

# EXTRUSION



victrex®

PASSION • INNOVATION • PERFORMANCE

## INHALT

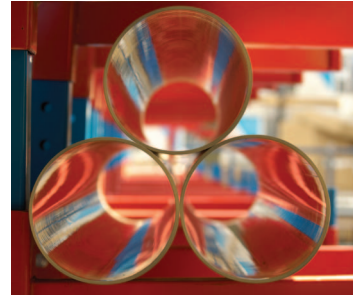
Einleitung	2
Allgemeine Prozessvorbereitung	2
Handhabung	2
Trocknung	2
Verarbeitbarkeit	2
Farbe	2
Ausrüstung	3
Allgemeine Auslegung	3
Materialauswahl für die Maschinenkomponenten	3
Auslegung von Schnecke und Zylinder	4
Zylinderkapazität und Verweilzeit	4
Zylinderheizung	4
Siebe und Lochscheiben	5
Adapter, Extrusionskopf und Düse	5
Reinigung und Abschalten	5
Draht- und Kabelummantelung	6
Düse und Umlenkopf	6
Folgeräte	7
Kristallinität	7
Folien- und Plattenherstellung	8
Düsenaufbau	8
Kristallinität von dünnen Folien und Platten	8
Monofilamentherstellung	9

In unserer wettbewerbsorientierten Zeit erwartet man von einem fortschrittlichen Materialzulieferer mehr als einfach nur Material. Um das Potenzial eines Hochleistungspolymers voll ausschöpfen zu können, muss die Entwicklung einer Komponente Hand in Hand gehen mit der Materialauswahl und mit einer optimierten Verarbeitung. Das ist der Schlüssel zur Maximierung des Nutzwertes einer Anwendung und zur Erzielung von hohen Produktionsleistungen bei möglichst niedrigen Kosten für die Komponente. Wenn das Design feststeht und die Materialauswahl getroffen ist, ist die Prozessoptimierung der entscheidende Faktor um die Produktqualität zu erhöhen und das Fertigungsergebnis zu verbessern.

30 Jahre Erfahrung verleiht Victrex Polymer Solutions das umfangreiche Wissen, seine Kunden zu unterstützen und so das meiste aus Polyaryletherketon Polymeren (PAEK's) und Produkten herauszuholen. Wir bieten eine Vielzahl von VICTREX® PEEK Produkten, die über überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit in einem weiten Temperaturbereich und unter extremen Bedingungen verfügen. Jedes davon lässt sich einfach mit gängigen Spritzgießmaschinen verarbeiten.

Wir bieten unseren Kunden ein konkurrenzlos technisches Leistungsspektrum; von der Konstruktion eines Bauteils mit Polyaryletherketonen über die Materialauswahl bis hin zur Unterstützung bei der Prozessführung. Ein Teil dieser Leistungen ist diese Broschüre, die wir für Sie als Hilfe zur Optimierung Ihres Extrusionsprozesses zusammengestellt haben. Zusätzlich kann unser weltweiter technischer Support Ihnen bei der Prototypentwicklung, der Anwendungsentwicklung, der Konstruktion und bei Simulationen ebenso wie bei Fragestellungen zum Ersatz von metallischen Bauteilen durch Victrex-Produkte Hilfestellung leisten.

Unsere Technologiezentren sind mit Verarbeitungsmaschinen ausgestattet, um Versuchsreihen aus dem gesamten VICTREX Produktspektrum durchzuführen. Hier werden die Verarbeitung geschult und umfangreiche Materialanalysen und Charakterisierungen ermöglicht. Wir bieten auch die Möglichkeit anwendungsspezifische Daten zu generieren, und unsere Quellen sind durch umfangreiche produkt- und anwendungsbasierte Datensätze, die fortlaufend ausgebaut werden, abgesichert. Weiterhin sind wir in eine Anzahl von Forschungsprojekten in Zusammenarbeit mit Industrie und Wissenschaft involviert, um unseren Wissensstand stetig zu erweitern und somit in der Lage sein zu können, mit unseren Kunden zusammen innovative Lösungen zu finden.



HIGH PERFORMANCE POLYMERS

VICTREX® PEEK Polymer, zusammen mit seinen Varianten VICTREX® HT™ und VICTREX® ST™ für noch höhere Temperaturen, gehört zu den leistungsfähigsten thermoplastischen Die Produkte sind erhältlich in Form von schmelzefiltriertem Granulat, feinem Pulver oder Compounds mit funktionellen Füll- und Verstärkungsstoffen. Sie werden in der Konstruktion und Herstellung von Hochleistungsanwendungen verwendet und dienen als Ersatz von Metallen und anderen Werkstoffe. So werden die Leistung der Anwendungen gesteigert, konstruktive Freiheit erzielt, sowie Systemkosten verringert.



VICTREX® PEEK FILM TECHNOLOGY

Victrex APTIV® Folien bieten alle Eigenschaften des VICTREX PEEK Polymers in einem dünnen, flexiblen Format. Die umfangreiche Bandbreite an Eigenschaften zu denen thermische Umformbarkeit und herausragende akustische Eigenschaften zählen, macht diese Produkte zu den leistungsfähigsten und vielseitigsten thermoplastischen Folien auf dem Markt. APTIV Folien sind technologisch wegweisend in Bezug auf Reduktion der Systemkosten und Verbesserung der Produkteigenschaften indem sie hohe konstruktive Freiheit und einfache Verarbeitung bieten.



VICTREX® PEEK COATING TECHNOLOGY

VICOTE® Beschichtungen sind speziell entwickelte umweltfreundliche Hochleistungsbeschichtungen aus VICTREX PEEK Polymeren. Die als Pulver oder wässrige Dispersionen erhältlichen Produkte zeigen hohe Temperaturbeständigkeit, herausragende Kratz- und Abriebfestigkeit genauso wie mechanische Festigkeit und hohe Lebensdauer. Verglichen mit herkömmlichen Beschichtungen sollten Vicote Beschichtungen in Betracht gezogen werden, wenn Eigenschaften verbessert, die Anwendungsdauer erhöht, die Konstruktionsfreiheit vergrößert und Kosten reduziert werden sollen.



VICTREX pipes™ HIGH PERFORMANCE PEEK TECHNOLOGY

VICTREX Pipes™ sind langlebige, dünnwandige Rohre aus VICTREX® PEEK Polymeren. Als exzellente Alternative zu Metallen und technischen Kunststoffen bieten VICTREX Pipes enormes Gewichtseinsparpotenzial bei hoher Leistungsfähigkeit. Ihr einzigartiges Eigenschaftsprofil umfasst hohe Temperaturbeständigkeit, Chemikalien- und Korrosionsbeständigkeit, geringe Permeabilität sowie herausragende Abriebfestigkeit, Ermüdungsbeständigkeit und Kerbschlagzähigkeit.

### Hochtemperatureigenschaften

Ausgezeichnete Temperaturbeständigkeit mit Dauergebrauchstemperaturen von 260°C kann eine längere Lebensdauer, gestiegene Zuverlässigkeit und größere Sicherheitsfaktoren bieten.

