung. Beim Umformen muss das Halbzeug daher wieder auf die nominelle Wanddicke zurückgepresst werden, damit eine kompakte, glatte Oberfläche ohne Fehlstellen entsteht und optimale Eigenschaften im Bauteil erreicht werden.

Grundsätzlich empfiehlt es sich, den Bereich der Werkzeugkavität, in dem Tepex® umgeformt wird, entsprechend dem Sollmaß der Wanddicke des Bauteils auszuführen. Besondere Aufmerksamkeit ist jedoch den Bereichen mit einem hohen Drapiergrad (hohe Scherwinkel) zu widmen. Wie in den vorangegangenen Kapiteln kurz erläutert, kommt es hier zu einer Aufdickung aufgrund von Materialanhäufung. Diese können oftmals, trotz höherer Presskräfte, nicht auf das Sollmaß zurückgepresst werden, was zur Folge hat, dass aufgrund des Blockierens des Werkzeugs angrenzende Bereiche nicht voll mit Druck beaufschlagt werden können und damit nicht einwandfrei ausgeformt werden (siehe Bild 19). Die Kavität ist dann in diesen Bereichen entsprechend dicker auszulegen, damit eine gleichmäßige Druckverteilung über das gesamte Bauteil gewährleistet ist.

Bild 19: Auf ein reales Bauteil projizierte Scherwinkelverteilung; roter Bereich deutet auf eine lokale Aufdickung hin



*Exakter: Temperaturbereich oberhalb der Kristallitschmelztemperatur bei teilkristallinen Kunststoffen bzw. der Glasübergangstemperatur bei amorphen Kunststoffen

Grundsätzlich kann eine einheitliche und glatt ausgeformte Oberfläche des hergestellten Bauteils als Gradmesser für eine gute Werkzeugauslegung angesehen werden, da dies ein Zeichen für eine gleichmäßige Druckübertragung vom Werkzeug auf die Bauteiloberfläche ist. Neben einem gut ausgelegten Werkzeug beeinflusst aber auch die Prozessführung die Oberflächenqualität maßgeblich:

- Temperatur des Tepex®-Einlegers
- Oberflächentemperatur des Werkzeugs (siehe auch Kapitel „Varietherme Prozesstechnik“)
- Pressdruck
- Oberflächenqualität bzw. -beschaffenheit des Werkzeugs

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Präzision des Kavitätspalts von entscheidender Bedeutung für die Bauteilumformung ist.

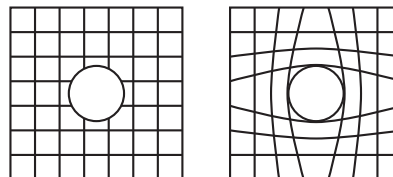
3.4 Integration von Löchern

Die Integration von Löchern und Durchbrüchen kann prinzipiell auf zwei Arten erfolgen:

1. Löcher werden bereits bei Fertigung des Tepex®-Einlegers durch Schneiden oder Bohren eingebracht
2. Erstellen der Löcher während der Umformung durch Verdrängung der Fasern mittels eines Dorns

Insbesondere bei hohen Lochleibungen erscheint die zweite Variante vorteilhaft, da so der Kraftfluss um die Löcher herumgelenkt werden kann. Bild 20 stellt diesen Sachverhalt schematisch dar.

Bild 20: Einbringung von Löchern: links durch Schneiden oder Bohren, rechts durch Umformung und Verdrängung der Fasern im Werkzeug



3.5 Auslegungshinweise zum Überspritzen von Tepex®

Wie bereits in Kapitel 2.3 erläutert, lässt sich durch das Anspritzen eines kurz- oder langfaserverstärkten Kunststoffes mit gleicher Matrix wie die von Tepex® eine stoffschlüssige Verbindung erzielen. Somit können komplexe Bauteile mit hoher Festigkeit und Steifigkeit gestaltet werden. Bild 21 stellt einen Ausschnitt eines solchen Bauteils dar. Man erkennt eine typische Rippenkonstruktion, die das Bauteil konstruktiv zusätzlich versteift und stabilisiert. Darüber hinaus ist eine typische Randumspritzung zu erkennen.

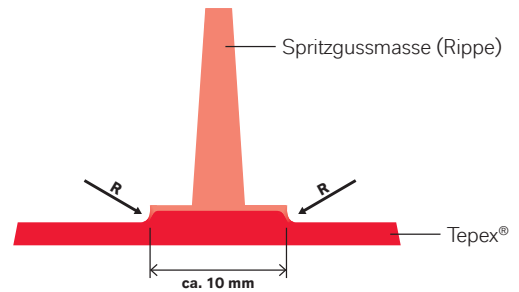
Bild 21: Beispiel für Rippenkonstruktion und Randumspritzung



3.5.1 Rippengestaltung

Bei der Konstruktion von Rippen zur Überspritzung von Tepex® sind grundsätzlich zwei Aspekte zu beachten. Zum einen sollte eine großflächige Gestaltung des Rippenfußes gemäß unten stehender Abbildung vorgenommen werden. Gute Erfahrungen sind mit einer Breite von ca. 10 mm gesammelt worden, womit, eine optimale Prozessführung vorausgesetzt (siehe Kapitel 2.3), eine sehr gute Anbindung zwischen Rippe und Organoblech erzielt wird.

