

## 1. BEARBEITUNGSMASCHINEN & -WERKZEUGE

Für die spanabhebende Bearbeitung von technischen Kunststoffen sind keine besonderen Maschinen oder Verfahren notwendig. Es können die in der Holz- und Metallbearbeitung üblichen Maschinen mit Werkzeugen aus HSS (Hochleistungs-Schnellschnittstahl) oder Hartmetall-Werkzeuge verwendet werden. Lediglich für die Bearbeitung der Kunststoffe mit der Kreissäge empfiehlt sich grundsätzlich der Einsatz von hartmetallbestückten Sägeblättern.

Es sollten nur einwandfrei geschärfte Werkzeuge verwendet werden. Bei glasfaserverstärkten Kunststoffen ist eine Bearbeitung mit hartmetallbestückten Werkzeugen zwar möglich, jedoch können aufgrund der niedrigen Standzeiten der Werkzeuge nur schwer wirtschaftliche Ergebnisse erzielt werden. Hier empfiehlt sich die Verwendung von diamantbestückten Werkzeugen, die zwar in der Beschaffung wesentlich teurer als herkömmliche Werkzeuge sind, aber erheblich längere Standzeiten aufweisen.

## 2. BEARBEITEN UND SPANNEN DES WERKSTÜCKES

Kunststoffe haben im Vergleich zu metallischen Werkstoffen ein geringes Wärmeableitvermögen sowie einen niedrigen E-Modul. Durch unsachgemäße Bearbeitung kann es zu starker Erwärmung des Werkstücks und damit zu einer Wärmedehnung kommen. Hohe Spanndrücke und stumpfe Werkzeuge erzeugen Verformungen des Werkstücks während der Bearbeitung. Maß- und Formabweichungen über den Toleranzbereich hinaus sind die Konsequenz. Um ein zufriedenstellendes Arbeitsergebnis zu erreichen, müssen einige werkstoffspezifische Richtlinien bei der Bearbeitung von technischen Kunststoffen eingehalten werden.

- Es sollten möglichst hohe Schnittgeschwindigkeiten angestrebt werden.
- Eine optimale Spanabfuhr muss gewährleistet sein, damit ein Einziehen der Späne durch das Werkzeug vermieden wird.
- Die eingesetzten Werkzeuge müssen absolut scharf geschliffene Schneiden aufweisen. Stumpfe Schneiden können zu starker Erwärmung führen, was Verzug und Wärmedehnung zur Folge haben kann.
- Die Spanndrücke dürfen nicht zu hoch sein, da sonst Deformationen des Werkstücks und Abdrücke der Spanwerkzeuge im Werkstück die Folge sind.
- Aufgrund der geringen Steifigkeit muss das Werkstück auf dem Maschinentisch ausreichend unterstützt werden und möglichst vollflächig aufliegen.
- Werkstoffe mit hoher Wasseraufnahme (z.B. Polyamide) müssen ggf. vor der Bearbeitung konditioniert werden.
- Kunststoffe erfordern größere Fertigtoleranzen als Metalle!

## 3. KÜHLEN WÄHREND DER BEARBEITUNG

Im Allgemeinen ist eine Kühlung während der Bearbeitung nicht unbedingt notwendig. Soll gekühlt werden, empfiehlt sich die Verwendung von Pressluft. Diese hat den Vorteil, dass neben dem Kühleffekt gleichzeitig der Span aus dem Arbeitsbereich entfernt wird und ein Einziehen des Spanes in das Werkzeug bzw. ein Umlaufen des Spanes um das Werkstück verhindert wird. Handelsübliche Bohremulsionen können ebenfalls zur Kühlung verwendet werden und sind besonders für das Einbringen von tiefen Bohrungen und das Gewindeschneiden zu empfehlen.

Darüber hinaus lassen sich in der Regel höhere Vorschübe und damit geringere Laufzeiten als bei Metallen erzielen. Bei der Verwendung von Bohremulsion ist jedoch darauf zu achten, dass diese nach der Bearbeitung rückstandslos entfernt wird. So wird verhindert, dass deren ölhaltige Bestandteile etwaige Folgearbeitgänge wie z.B. Verkleben oder Lackieren stören.