### Mechanische Festigkeit und Formstabilität

Durch die ausgezeichnete Festigkeit, Steifigkeit, Kriech- und Ermüdungseigenschaften von Victrex Polymeren können im Bauteil Gewichtsreduzierung, höhere Lebensdauer oder höhere Festigkeit erreicht werden.

### Verschleißigenschaften

Niedriger Reibungskoeffizient und geringe Verschleißrate im geschmierten oder trockenen System tragen dazu bei, die Lebensdauer eines Bauteils und dessen Unversehrtheit zu gewährleisten.

### Chemikalienbeständigkeit

Dank der Eigenschaft gegen viele Säuren, Laugen, Kohlenwasserstoffe und organische Lösungsmitteln resistent zu sein, sind Victrex Polymere selbst bei hohen Temperaturen korrosionsbeständig.

### Hydrolysebeständigkeit

Bedingt durch geringe Wasseraufnahme und niedrige Permeabilität selbst bei hohen Temperaturen werden Victrex Polymere in Wasser, Wasserdampf oder Salzwasser nicht durch Hydrolyse zersetzt, wodurch sich die Zuverlässigkeit einer Komponente verbessern kann.

### Elektrische Eigenschaften

Die ausgezeichneten elektrischen Eigenschaften bleiben über einen weiten Frequenz- und Temperaturbereich erhalten und erfüllen damit die immer weiter steigenden elektrischen und elektronischen Anforderungen der Technik.

### Geringe Rauchgastoxizität und Rauchgasdichte

Inhärent flammwidrig ohne Zusätze und geringe Toxizität der Verbrennungsgase.

### Reinheit

Bietet äußerst geringes Ausgasen und niedrige Extraktionswerte für reinere Verarbeitung.

### Umweltfreundlich

Komplett recyclebar, halogenfrei, RoHS und REACH-konform.

### Qualitäts- und Liefersicherheit

Wir folgen dem Grundsatz, der Kundennachfrage voraus zu sein. Deswegen investieren wir in Lagerkapazitäten und gewährleisten unseren Kunden Liefersicherheit. Unsere zwei unabhängig voneinander arbeitenden Polymerisationsanlagen sind in der Lage bis zu 4.250 Tonnen pro Jahr zu produzieren. Ebenso ermöglichen uns ein zentralisiertes Logistiksystem und lokale Distributionszentren schnelle Lieferungen - in der Regel innerhalb von 7 Tagen - in die ganze Welt.

Die gesamte Herstellung erfolgt nach ISO 9001:2008 sowie nach EU Sicherheits- und Umweltvorschriften. Unsere extreme Sorgfalt - wir führen an jeder Charge unserer Polymere über 50 Tests durch - sichert unseren Kunden eine gleichbleibende Produktqualität.

Als einziges vertikal-integriertes Unternehmen für Lösungskonzepte mit Polyketonen weltweit haben wir die Kontrolle über unsere Schlüsselrohmaterialien - entscheidend für gleichbleibende Qualität unserer Polymere.

## EINLEITUNG

Alle allgemein gültigen Richtlinien für die Extrusion von teilkristallinen Polymeren gelten auch für das Extrudieren von Victrex Polymeren. Einzig die höheren Schmelzpunkte der Victrex Polymere erfordern an einigen Stellen besondere Aufmerksamkeit und werden im Folgenden kurz dargelegt.

### Auslegung der Temperierung

Die Ausrüstung muss für Temperaturen bis 450 °C ausgelegt sein. Um PEEK verarbeiten zu können, muss der Zylinder in der Lage sein bis 400 °C arbeiten zu können, für HT und ST sind Temperaturen bis 430 °C erforderlich.

### Kühlung

Für eine optimale Kristallinität sind Luftkühlung und beheizte Walzen nach Düsenaustritt erforderlich; dies gilt weiterhin solange die Temperatur des Extrudats oberhalb  $T_g$  liegt.

Nachdem das Extrudat auskristallisiert ist, kann Wasserkühlung zum Einsatz kommen.

### Feuchtigkeitsgehalt

Obwohl Victrex Polymere nicht hygroskopisch sind, müssen sie vor der Verarbeitung getrocknet werden.

### Sauberer Umgang

Verunreinigungen müssen vermieden werden – die verwendeten Schaufeln und Tablett zum Trocknen usw. sollten nur für Victrex Materialien zum Einsatz kommen.

### Anfahren des Extruders

Für eine Produktion ohne schwarze Stippen (black specks) ist es normalerweise vor jedem Einsatz nötig, die Schnecke zu ziehen und Schnecke, Zylinder und Düsen zu reinigen.

In den folgenden Abschnitten finden Sie ausführlichere Informationen zu dieser extremen Zusammenfassung.

## ALLGEMEINE PROZESSVORBEREITUNG

### HANDHABUNG

Victrex Materialien werden in versiegelten Polyethylensäcken in strapazierfähigen Kartons oder in Boxen in Palettengröße geliefert. Es wird dringend empfohlen, das Material während Transport und Lagerung in der versiegelten Originalverpackung zu belassen. Zur Entnahme von Material sollten die Behälter in einer sauberen Umgebung geöffnet und darauf geachtet werden, Verunreinigungen zu vermeiden. Nach der Entnahme sollten die Behälter sofort wieder verschlossen und unter Standardbedingungen gelagert werden (15-25 °C, trocken und nicht im direkten Sonnenlicht). Unter Standardbedingungen können Victrex Produkte über zehn Jahre gelagert werden.

### TROCKNUNG

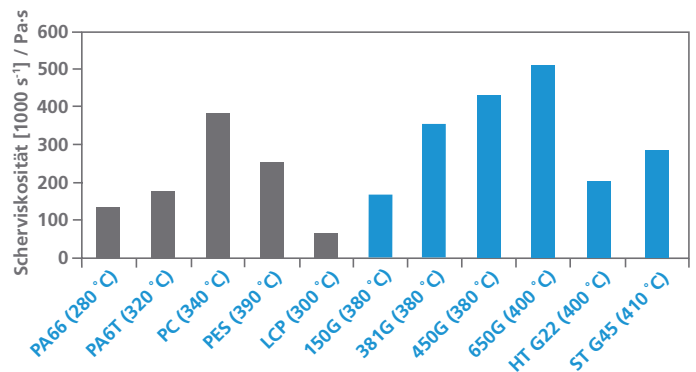
Victrex Materialien werden nominell trocken geliefert. Die Pellets können jedoch bis zu 0,5 % Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen. Es ist wichtig, die Pellets auf einen Feuchtigkeitsgehalt unter 0,02 % vor der Verarbeitung zu trocknen. Geschieht dies nicht, kann es zu schaumigem Extrudat kommen, da bereits Spuren von Feuchtigkeit bei den Verarbeitungstemperaturen von Victrex Materialien hohe Dampfdrücke erzeugen.