Bild 22: Schematische Darstellung der Rippengestaltung

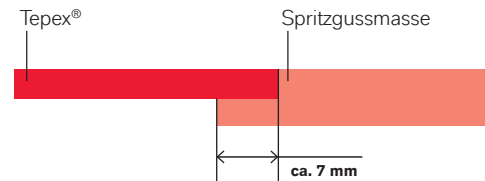


Darüber hinaus sind scharfe Kanten im Bereich des Aufsetzens des Rippenfußes auf das Organoblech zu vermeiden. Abgerundete Ecken vermeiden eine Beschädigung der Fasern im Moment des Aufsetzens des Werkzeugs.

3.5.2 Gestaltung der Randbereiche

Bei der Konstruktion von Kräfteinleitungs- und Funktionselementen aber auch bei Gestaltung der Randbereiche eines Bauteils wird eine Kombination aus stirnseitiger und überlappender Anspritzung empfohlen, wie dies in der nachfolgenden Skizze dargestellt ist.

Bild 23: Schematische Darstellung der Gestaltung der Randbereiche



In Kombination mit einer geeigneten Prozessführung kann auf diese Weise ein optimaler Verbund hergestellt werden.

3.5.3 Patchen bzw. Überlappen von Tepex®

In Anlehnung an die „Tailored Blank“-Technologie besteht auch bei Organoblechen die Möglichkeit, verschiedene Organobleche zu kombinieren um das Bauteil so mittels unterschiedlicher Blechdicken an lokale Bauteilbelastungen anpassen zu können. Vorzugsweise werden die Organobleche zunächst separat aufgeheizt und erst danach im oder vor dem Werkzeug zusammengeführt und umgeformt. Die artgleiche Matrix führt zur stoffschlüssigen Verbindung.

3.6 Allgemeine Auslegungshinweise zum Handling von Tepex®

Eine wichtige Rolle für eine hohe Reproduzierbarkeit des Fertigungsprozesses und der Bauteileigenschaften spielt das Handling des Einlegers aus Tepex®. Er verlässt die Aufheizstation im heißen Zustand und ist plastifiziert, also biegeschlaff. Dies muss sowohl beim Transport zum Werkzeug, beim Schließen des Werkzeugs und beim eigentlichen Umformen als auch beim Über- oder Hinterspritzen berücksichtigt werden. Folgende Aufgaben hat das Handlingsystem zu übernehmen:

- Sicheres Greifen während bzw. nach der Aufheizung
- Vermeidung einer lokalen Abkühlung durch Greifer
- Schneller Transport auf kürzestem Weg zum Werkzeug
- Reproduzierbare und positionsgenaue Übergabe an das Werkzeug

Anschließend muss im Werkzeug sichergestellt werden, dass

- der Zuschnitt ohne Wärmeverlust positionsgenau aufgenommen, und
- der Zuschnitt während der Schließbewegung des Werkzeuges für die Umformung freigegeben wird.

Für den Transport zwischen Aufheizstation und Werkzeug empfehlen sich folgende Greifertechniken für das Handling:

- Nadelgreifer inkl. Abstreiferhülse (werden in Organoblechzuschnitt gestochen)
- Klemmstifte, Punktgreifer (beidseitige Klemmung)
- Vakuum-Sauger
- Pins (nehmen den Organoblechzuschnitt in vorher eingebrachte Löcher auf)

Für die Aufnahme im Werkzeug kann folgendes eingesetzt werden

- Nadeln zum Aufstecken des Zuschnittes
- schwenkbare Haltefinger
- Klemmstifte in beiden Werkzeughälften, mit denen der Zuschnitt mittig zwischen beiden Werkzeughälften übernommen wird
- Vakuum-Sauger

Um eine Abkühlung von Tepex® im Werkzeug zu verhindern, ist bei der Auslegung des Übernahmesystems auf die Vermeidung eines frühzeitigen Kontakts mit den relativ kalten Werkzeugwänden zu achten. Darüber hinaus müssen diese Aufnahmen so gestaltet sein, dass beim Schließen des Werkzeugs das Tepex® während der Umformung reproduzierbar und positionsgenau gehalten wird, ohne die Drapierung zu beeinträchtigen.