## 4. KENNWERTE FÜR VERSCHIEDENE BEARBEITUNGSVERFAHREN

### 4.1 BOHREN

Bohrungen können mit handelsüblichen HSS-Bohrern hergestellt werden. Bei der Herstellung von tiefen Bohrungen ist darauf zu achten, dass für eine gute Spanabfuhr gesorgt ist, da es sonst an der Bohrungswand zur Erwärmung des Kunststoffes bis zur Schmelztemperatur kommen kann und der Bohrer „schmiert“. Dies gilt insbesondere für tiefe Bohrungen.

Bei größeren Bohrlochdurchmessern empfiehlt es sich mit kleinen Durchmessern (ca. 10 – 20 mm) vorzubohren und die Fertigbearbeitung mit einem Innendrehmeißel auszuführen.

Beim Bohren ins volle Material ist besonders auf einwandfrei geschärfte Bohrer zu achten. Weiters ist der Bohrer zu lüften um eine einwandfreie Spanabfuhr zu gewährleisten. Ist das nicht der Fall, erwärmt sich der Kunststoff in der Bohrung bis zum Schmelzpunkt. Durch die tiefe Wärmeleitfähigkeit kann die erzeugte Wärme nicht rasch genug abfließen und das Material dehnt sich im Mittelbereich extrem aus. Da die Außenschale kalt bleibt entsteht im Mittelbereich ein hoher Spannungszustand. Ausgelöst durch die Kerbwirkung der Werkzeuge kann es bei Nichtbeachtung obiger Regeln zum Springen des Kunststoffteiles kommen. Der Effekt kann auch bei hochschlagzäh Kunststoffen auftreten, wenn zu rasch ohne Wärmeabfuhr mit zu großen Bohrerdurchmessern ohne geeignete Spanabfuhr (Lüften) gebohrt wird.

Verstärkte Kunststoffe besitzen höhere Verarbeitungsrestspannungen bei geringerer Schlagzähigkeit als unverstärkte Kunststoffe und sind daher besonders rissempfindlich. Sie sollten nach Möglichkeit vor dem Bohren auf etwa 120°C erwärmt werden (Erwärmungszeit ca. 1 Std. pro 10 mm Querschnitt). Auch bei Zellamid® 250 (PA 6.6) sowie Zellamid® 1400 und 1400T (PET und PET+GL) empfiehlt sich dieses Verfahren.

### 4.2 DREHEN

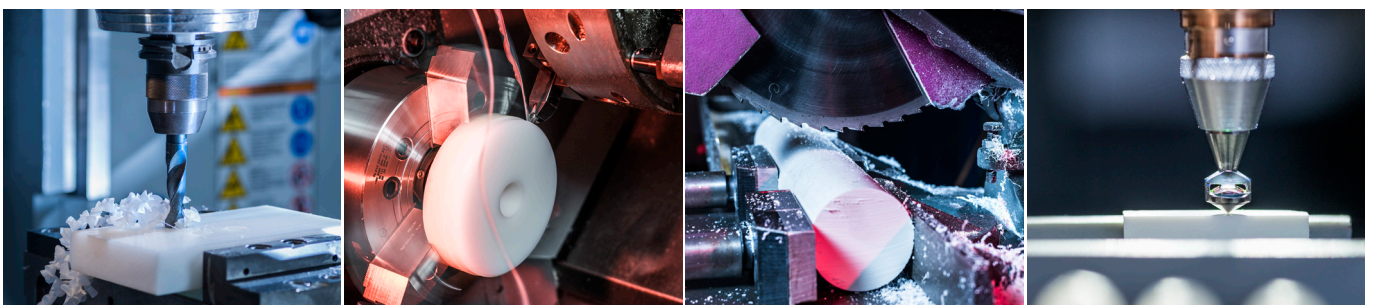
Da bei den meisten Kunststoffen ein Fließspan entsteht, ist auf eine besonders gute Abfuhr der Späne zu achten, da sich diese sonst einklemmen und mit dem Drehteil umlaufen. Des Weiteren ist aufgrund der geringeren Steifigkeit von Kunststoffen bei längeren Drehteilen die Gefahr des Durchhangs groß und deshalb die Verwendung einer Lünette ratsam.