Die Pellets können in einem Umluftofen für 3 Stunden bei 150 °C oder über Nacht bei 120 °C getrocknet werden. Für größere Mengen, wie sie für die Serienproduktion benötigt werden, können Adsorptionstrockner mit einem Taupunkt von -40 °C günstiger sein.

### VERARBEITBARKEIT

In dem Vergleichsdiagramm in Abbildung 1 sind die Schmelzviskositäten verschiedener Hochleistungspolymere bei einer Scherrate von  $1000 \text{ s}^{-1}$  zu sehen. Obwohl PEEK, HT und ST mit die höchsten Verarbeitungstemperaturen aufweisen, liegen ihre Schmelzviskositäten im Bereich von Polyamid und Polycarbonat Schmelzen.

**Abbildung 1: Scherviskosität verschiedener Thermoplaste bei einer Scherrate von  $1000 \text{ s}^{-1}$  und typischen Verarbeitungstemperaturen**



### FARBE

Ungefülltes und glasfaserverstärktes PEEK, HT und ST sind in naturfarben/beige und schwarz verfügbar. Die Farbe anderer Compounds wird durch die jeweiligen Füllstoffe gegeben. Kohlenstofffaserverstärktes Material beispielsweise ist schwarz.

Die Farbe von Victrex PAEK Polymeren kann beeinflusst werden, indem Farb-Masterbatches zugefügt werden. Außerdem bieten verschiedene Victrex Partner PAEK Polymere mit Farbgranulat compounding zum Kauf an. Für weitere Informationen setzen Sie sich bitte mit Ihrem Victrex Ansprechpartner vor Ort in Verbindung.

## AUSRÜSTUNG

### ALLGEMEINE AUSLEGUNG

Polymere und Compounds basierend auf Victrex PEEK, HT und ST können einfach mit konventionellen Verarbeitungsmaschinen extrudiert werden. Es gibt ein paar spezifische Anforderungen auf die im Folgenden eingegangen wird.

Generell muss der Extruder in der Lage sein, für die Verarbeitung von Victrex PEEK 400 °C, und für Victrex HT und ST 430 °C zu erreichen.

Eine Entlüftung ist nicht notwendig. Der Einsatz von Schmelzpumpen ist möglich. Dabei sollte allerdings beachtet werden, dass keine toten Bereiche bzw. Fließstörungen vorhanden sind (z.B. an Spalten von Flanschen und unsauber montierten Einsatzteilen), da diese die Bildung von schwarzen Stippen (black specks) verursachen können. Eine gut abgestimmte Schnecke mit einem stabilen Druckaufbau sollte ist in der Regel ausreichend.

Ziel ist es, bei der gewünschten Temperatur eine homogene Schmelze mit konstanter Förderrate zu erreichen. Um den Prozess ausreichend kontrollieren zu können, empfehlen wir, die Schmelztemperatur und den Druck zu überwachen.

Die Verweilzeit des Materials in der Verarbeitungsmaschine beeinflusst die Qualität des fertigen Produktes. Die thermische Stabilität von PEEK ist außerordentlich hoch. Aufgrund der zunehmend höheren kristallinen Schmelzpunkte von HT und ST werden deren Stabilitäten jedoch nur als gut bzw. mittelmäßig eingestuft. Wenn die Verweilzeit und / oder die Temperatur des Zylinders zu hoch ist, kann es bei allen Materialien während der Verarbeitung zu thermischer Zersetzung kommen. Daher sollten Kapazität und Durchsatz des Extruders aufeinander abgestimmt werden, um die Möglichkeit zur Entstehung von Gels und schwarzen Stippen (black specks) im System zu minimieren.

### MATERIALAUSWAHL FÜR DIE MASCHINENKOMPONENTEN

Die entscheidende Anforderung an die Stähle, die für die Schmelzverarbeitung geeignet sind, ist die Temperatur, die für PEEK bei 400 °C und für HT und ST bei 430 °C liegt. Der Verschleiß durch glas- oder kohlenstofffasergefüllte Victrex Polymere ist ähnlich dem von anderen technischen Thermoplasten. Bei der Verarbeitung von Victrex Materialien entstehen keine korrosiven Spaltprodukte, mit Ausnahme von PTFE gefüllten Verschleißtypen bei überhöhten Temperaturen und / oder Verweilzeiten. Maschinenhersteller bieten handelsübliche Extruder für diese Bedingungen an.

Für den Fall, dass ein Material spezifiziert werden muss, haben sich der Einsatz von bimetallicischen Zylindern (z.B. WEXCO 777 oder Xaloy X-800) und von Schnecken aus Pulvermetallurgischen Stählen (z.B. CPM-9V oder CPM-10V) oder aus Chrom-Legierungen als zufriedenstellend erwiesen.



Die genaue Beachtung aller Details sichert während der Extrusion eine hohe Produktqualität.

Nitrierstähle sollten nur mit allergrößter Sorgfalt eingesetzt werden. Es muss sichergestellt werden, dass Victrex Materialien nicht im Kontakt mit der Nitrierschicht erstarren, da durch die Haftung des Polymers diese Schicht vom Stahlsubstrat abgelöst werden kann. Kupfer und Kupferlegierungen sind im Kontakt mit dem Schmelzfluss zu vermeiden, da diese eine Zersetzung der Victrex Polymere verursachen. Bei Anwendungen wie der Kabelummantelung, bei denen Victrex Materialien in direkten Kontakt mit Kupfer kommen, ist die Kontaktdauer zwischen Schmelze und Metalloberfläche jedoch nicht genügend lange vor dem Erstarren, um Probleme zu verursachen.

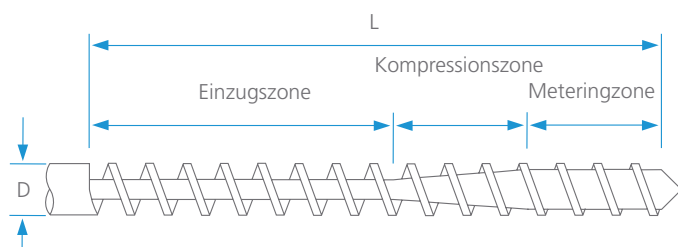
Für Adapter, Düse und Extrusionskopf sollten Materialien gewählt werden, die für hohe Verarbeitungstemperaturen geeignet sind (z.B. H13, Stavax, Hastelloy oder Inconel).

## AUSLEGUNG VON SCHNECKE UND ZYLINDER

Der Zylinder sollte ein L/D-Verhältnis von mindestens 24:1 aufweisen; es ergibt sich jedoch für den Verarbeiter ein größeres Verarbeitungsfenster wenn ein L/D-Verhältnis von 30:1 angestrebt wird. Der Zylinder sollte glatt sein. Eine genutete Einzugszone ist nicht empfehlenswert.