4. VERBINDUNGSTECHNIKEN FÜR TEPEX®

Komponenten aus Tepex® sind oft Teil komplexer Baugruppen, die sich im Extremfall aus unterschiedlichen Materialien wie etwa Stahl, Leichtmetallen wie Aluminium und Magnesium, kurz- oder langglasfaserverstärkten Kunststoffen oder Carbonfaser-Verbundwerkstoffen zusammensetzen. Um solche Baugruppen in hoher Qualität und Geschwindigkeit bei niedrigen Kosten automatisiert zu fertigen, kann es erforderlich sein, Tepex® mit sich selbst oder mit anderen Werkstoffen zu verbinden. Dazu können Verfahren eingesetzt werden, die seit Langem für thermoplastische Bauteile in der industriellen Serienfertigung etabliert sind.

Man unterscheidet die unterschiedlichen Fügeverfahren nach dem physikalischen Wirkprinzip zwischen

- Stoffschlüssigen Verbindungen (Schweißen, Kleben)
- Kraftschlüssigen Verfahren (Schrauben, Pressen, Nieten)
- Formschlüssigen Verfahren (Schnappen, Rasten, Bügeln)

Weiterhin wird zwischen lösbaren (Schrauben, Stifte, Keile) und unlösbaren Verbindungen (Kleben, Schweißen, Nieten) differenziert. Während das Schweißen nur für thermoplastische Halbzeuge einsetzbar ist, ist es mit Hilfe des Klebens und mechanischen Fügens möglich, verschiedene Materialpaarungen, sogar Kunststoffe mit völlig andersartigen Werkstoffen wie z.B. Metallen zu verbinden.

Eine konkrete Auslegung eines Fügeprozesses sollte stets individuell bauteil- und anwendungsspezifisch erfolgen. Dazu sei an dieser Stelle auf Klebstoffhersteller, Hersteller von Verbindungselementen (Schrauben, Nieten usw.), Maschinenhersteller (Schweißen) und Ingenieurdienstleister verwiesen, die derartige Prozesse mit Fachwissen und Erfahrung sicher einschätzen und auslegen können.

4.1 Kleben

Das Kleben von Bauteilen ist eine etablierte stoffschlüssige Füge-technik, die es ermöglicht, auch inkompatible Materialien miteinander zu verbinden. Es existiert eine Vielzahl von Klebstoffsystemen am Markt, die zum Teil auf spezifische Werkstoffpaarungen zugeschnitten sind.

Für die Auswahl eines geeigneten Klebstoffsystems für **Tepex®** kann der Anwender auf etablierte Systeme zurückgreifen. Dabei genügt in der Regel die Kenntnis der Composite-Matrix sowie des Fügepartners; speziell auf **Tepex®** zugeschnittene Klebstoffsysteme werden nicht zwingend benötigt.

Als lösemittelfreie, schrumpfarme Klebstoffe sind Systeme aus 2-K-Epoxyd-Klebstoffen, 2-K-Acrylat-Klebstoffen und 2-K-Polyurethan-Klebstoffen bereits serienreife.

Die Bauteile müssen klebgerecht konstruiert sein. Folgende Belastungsarten der Klebverbindung können auftreten:

- Zugbeanspruchung: Sollte vermieden werden, da die Zugfestigkeit der Klebstoffe oft niedriger ist als die Festigkeiten der Fügeteile.
- Zugscherbeanspruchung: Überlappte Klebverbindungen ermöglichen die Ausbildung größerer Fügeflächen und damit die Übertragung größerer Kräfte unter relativ niedriger Schubspannung in der Klebefuge. Anzustrebende Ausprägung!
- Schälens: Schälkräfte rufen Spannungen senkrecht zur Klebefuge hervor. Unübersichtliche Spannungsverhältnisse, Abschätzung der Sicherheit gegen Zerstören kaum möglich. Sind Schälbeanspruchungen nicht vermeidbar, so sollten sie durch geeignete Maßnahmen vermindert werden.
- Biege- und Spaltbeanspruchungen: Ebenfalls zu vermeiden, da sie zu hohen Spannungsspitzen führen können.

Ein Reinigen, Aufräumen der Oberflächen und/oder Aktivieren oder der Einsatz spezieller Primer steigert die Haftfestigkeit.

Tepex® kann auch mit kommerziellen Strukturklebstoffen gefügt werden, die bei den Temperaturen der kathodischen Tauchlackierung (KTL) aushärten. Dies erhöht die Einsatzmöglichkeiten des Verbundwerkstoffs im Leichtbau von Karosseriekomponenten, da im Anwendungsfall keine zusätzliche Energie für das Erwärmen und Aushärten des Klebstoffes notwendig ist.

4.2 Fügen durch Spritzgießen

Wie in Kapitel 2.3 bereits beschrieben, ist das Fügen durch Spritzgießen ein effizientes, vielseitiges und serienetabliertes Fügeverfahren für Thermoplast-Composites wie **Tepex®**. Wenn Spritzgussmaterial und Composite-Matrix polymerchemisch verträglich sind, resultiert eine stoffschlüssige Verbindung mit exzellenter Haftung. Auch mehrere **Tepex®**-Zuschnitte können auf diese Weise sogar mit Metallbauteilen in einem Prozessschritt zu komplexen Baugruppen gefügt werden. Während die Verbindung zwischen thermoplastischem Composite und der Spritzgussmasse in der Regel stoffschlüssiger Natur ist, erfolgt die Verbindung mit inkompatiblen Fügepartnern wie Metallen entweder durch einen Formschluss (Durchspritzen von Durchbrüchen oder Verkrallung des Polymers an Oberflächenmerkmalen) oder wird über Verarbeitungshilfsmittel erzeugt. So können Metallbleche mit einem geeigneten Haftvermittler beaufschlagt werden, der einen sekundären Stoffschluss zwischen **Tepex®** und Metall ermöglicht.

4.3 Mechanische Fügeverfahren

Für das Verschrauben von **Tepex®**-Bauteilen sollten gewindeförmige Schrauben eingesetzt werden, deren Gewindeflanken einen Winkel von 20° bzw. 30° aufweisen. Aufgrund dessen, dass durch das Einbringen von Fügeelementen i.d.R. die Faserstrukturen durchbrochen werden müssen, sollten die Fügeelemente entweder nicht in die primären Lastpfade des Bauteils eingebracht werden, oder alternativ können die Fasern im plastifizierten Halbzeug verdrängt werden, so dass sie um die Bohrung, in die später das Fügeelement eingebracht wird, herum verlaufen, ohne zerstört zu werden (siehe Kap. 3.4 Integration von Löchern). Alternativ können bei der Bauteilherstellung lasteinleitende Geometrien wie z. B. Schraubendome angeformt werden.

Generell sollte die Krafteinleitung weniger über die Lochleibung erfolgen, sondern in geeigneter Weise in die Halbzeug- oder Bauteilebene einge-

bracht werden. Dies kann durch die Verwendung von großflächigen Fügeelementköpfen und eine entsprechende Vorspannkraft erfolgen.

4.4 Schweißen

Da **Tepex®** auf einer thermoplastischen Matrix basiert, bieten sich hierfür auch entsprechende Schweißverfahren an. Beim Schweißen werden vor allem physikalische Adhäsionsmechanismen genutzt, um eine Verbindung zwischen zwei oder mehreren Fügepartnern zueinander zu generieren. Dazu werden die Fügepartner zumindest lokal in einen schmelzförmigen Zustand versetzt und dann unter Druck miteinander in Kontakt gebracht und unter dem wirkenden Fügedruck wieder abgekühlt. Während der Fügephase werden die Adhäsionsvorgänge aktiviert und bleiben im erkalteten Zustand in der Regel reversibel bestehen.

Zur Verfügung steht eine Vielzahl von Verfahren, die bereits seit Langem in der konventionellen thermoplastischen Kunststoffverarbeitung angewendet werden. Die Verfahren sind serientauglich und bei thermoplastischen Bauteilen vielfach erprobt. Sie unterscheiden sich u. a. hinsichtlich Schweißnahtfestigkeit, Zykluszeiten und Anwendbarkeit bei kleinen oder großen Stückzahlen.

Die Schweißverfahren lassen sich anhand der Wärmeeinbringung klassifizieren. Man unterscheidet in:

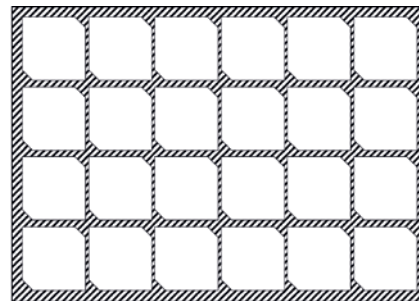
- Erwärmung durch Wärmeleitung
- Erwärmung durch Strahlung
- Erwärmung durch Bewegung
- Erwärmung durch Konvektion

Ein sehr guter Überblick über die einzelnen Schweißverfahren und deren Eignung für thermoplastische Faserverbunde wird im „Handbuch Verbundwerkstoffe“ (Hanser Verlag) von Neitzel, Mitschang und Breuer gegeben.

5. RECYCLING VON TEPEX®

Beim Ausschneiden der anwendungsspezifischen Zuschnitte entsteht in einem gewissen Umfang Verschnitt, wie dies beispielhaft in Bild 24 zu erkennen ist. Um diesen Verschnitt zu minimieren, werden die entsprechenden Geometrien unter Berücksichtigung der notwendigen Faserorientierung so in dem **Tepex®**-Halbzeug „verschachtelt“ (auch Nesting genannt), dass man eine optimale Ausbeute erhält. Bereits während der Entwicklungsphase von **Tepex®**-Bauteilen sollten daher alle Beteiligten ein großes Augenmerk auf die Optimierung der Zuschnittsgeometrie hinsichtlich Reduzierung von Materialverlust legen. Bereits kleinste Anpassungen können die Ausbeute erheblich erhöhen.