Da PEEK, HT und ST im Vergleich zu den meisten anderen konventionellen Kunststoffen höhere Schmelzetemperaturen haben, ist eine längere Einzugszone erstrebenswert. Dadurch wird eine ausreichende Verweildauer der Pellets in dieser Schneckenzone ermöglicht, um den Schmelzpunkt zu erreichen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, ist eine Einzugszone von 8D Länge eine gute Basis. Verglichen mit anderen Polymeren wie Polyamid und LCP zeigen PEEK, HT und ST keine starke Veränderung der Viskosität um den Schmelzpunkt. Ein allmählicher Übergang von der Einzugszone in die Meteringzone ist zu bevorzugen, Kompressionszonen kürzer als 5D können funktionieren, 8D sind jedoch besser geeignet. Kompressionsverhältnisse von zwei bis drei werden den meisten Verarbeitungssituationen einer Extrusion gerecht. Meteringzonen mit Längen von 8D sind typisch, wenngleich auch längere Zonen eingesetzt werden können. Wenn es notwendig erscheint, ist der Einsatz von schonenden Mischelementen in der Meteringzone möglich. Die Schneckenspitze sollte abgerundet oder konisch geformt sein, um die Bildung von toten Bereichen bzw. Fließstörungen am Ende der Schnecke zu verhindern.

Abbildung 2: Empfohlener Schneckentyp



## ZYLINDERKAPAZITÄT UND VERWEILZEIT

Größe und Förderrate des Extruders sollten so aufeinander angepasst sein, dass die Verweilzeit der Schmelze im Zylinder im Idealfall weniger als 30 Minuten beträgt. Wird ein Extrusionsprozess mit niedrigen Schneckendrehzahlen (< 10 Upm) gefahren, führt das zu längeren Verweilzeiten und erhöht die Gefahr von Verarbeitungsproblemen die aufgrund hoher thermischer Belastung entstehen. Es sollten keine toten Bereiche vorhanden sein, die den Schmelzefluss stören. Alle innen liegenden Oberflächen sollten vor der Extrusion gereinigt und poliert werden.

## ZYLINDERHEIZUNG

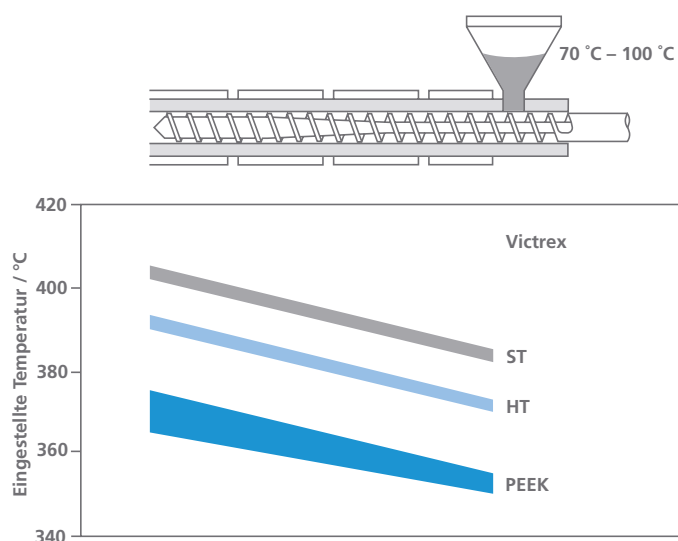
Die Zylinderheizung muss in der Lage sein, für die Extrusion von PEEK und dessen Compounds 400 °C, und für die Extrusion von HT und ST und deren Compounds 430 °C zu halten. Die meisten Extruder sind in der Lage, diese Temperaturen ohne Modifikationen zu erreichen. Wenn Umbauten erforderlich sind, bedeutet dies in der Regel ein Nachrüsten der Heizbänder und / oder Regler. Die zu bevorzugenden keramischen Heizbänder ermöglichen eine gleichmäßigere Kontrolle im Vergleich zu Mica Heizbändern. Ferner empfiehlt sich der Einsatz von Isolationsdecken, da sie sich vorteilhaft auf die Verarbeitung auswirken und eine Kostenersparnis bieten.

Durch die Wärmeleitung entlang von Schnecke und Zylinder zum Einfülltrichter kann der Materialeinzug beeinträchtigt werden. Um eine ausreichende Beschickung über den Materialtrichter zu gewährleisten, sollte die Temperatur am Einfüllstutzen zwischen 70 °C und 100 °C gehalten werden. Dies kann durch eine Wasserkühlung geschehen. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Temperaturen in den rückwärtigen Zonen des Zylinders nicht beeinflusst werden.

Es wird empfohlen, dass wenigstens vier separate Heizzonen eingerichtet werden, jede mit einem eigenen Thermoelement und PID-Regler, um eine genaue Kontrolle der Temperatur zu ermöglichen. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass ausreichend Wärme über die gesamte Länge des Zylinders und die Oberflächen des Umlenkkopfes verteilt wird. Dabei sollte die Temperatur auf  $\pm 2$  °C genau gehalten werden.

Typische Zylindertemperaturen sind in Abbildung 3 dargestellt. Genauere Angaben für die Einstellungen sind in den einzelnen Datenblättern der jeweiligen Materialtypen aufgeführt; diese erhalten Sie von Ihrem Victrex Ansprechpartner vor Ort.

Abbildung 3: Typische Temperaturprofile für Victrex Materialien



## SIEBE UND LOCHSCHEIBEN

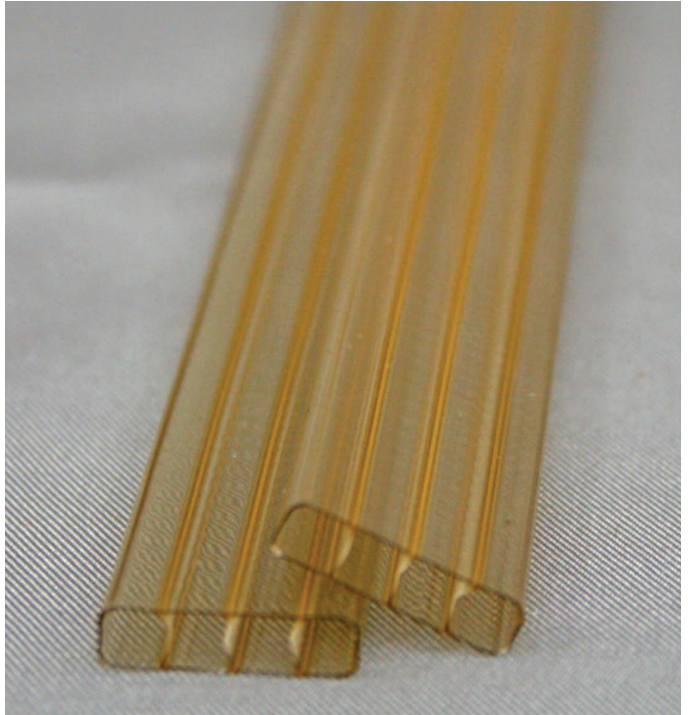
Die Lochscheibe unterstützt den Aufbau des Staudruckes in der Schnecke und stoppt die Rotation der Schmelze. Die Lochgröße sollte proportional zur Extrudergröße sein und so ausgelegt werden, dass es nach Möglichkeit keine toten Bereiche gibt, an denen der Schmelzefluss stagniert. Die Löcher sollten abgefaste Kanten haben. Üblicherweise werden vor den Lochplatten Filterpakete angebracht, um eventuell im Material verbliebene Verunreinigungen oder versehentlich eingebrachte Verschmutzungen zu entfernen; zusätzlich tragen sie auch noch zum Staudruck in der Schnecke bei. Die Filterpakete sollten jedoch nicht so fein sein, dass sie zu viel Scherung in der Schmelze oder zu hohen Druckverlust verursachen. Der Druckaufbau sollte überwacht und falls notwendig die Filter ausgetauscht werden. Die Heizung und die Isolierung in diesem Bereich erweist sich als kritisch.

## ADAPTER, EXTRUSIONSKOPF UND DÜSE

Tote Bereiche bzw. Bereiche geringer Fließgeschwindigkeiten können lokal zur Zersetzung führen und damit zur Verfärbung des Materials oder zur Bildung von schwarzen Stippen (black specks). Um tote Bereiche und Bereiche geringer Fließgeschwindigkeiten zu verhindern, sollte der Schmelzefluss im Adapter, dem Extrusionskopf und der Düse stromlinienförmig ausgelegt sein; dies gilt auch für Änderungen im Querschnitt. Fließsimulation kann potentielle Problembereiche aufdecken, um diese zu minimieren. Für jeden Abschnitt (Adapter, Extrusionskopf, Düse) werden getrennt regelbare Heizzonen mit ausreichender Leistung empfohlen und wo immer möglich, sollte zusätzlich Isolation angebracht werden.

## REINIGUNG UND ABSCHALTEN

Eine normale Abschaltprozedur beinhaltet das Leerfahren des Zylinders, gefolgt von einer Zerlegung und Reinigung der gesamten Ausrüstung, einschließlich des Ziehens der Schnecke. Zur vollständigen Reinigung müssen einige Komponenten gegebenenfalls im Ofen ausgebrannt werden. In der täglichen Produktion könnte es notwendig sein, pro Extruder zwei Sets von Düse und Schnecke verfügbar zu haben.



Enge Toleranzen lassen sich mit korrekten Verfahrensparametern und Düsenkonstruktionen erzielen.



Extrudierte Rohre (VICTREX Pipes).

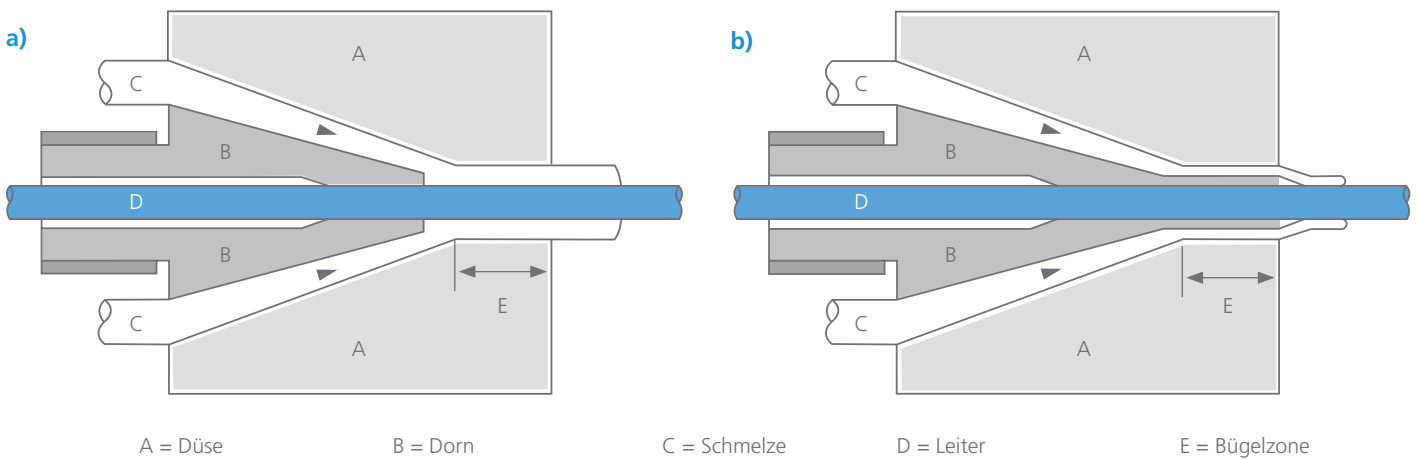
# DRAHT- UND KABELUMMANTELUNG

PEEK wird weitverbreitet in der Draht- und Kabelindustrie verwendet, HT und ST können unter Verwendung ähnlicher Technologien auch als Drahtbeschichtung eingesetzt werden. Anwendungen umfassen primäre Isolationen sowie Ummantelungen von Drähten und Kabeln.

## DÜSE UND UMLENKKOPF

Isolationen aus PEEK, HT und ST können unter Verwendung einer Druckdüse oder Schlauchdüse, zu sehen in Abbildung 4, aufgebracht werden. Für die meisten Drahtummantelungen werden mit dem Schlauchverfahren bessere Ergebnisse berichtet.

Abbildung 4: Drahtummantelung mit a) Druckdüse, und b) Schlauchdüse



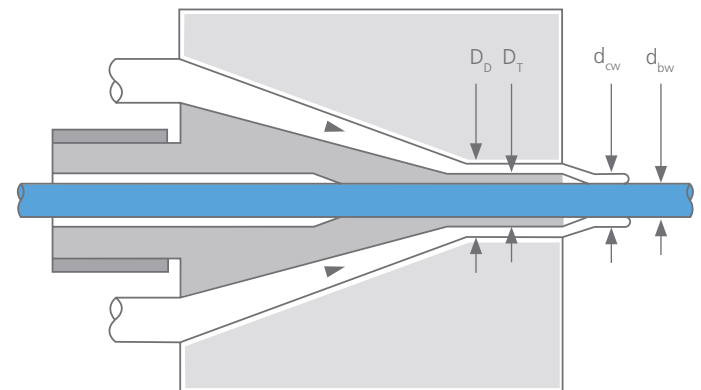
Druckdüsen ermöglichen die Einstellung eines genauen Durchmessers der direkt aufgetragenen Beschichtung, wenn der Leiter durch die Düse gezogen wird. Die Haftung zwischen Leiter und Beschichtung ist sehr hoch, ebenso wie die Geometrie der Düse gut beibehalten wird (im Fall von z.B. vieladrigen Kabeln), jedoch kann die Dicke der aufgetragenen Isolationsschicht variieren (die Konzentricität zwischen Träger und Beschichtung wird nicht gesteuert).