Bild 24: Beispiel für Verschnitt nach dem Zuschnitt der Bauteilgeometrie



Bei stark gekrümmten Geometrien, die sich nur sehr ungünstig verschachteln lassen, ist zu prüfen, ob sich das Bauteil auch aus mehreren **Tepex®**-Zuschnitten gestalten lässt, die anschließend im Werkzeug vereint werden. Oftmals gelangt man so zu einer deutlich besseren Materialausnutzung.

Der nicht zu vermeidende Verschnitt kann einem Recyclingprozess zugeführt werden. Da es sich bei **Tepex®** um einen faserverstärkten, thermoplastischen Kunststoff handelt, können folgende Recyclingkonzepte herangezogen werden:

- die werkstoffliche Verwertung durch mechanische Aufarbeitung
- die rohstoffliche bzw. chemische Verwertung, d.h. Aufspaltung in Einzelkomponenten durch Hydrierung, Hydrolyse und Pyrolyse
- die energetische Verwertung zur Rückgewinnung der im Kunststoff enthaltenen Energie

Den größten wirtschaftlichen Nutzen bei der Verwertung der Reststoffe und Verschnitte bietet das werkstoffliche Recycling. Dabei wird der **Tepex®**-Verschnitt zunächst mit Hilfe von Schneidmühlen oder Mehrwellenzerkleinerern zu einer definierten Partikelgröße vermahlen. Das Mahlgut, das bei der Zerkleinerung entsteht, kann direkt einem kunststofftypischen Verarbeitungsprozess zugeführt werden. Aufgrund der niedrigen Schüttdichte des Mahlguts sollte dabei eine Zwangsdosierung verwendet werden, um Brückenbildung im Trichter zu verhindern.

Durch Beimischen unverstärkter Neuware lässt sich der Faseranteil des Rezyklats gezielt einstellen und hieraus Regranulat herstellen. Bei PP-basiertem **Tepex®** ist eine Verdünnung des Mahlguts auf einen Fasermassengehalt von 30% empfehlenswert. Andere **Tepex®**-Typen können auch unverdünnt verarbeitet werden. Die mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit, Zähigkeit) des Rezyklats sind vergleichbar mit handelsüblichen kurzfaserverstärkten Kunststoffen mit entsprechenden Fasergehalten.

Bild 25: Wertschöpfungskette: Tepex® → Mahlgut → Regranulat → Bauteil aus Rezyklat



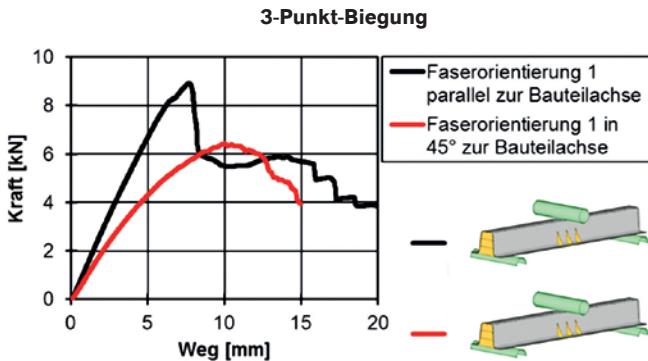
6. KONSTRUKTION UND BERECHNUNG VON BAUTEILEN AUS TEPEX®

Tepex® bietet dem Konstrukteur große Freiheiten in der lastgerechten Auslegung von hoch beanspruchbaren Leichtbauteilen. Deren Eigenschaften hängen vom Thermoplasten für die Matrix, von der Art der Endlosfaser (Glas, Carbon) und von der Art des verwendeten Gewebes oder Geleges (unidirektional, bidirektional, multiaxial) ab.

Mit am wichtigsten für die rechnerische Auslegung ist die aus der Verstärkung durch Endlosfasern resultierende Richtungsabhängigkeit (Anisotropie) der mechanischen Eigenschaften. In eine thermoplastische Matrix eingebettete unidirektionale Endlosfasern zeigen in Faserrichtung (1-Richtung) die Eigenschaften des Fasermaterials und senkrecht zu den Fasern (2- und 3-Richtung) eher die Eigenschaften der Matrix.

Bei Bauteilen aus **Tepex®** entspricht die Faser- der Bauteillänge. Der Konstrukteur sollte daher die Fasern möglichst in Richtung der angreifenden Lasten orientieren, damit der Kraftfluss zwischen Krafteinleitungspunkten über die Endlosfasern erfolgt. Ein komplexerer Spannungszustand im Bauteil (z. B. kombinierte Schub- und Zug- bzw. Druckspannung im gebogenen Profil) kann aber auch eine Kombination von verschiedenen Faserorientierungen erfordern. Ein symmetrischer Lagenaufbau ist von Vorteil, um das Bauteil verzugsarm auszulegen. Außerdem sollten die Kräfte möglichst großflächig aufgenommen werden, um Spannungsüberhöhungen und Kerbeffekte möglichst zu vermeiden und immer mehrere Faserrovings zu belasten.