Im Fall der Schlauchdüse kommt die Schmelze solange nicht in Kontakt mit dem Leiter bis beide die Düse verlassen haben. VICTREX PEEK, HT und ST werden zu einem dünnen Schlauch extrudiert, während der Leiter durch die Mitte abgezogen wird. Durch differenzielle Geschwindigkeit wird der Schlauchdurchmesser soweit verringert, dass der Schlauch auf dem Träger haftet und so eine Isolationsschicht mit der gewünschten Dicke bildet.

Das Verfahren der Ummantelung mit einer Schlauchdüse ist nicht so einfach wie mit einer Druckdüse, liefert jedoch die für die meisten Anwendungen geforderten Eigenschaften; dazu zählt die geringere Haftung zwischen Beschichtung und Leiter (vorteilhaft für das Abisolieren von Drähten), gleichmäßige Dicke der Isolation und verbesserte Oberflächenbeschaffenheit. Das Verfahren mit der Schlauchdüse ermöglicht auch das Aufbringen von Deckschichten auf bereits ummantelten Leitern.

Im Verfahren mit der Schlauchdüse müssen das Abzugsverhältnis und die Balance im Abzugsverhältnis berücksichtigt werden; siehe dazu Abbildung 5.

Abbildung 5: Berechnung von Abzugsverhältnis (Draw Down Ratio DDR) und Balance im Abzugsverhältnis (Draw Balance Ratio DBR)



$D_D$  = Durchmesser der Düsenöffnung

$D_T$  = Durchmesser der Dornspitze

$d_{cw}$  = Durchmesser des ummantelten Drahtes

$d_{bw}$  = Durchmesser des blanken Drahtes

Abzugsverhältnis

$$DDR = \frac{D_D^2 - D_T^2}{d_{cw}^2 - d_{bw}^2}$$

Balance im Abzugsverhältnis

$$DBR = \frac{D_D}{D_T} \cdot \frac{d_{bw}}{d_{cw}}$$



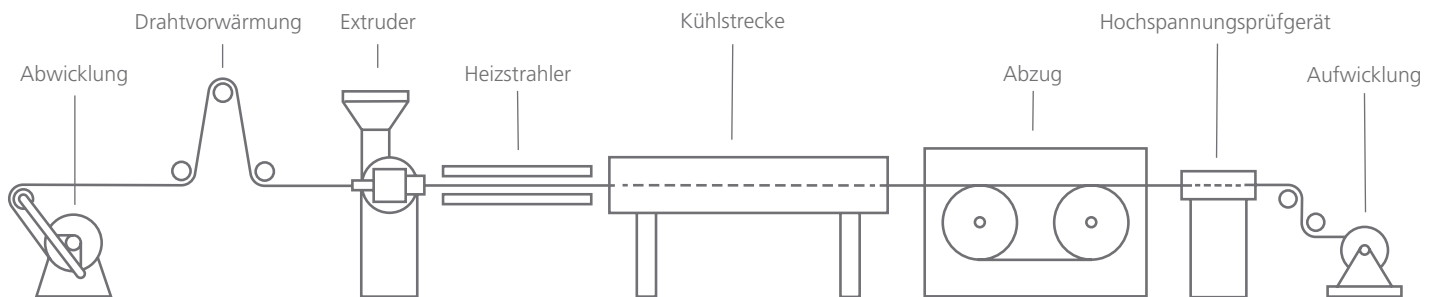
Das Abzugsverhältnis DDR entspricht dem Querschnitt des Werkzeugaustritts bezogen auf den Querschnitt der Ummantelung. Das empfohlene Abzugsverhältnis für unverstärktes PEEK, HT und ST liegt zwischen 3:1 und 10:1; bei Ummantelungen mit sehr dünnen Wandstärken wurde auch schon von Abzugsverhältnissen von beinahe 50:1 berichtet. Genaue Aufmerksamkeit sollte der Balance des Abzugsverhältnisses gewidmet werden, die möglichst mit 1:1 aufrechterhalten werden sollte.

Die Art des Umlenkkopfes ist beim Schlauchdüsenverfahren für den Prozess nicht kritisch. Zu bevorzugen ist ein einfacher Querspritzkopf mit einfacher Strangaufteilung, der die Schmelze um 90° umlenkt und dabei einen strömungsgünstigen Schmelzefluss aufrechterhält. Auch komplexere Umlenkköpfe haben sich in der Verarbeitung als zufriedenstellend erwiesen; diese sind jedoch schwieriger zu reinigen.

## FOLGERGERÄTE

Der grundlegende Aufbau einer Drahtummantelungsanlage ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt. Die Erfordernisse an eine Anlage variieren jedoch mit den Anforderungen an die Kabelbeschichtung, so dass jede Anlage spezifische Unterschiede aufweisen kann.

**Abbildung 6: Schematische Darstellung einer Kabelummantelungsanlage**



## KRISTALLINITÄT

Viele der herausragenden Eigenschaften von PEEK, HT und ST beruhen auf der teilkristallinen Morphologie.

Bei der Draht- und Kabelummantelung wird die Schmelze von der Düse abgezogen und dann über eine Länge von ungefähr ein Meter an Luft gekühlt (in Abhängigkeit von der Abzugsgeschwindigkeit). Während der Abkühlung verändert sich die Farbe von unverstärktem PEEK, HT und ST von transparentem Dunkelbraun in ein opakes Grau/Beige. Diese Farbveränderung beruht auf dem Abkühlen und der damit verbundenen Kristallisation an der Oberfläche der Isolierung.

Sobald dieser Übergang stattgefunden hat, kann eine zusätzliche Wasserkühlung eingesetzt werden, da die Kristallisation in der Masse des geschmolzenen Polymers dadurch nicht maßgeblich beeinträchtigt wird. Sollte eine amorphe Kabelummantelung benötigt werden, kann die Wasserkühlung näher an die Düse herangebracht werden.



Durch eine sachgerechte Folgeeinrichtung kann der Prozess so eingestellt werden, dass die erwünschte Kristallinität erreicht wird.

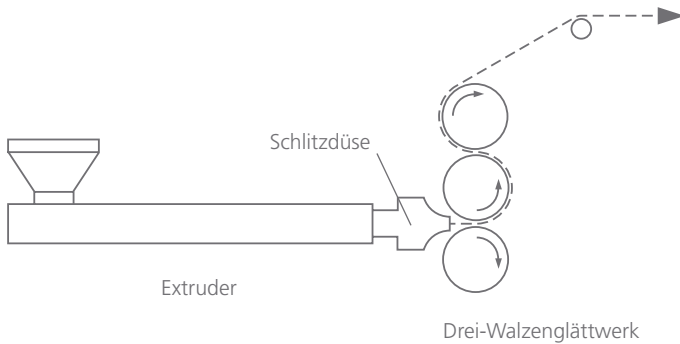
Die Temperatur des Leiters kann die Kristallisation bei Draht- und Kabelummantelungen verlangsamen.

Wenn ein hoher Kristallinitätsgrad benötigt wird, ist es daher ratsam, den Leiter vorzuwärmen bevor er in den Umlenkopf eintritt. Die dabei gewählte Temperatur hängt von der Art und Geometrie des Leiters ab; sehr gute Ergebnisse wurden jedoch in einem Temperaturbereich von 120 °C bis 200 °C erreicht. Wenn der gewünschte Kristallinitätsgrad nicht während der Extrusion erreicht werden kann, ist es möglich durch eine nachfolgende thermische Behandlung eine Nachkristallisation der Isolierung zu erreichen.

## FOLIEN- UND PLATTENHERSTELLUNG

Unverstärktes PEEK, HT und ST können zur Herstellung von Folien und Platten verwendet werden. Der Prozess lässt sich mit einem herkömmlichen Extruder, geeigneten Düsen und Abzugsgeräten umsetzen wie in Abbildung 7 schematisch dargestellt wird.

Abbildung 7: Anlage zur Plattenproduktion



### DÜSENAUFBAU

Normalerweise werden für die Verarbeitung von PEEK, HT und ST zu Platten Breitschlitzdüsen verwendet. Diese sollten durch geglättete Innenflächen einen strömungsgünstigen Schmelzefluss haben, um Fließstörungen sowie den Slip-Stick Effekt zu verhindern. Die Temperaturkontrolle der Düsenlippe ist kritisch für eine gute Oberflächenbeschaffenheit und zur Dimensionskontrolle.

### KRISTALLINITÄT VON DÜNNEN FOLIEN UND PLATTEN

Dünne Platten (< 500  $\mu\text{m}$ ) können über die Temperatureinstellung der Glättwalzen entweder teilkristallin oder amorph produziert werden. Walzentemperaturen unterhalb von  $T_g$  erbringen eine amorphe transparente Folie, während Temperaturen oberhalb 170 °C eine opake teilkristalline Folie ergeben. Dickere Folien kristallisieren durch ihren eigenen Wärmeinhalt.



Dickenmessung einer extrudierten APTIV® PEEK Folie.

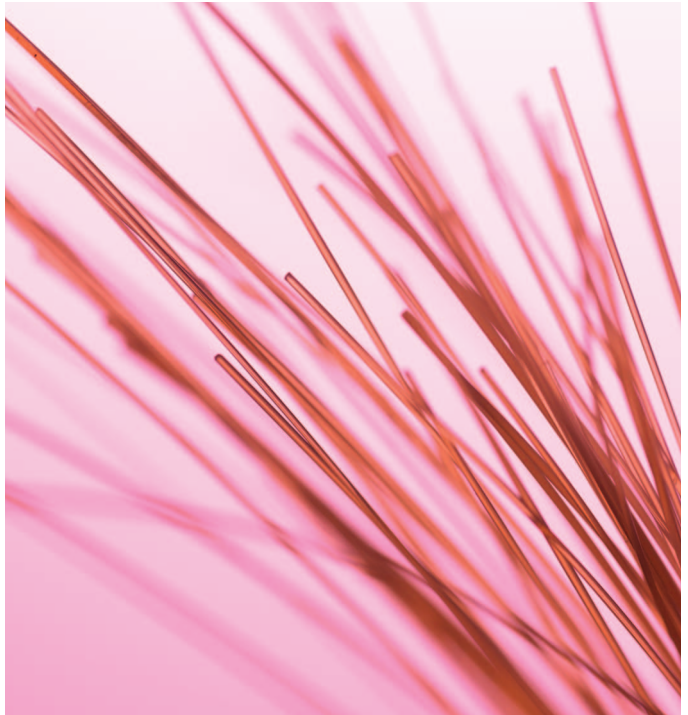


Saubere Ausrüstung und strenge Prozesskontrolle sind entscheidend für die Herstellung qualitativ hochwertiger Folien.

## MONOFILAMENTHERSTELLUNG

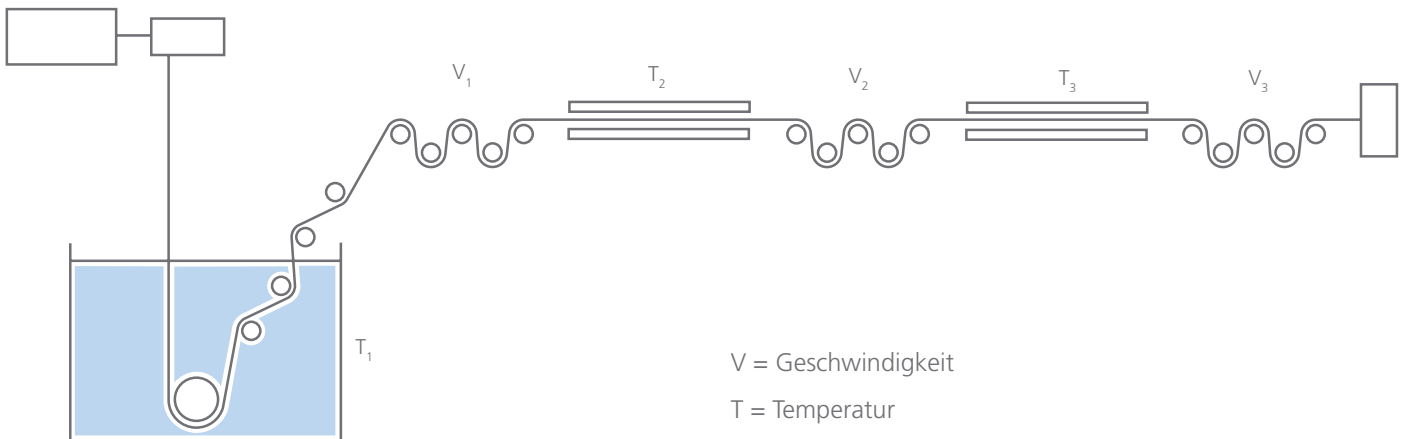
PEEK, HT und ST können unter Verwendung von Extrudern mit nachgestelltem Abzug und Reckwerken zu Monofilamenten verarbeitet werden. Im Allgemeinen sind Extruder, die für die Produktion von Monofilamenten eingesetzt werden, mit Schmelzpumpen ausgestattet. Diese ermöglichen einen genau messbaren Massestrom der mit konstantem Druck in die Düse eingespeist wird. Auch andere Systeme ohne Dosierungssystem haben sich als zufriedenstellend erwiesen. In Abbildung 8 ist der Aufbau einer Monofilamentanlage schematisch dargestellt.

Die dem Extruder nachgestellten Anlagen in Abb. 8 können als zwei separate Abschnitte betrachtet werden: Orientierung der Schmelze und Entspannung. Zunächst wird das Extrudat mit Wasser und Luft gekühlt. Während der Orientierung wird das Filament mit einer höheren Geschwindigkeit ( $v_2 > v_1$ ) durch einen Ofen gezogen, der auf eine Temperatur über der Glastemperatur des Materials eingestellt ist. Die höhere Geschwindigkeit führt dazu, dass das Polymer gereckt wird. Dadurch verringert sich der Durchmesser und die Orientierung im Filament erhöht sich.