Bild 26: Das Bild zeigt den Einfluss der Faserorientierung auf das Bauteilverhalten



6.1 FEM-Berechnungen: Voraussetzungen und Besonderheiten

Die computergestützte rechnerische Auslegung (CAE) von Bauteilen aus **Tepex®** ist ein Muss, um zu kurzen Entwicklungszeiten, wirtschaftlichen Fertigungsprozessen und zu einer optimal auf die Lastfälle abgestimmten Bauteilauslegung zu kommen. Hierbei bezieht sich die Auslegung ausdrücklich sowohl auf den Fertigungsprozess, als auch auf das mechanische Verhalten des Bauteils und die Wechselwirkung zwischen Fertigung und Bauteileigenschaften.

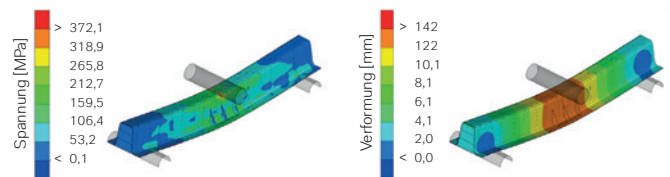
Wie in der Einleitung beschrieben, ist die für die Auslegung wichtigste Eigenschaft des Halbzeugs die Anisotropie, d.h. Richtungsabhängigkeit. Aus der Morphologie der Verstärkungsgewebe resultiert dazu noch eine Zug-Druck-Asymmetrie, die Abhängigkeit vom Ort in Dickenrichtung (Layer-Aufbau) und für den Herstellprozess die Drapierbarkeit. Aus den Matriceigenschaften ergibt sich die Abhängigkeit von Temperatur und u.U. Feuchtigkeitsgehalt, sowie je nach Belastungsart zeitabhängiges Kriechen. Aus dem Layer-Aufbau ergeben sich zusätzlich relativ große Unterschiede zwischen Zug- und Biegeigenschaften.

Sowie der Herstellprozess als auch das Bauteilverhalten können mit gängigen FE-Methoden und üblichen Rechenprogrammen (Solvem) recht gut beschrieben werden, wobei die Genauigkeit und die Prognosegüte

einmal vom verwendeten Modellansatz und dem Umfang der zugrundeliegenden Messdaten abhängt, aber auch von den spezifischen Aspekten die ermittelt werden sollen.

Um den Herstellprozess, die resultierende Faserorientierung sowie die Bauteileigenschaften bis hin zum Bruchverhalten hinreichend prognostizieren zu können, hat LANXESS auf dem FE-Solver ABAQUS basierende Tools entwickelt, welche die genannten Eigenschaften und Einflüsse beschreiben und die somit im Entwicklungsprozess für **Tepex®**-Bauteile direkt eingesetzt werden können. Diese FE-Tools verwenden Materialdaten, welche durch richtungsabhängige Zugversuche, teilweise unter hoher Dehnrate, sowie durch verschiedene Scher- und Biegeversuche ermittelt werden.

Bild 27: Spannungsverteilung sowie die Verformung beim 3-Punktbiegeversuch mit dem HiAnt®-Beam



6.2 Drapiersimulation

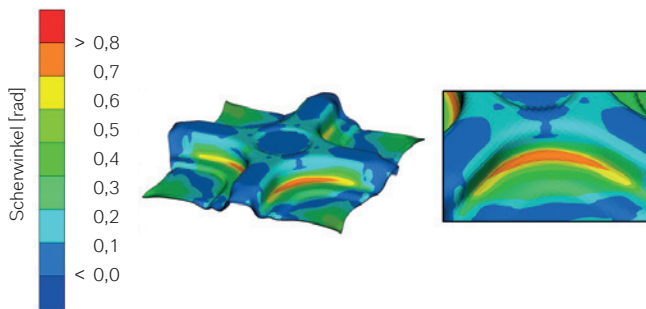
Die Umform- oder auch Drapiersimulation dient zwei Zielen, die voneinander unabhängig sind:

- Bestimmung der Verteilung der lokalen Faserorientierungen und Scherwinkel im Gewebe. Diese werden wiederum in der mechanischen Berechnung benötigt, um das anisotrope Materialverhalten zu berücksichtigen. Diese Berechnung wird oft früh im Projekt, in der Konzeptphase benötigt, um hier verschiedene Konzeptvorschläge mechanisch zu bewerten. Die Simulation der Faserorientierungen muss daher schnell und einfach erfolgen und möglichst wenig Informationen über das Werkzeug erfordern, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung stehen. LANXESS verwendet hierzu ein FE-basiertes Rechenverfahren, welches recht schnell (ca. 1 Stunde) für eine gegebene **Tepex®**-Geometrie den dazugehörigen Zuschnitt und die Verteilung der Orientierungen bestimmt. Das Verfahren ist nicht exakt, jedoch in aller Regel hinreichend genau (One-Step-Draping).

- Vollständige Darstellung des Drapierprozesses mit Berücksichtigung von Zuschnittgeometrie, Werkzeuggeometrie, Schiebern, Haltenadeln, Handlingsystem usw. Hierbei ist die Aufgabe, den Prozess darzustellen, mögliche Fehler frühzeitig aufzudecken, Verbesserungsvorschläge zu entwickeln und die Prozesssicherheit abzuschätzen. Die Berechnung der Faserorientierung liegt hier etwas im Hintergrund. Die vollständige Drapierstudie wird idealerweise durchgeführt, wenn die Bauteilgeometrie i.W. festliegt, es schon Daten des Werkzeugs (zumindest der Formflächen) gibt, jedoch noch Freiheiten vorhanden sind.

Das von LANXESS entwickelte Simulationsmodell für die Drapierung von **Tepex®**-Bauteilen basiert auf dem FE-Solver ABAQUS. Es berücksichtigt die Tatsache, dass sich thermoplastische gewebebasierte Composites nicht plastisch tiefziehen lassen, sondern vielmehr durch Gewebescherung aus der ebenen Form heraus in die dreidimensionale Geometrie des Bauteils gebracht werden (Trellis-Effekt). Ist die zur Umformung nötige Scherung so groß, dass die Fasern gegeneinander sperren („locking“), weicht das Material in die Normalenrichtung aus und es entstehen Falten. Dieser Effekt lässt sich auch im Rechenmodell nachstellen.

Bild 28: Scherwinkelverteilung im „Schikane“-Bauteil



6.3 Integrative Simulation

Das von LANXESS entwickelte Composite-Materialmodell für **Tepex®**, in Kombination mit den für die Bauteilgeometrie im One-Step-Draping-Verfahren bestimmten Faserorientierungen ermöglicht eine sehr gute Vorausberechnung der Steifigkeit, Festigkeit, Crasheigenschaften sowie des Schwingungsverhaltens des Bauteils. Die Tools sind sowohl auf reine

Tepex®-Bauteile, als auch auf Komponenten anwendbar, die im Insert-Molding-, Hybrid-Molding- oder Fließpress-Verfahren gefertigt werden. Hierdurch kann der Konstrukteur bereits im Rechner auf die Schwachstelle eines Bauteils reagieren – so etwa durch größere Wanddicken oder Verlegen von Verstärkungsrippen.

Beide Tools haben ihre Tauglichkeit und Genauigkeit in der Entwicklung zahlreicher Prototyp- und Serienbauteile bewiesen – so etwa im Falle eines Frontend-Obergurtes, Bremspedals, Airbag-Gehäuses, einer Sitzschale und eines Infotainmentträgers (Tragstruktur des Soundsystems im Fahrzeug).

Bild 29: Das Bild zeigt die wichtigsten Einflussfaktoren auf die integrative Simulation von Tepex®-Hybridbauteilen



6.4 Simulation des Abkühlverhaltens

LANXESS hat die Umformsimulation und das neue Materialmodell für **Tepex®** um einen Modellierungsansatz ergänzt, mit dem auch die thermischen Prozesse im erwärmten **Tepex®** während der Umformung simulierbar sind. Diese Simulationsvariante ermöglicht es grundsätzlich, ungleichmäßiges Abkühlen z. B. unter Voreilern zu untersuchen, sowie dessen umgekehrten Einfluss auf das Drapierverhalten, der sich aus dem temperaturabhängigen Materialverhalten ergibt.

Da dieses Simulationsverfahren genaue Informationen über den Aufheizprozess und alle thermischen Randbedingungen voraussetzt, und insgesamt noch einmal deutlich aufwändiger als die isotherme Betrachtungsweise ist, beschränkt sich der Einsatz normalerweise auf die Untersuchung ganz spezieller Frage- oder Problemstellungen.

6.5 Bauteile aus Tepex® selbstständig auslegen

LANXESS setzt die integrative Simulation im Rahmen gemeinsamer Entwicklungsprojekte ein, um Kunden in der Bauteilentwicklung zu unterstützen. Darüber hinaus ist es jedoch auch wichtig, den Kunden Werkzeuge liefern zu können, mit denen sie neue Anwendungen in Tepex® im Rahmen ihres eigenen CAE-Workflows auslegen können.

Hierzu wurden

- für das kommerzielle Programm Digimat von e-Xstream ein Materialmodell validiert und mit Daten versehen, das unsere Kunden in Kombination mit mehreren Rechenprogrammen verwenden können. Voraussetzung zur Verwendung der Digimat-Lösung ist eine entsprechende Programmlizenz.
- ein Standard-Materialmodell für LS-Dyna (MAT 58) identifiziert, mit dem auch viele Auslegungsprobleme gut bearbeitet werden können.
- für die meisten Tepex®-Typen lineare Materialdatensätze bereitgestellt, die code-unabhängig eine einfache Steifigkeitsanalyse erlauben.