Extrudierte VICTREX PEEK Fasern.

### Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Monofilamentproduktion



Im Folgeschritt der Entspannung kommt es zu einer „Fixierung“ des Polymers indem das Filament einen zweiten Ofen durchläuft, der auf eine Temperatur nahe der Schmelztemperatur des Materials eingestellt ist.

## TECHNISCHE UNTERSTÜTZUNG

Victrex Polymer Solutions ist ausschließlich auf Produkte aus der Familie der Polyaryletherketone (PAEK) fokussiert. Demzufolge sind wir bestens darauf ausgerichtet, Ihnen das gesamte Spektrum an Service zu bieten, von qualitätsrelevanten Themen über technische Unterstützung bis hin zur Liefersicherheit. Die Zusammenarbeit mit dem führenden Hersteller von PAEK, dessen fortschrittlichen Technologien, Kompetenz und Leidenschaft für Innovationen kann Ihnen den ausschlaggebenden Wettbewerbsvorteil für Ihr Produkt einbringen. Wir freuen uns, mit Ihnen zusammen zu arbeiten.

*Wenn Sie weitere Informationen oder Unterstützung wünschen, kontaktieren Sie bitte Ihren Victrex Repräsentanten vor Ort oder besuchen Sie uns unter [www.victrex.com](http://www.victrex.com).*



#### HAUPTSITZ

Victrex plc  
Victrex Technology Centre  
Hillhouse International  
Thornton Cleveleys  
Lancashire FY5 4QD  
United Kingdom  
Tel. +44 (0) 1253 897 700  
Fax +44 (0) 1253 897 701  
E-Mail [victrexplc@victrex.com](mailto:victrexplc@victrex.com)

#### EUROPA

Victrex Europa GmbH  
Langgasse 16  
65719 Hofheim/Ts.  
Germany  
Tel. +49 (0) 6192 964 90  
Fax +49 (0) 6192 964 94 8  
E-Mail [eurosales@victrex.com](mailto:eurosales@victrex.com)

#### AMERIKA

Victrex USA, Inc.  
300 Conshohocken State Road  
Suite 120  
West Conshohocken, PA 19428  
USA  
Tel. +1 (0) 800-VICTREX  
Tel. +1 (0) 484-342-6001  
Fax +1 (0) 484-342-6002  
E-Mail [americas@victrex.com](mailto:americas@victrex.com)

#### AS IEN

Victrex High-Performance  
Materials (Shanghai) Co Ltd  
Part B Building G  
1688 Zhuanxing Road  
Xinzhuang Industry Park  
Shanghai 201108  
China  
Tel. +86 (0) 21 6113 6900  
Fax +86 (0) 21 6113 6901  
E-Mail [scsales@victrex.com](mailto:scsales@victrex.com)

#### JAPAN

Victrex Japan Inc.  
Japan Technology Center  
Mita Kokusai Building Annex  
4-28 Mita 1-chome  
Minato-ku  
Tokyo 108-0073  
Japan  
Tel. +81 (0) 3 5427 4650  
Fax +81 (0) 3 5427 4651  
E-Mail [japansales@victrex.com](mailto:japansales@victrex.com)

[www.victrex.com](http://www.victrex.com)



VICTREX PLC IST DER AUFFASSUNG, DASS DIE INFORMATIONEN IN DIESER BROSCHÜRE EINE EXAKTE BESCHREIBUNG DER TYPISCHEN EIGENSCHAFTEN UND/ODER DER EINSATZBEREICHE SEINER PRDOKTE DARSTELLEN. ES OBLIEGT DER VERANTWORTUNG DES KUNDEN, DAS PRODUKT IN SEINER SPEZIELLEN ANWENDUNG EINGEHEND ZU TESTEN UND SEINE LEISTUNGSFÄHIGKEIT, EFFIZIENZ UND SICHERHEIT FÜR JEDEN GEBRAUCH ZU UNTERSUCHEN. ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN SOLLTEN NICHT ALS ANLASS ZUR VERLETZUNG EINZELNER PATENTE GENOMMEN WERDEN. DIE INFORMATIONEN IN DIESER BROSCHÜRE BASIEREN AUF UNSEREN ALLGEMEINEN ERFAHRUNGEN UND WERDEN NACH BESTEM GEWISSEN WEITERGEGEBEN. DIE AUFFÜHRUNG EINES PRODUKTES IN DIESER DOKUMENTATION IST KEINE GARANTIE FÜR DESSEN VERFÜGBARKEIT. VICTREX PLC BEHÄLT SICH DAS RECHT VOR, IM RAHMEN DER PRODUKTENTWICKLUNG PRODUKTE ZU MODIFIZIEREN UND SPEZIFIKATIONEN UND/ODER VERPACKUNGEN ZU ÄNDERN. VICTREX® IST EIN EINGETRAGENES MARKENZEICHEN DER VICTREX MANUFACTURING LIMITED. VICTREX PIPES™ IST EIN EINGETRAGENES MARKENZEICHEN DER VICTREX MANUFACTURING LIMITED. PEEK-ESD™, HT™, ST™ UND WG™ SIND MARKENZEICHEN VON VICTREX PLC. VICOTE® UND APTIV® SIND EINGETRAGENE MARKENZEICHEN VON VICTREX PLC.

VICTREX PLC ERTEILT KEINE GARANTIE, OB AUSDRÜCKLICH ODER IMPLIZIT, EINSCHLIESSLICH UNBESCHRÄNKT, FÜR DIE TAUGLICHKEIT EINES BESTIMMTEN ZWECKES ODER FÜR GEISTIGES EIGENTUM RECHTSVERLETZUNGEN, EINSCHLIESSLICH JEDOCH NICHT BESCHRÄNKT AUF PATENTVERLETZUNG, DIE AUSDRÜCKLICH DEMONTIERT WURDEN, AUSDRÜCKLICH ODER IMPLIZIT, IN DER TAT ODER GEMÄSS DEM GESETZ. DESWEITEREN, GEWÄHRT VICTREX PLC KEINE GARANTIE GEGENÜBER IHREN KUNDEN, VERTRETEREN UND AUTORISIERT NIEMANDEN FÜR DIE VERTRETUNG ODER GARANTIE ANDERS ALS OBEN BENANNT. VICTREX PLC HÄFTET UNTER KEINEN UMSTÄNDEN FÜR ALLGEMEINE, INDIREKTE, SPEZIELLE, KONSEQUENTE, STRAFRECHTLICHE, ZUFÄLLIGE ODER ÄHNLICHE SCHÄDEN, EINSCHLIESSLICH UND UNBEGRENZT FÜR GESCHÄFTS SCHÄDEN, GEWINNVERLUSTE BZW. ERSPARNISVERLUSTE, AUCH WENN VICTREX ÜBER DIE MÖGLICHKEIT SOLCHER VERLUSTE GLEICH WELCHER HANDLUNGSFORM UNTERRICHTET WURDE.