Für alle Ansätze steht ein wachsender Bestand an Materialparametern zur Verfügung. In allen Fällen ist die Hinterlegung der Orientierungsverteilung notwendig, die LANXESS z. B. durch das One-Step-Drapping-Verfahren bestimmen und für ein gegebenes Rechenmodell zur Verfügung stellen kann.

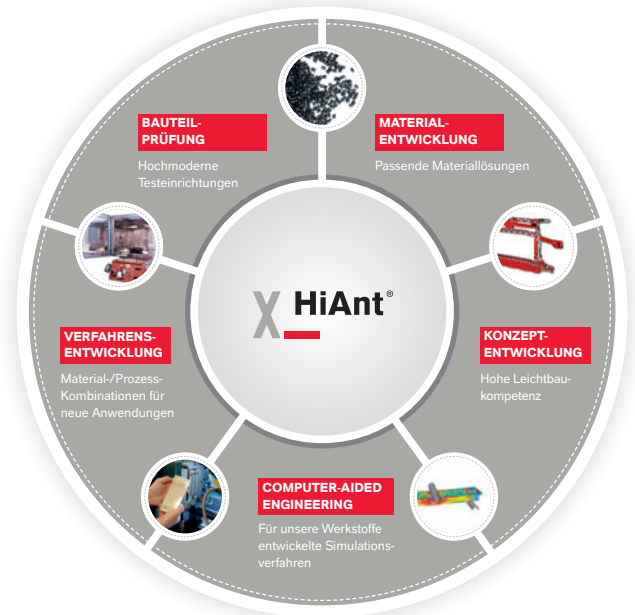
7. HIANT® – SERVICE ENTLANG DER GESAMTEN ENTWICKLUNGSKETTE

Hinter der Marke HiAnt® verbirgt sich das gesamte Know-how, das LANXESS in puncto Materialien, Composite-Technologien, Simulationen, Bauteilprüfung, Verarbeitung und Fertigung besitzt. Diese Expertise bringen wir in die Zusammenarbeit mit unseren Kunden ein.

Zu den HiAnt®-Serviceleistungen für Tepex® zählen u. a.:

- Hilfe bei der Materialwahl unter Berücksichtigung der Bauteilanforderungen
- Bereitstellung maßgeschneiderter Polymertypen für das Insert-Molding-, Hybrid-Molding- und Fließpress-Verfahren

- Werkstoffprüfungen zur Ermittlung von Materialkennwerten für die mechanische Strukturanalyse und Bauteilauslegung
- Simulation der Umformung (Drapierung) von Tepex®
- integrative Simulation zur lastgerechten Auslegung von Endlosfaserverbund-Bauteilen
- Nachstellen der Fertigungsprozesse von Kunden auf unseren vollautomatisierten, seriennahen Demonstratorzellen zur Ermittlung von Prozessparametern und zur Qualitätssicherung und -verbesserung
- Bauteilprüfungen wie mechanische Komponenten- oder Klima-wechseltests



8. DANKSAGUNG

Folgende Unternehmen bzw. Hochschulen (in alphabetischer Reihenfolge) haben dankenswerterweise durch Bildmaterial und weitere Informationen die Erstellung dieser Broschüre unterstützt:

- ENGEL AUSTRIA GmbH, Ludwig-Engel-Straße,
14311 Schwertberg, Austria
- Hochschule Rosenheim (Prof. Schemme, Prof. Karlinger)
- Georg Kaufmann Formenbau AG, Ruggölzli,
5433 Remetschwil, Schweiz
- KraussMaffei Technologies GmbH, Krauss-Maffei-Straße 2,
80997 München, Deutschland

Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise – insbesondere unserer Sicherheitsdatenblätter und technischen Informationen – und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich.

Bei Versuchsprodukten handelt es sich um Verkaufsprodukte im Versuchsstadium, deren Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Endgültige Aussagen über Typkonformität, Verarbeitungsfähigkeit, Langzeiterprobung unter verschiedenen Bedingungen oder sonstige produktions- und anwendungstechnische Parameter können daher nicht gemacht werden. Eine endgültige Aussage über das Produktverhalten bei Einsatz und Verarbeitung kann nicht getroffen werden. Jegliche Verwendung des Versuchsprodukts erfolgt außerhalb unserer Verantwortung. Die Vermarktung und dauerhafte Belieferung mit diesem Material ist nicht gewährleistet und kann jederzeit eingestellt werden.

Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Durethan®, Pocan®, Tepex® und HiAnt® sind eingetragene Marken der LANXESS Gruppe

Bestell-Nr.: LXS-HPM-071DE, Ausgabe: 2019-07

© LANXESS Deutschland GmbH 2017 | Alle Rechte vorbehalten



LANXESS
Energizing Chemistry

LANXESS Deutschland GmbH
High Performance Materials
50569 Köln

www.bond-laminates.de
info@bond-laminates.de