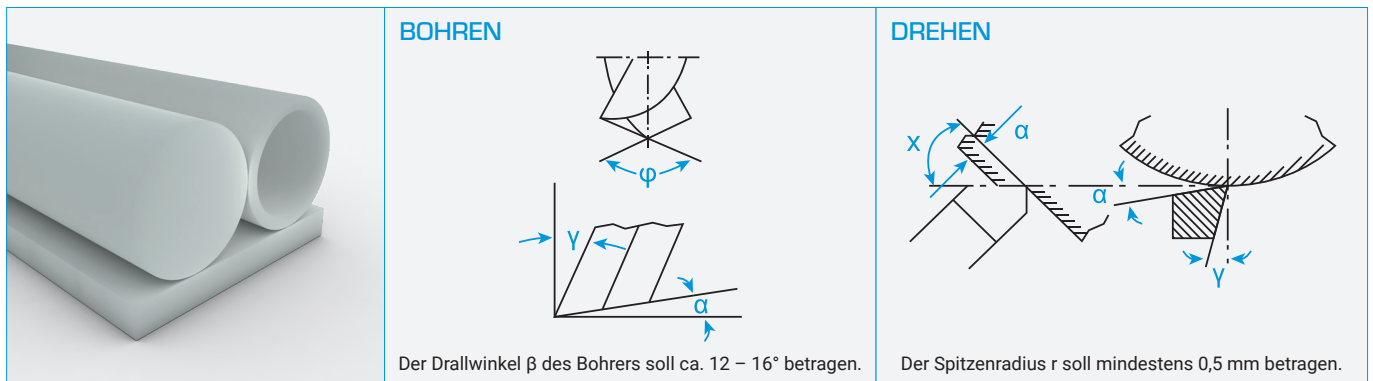
### 4.3 SÄGEN

Technische Kunststoffe können gleichermaßen mit Band- oder Kreissägen gesägt werden. Die Auswahl richtet sich nach der Form des Halbzeuges. Der Einsatz einer Bandsäge bietet sich insbesondere beim Zuschneiden von Rundstäben und Rohren, da die entstehende Bearbeitungswärme durch das lange Sägeblatt gut abgeführt wird. Es muss jedoch auf eine ausreichende Schränkung des Blattes geachtet werden, damit ein Klemmen des Blattes verhindert wird. Kreissägen werden hauptsächlich für den Zuschnitt von Tafeln mit geraden Schnittkanten verwendet. Hierbei ist zu beachten, dass mit ausreichenden Vorschüben gearbeitet wird, damit die Spanabfuhr gewährleistet ist und ein Klemmen des Sägeblatts sowie eine Überhitzung des Kunststoffs im Sägeschnitt verhindert wird. Die Verwendung von Kreissägeblättern mit Seitenschneidern oder Seitenräumern ist anzuraten. Verstärkte Kunststoffe besitzen höhere Verarbeitungsrestspannungen bei geringerer Schlagzähigkeit als unverstärkte Kunststoffe und sind daher besonders rissempfindlich. Sie sollten nach Möglichkeit vor dem Schneiden auf etwa 120 °C erwärmt werden.

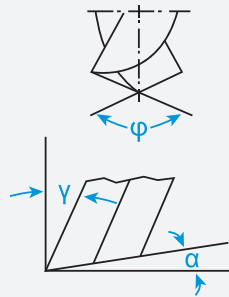
### 4.4 FRÄSEN

Die Fräsbearbeitung auf den üblichen Bearbeitungszentren ist unproblematisch. Mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und unter mittleren Vorschüben lassen sich hohe Zerspanleistungen bei gleichzeitig guter Oberfläche und Genauigkeit erzielen.



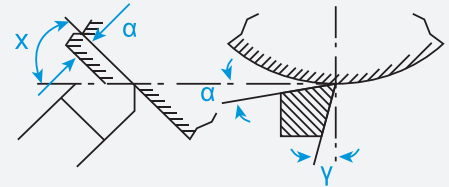


## BOHREN



Der Drillwinkel  $\beta$  des Bohrers soll ca. 12 – 16° betragen.

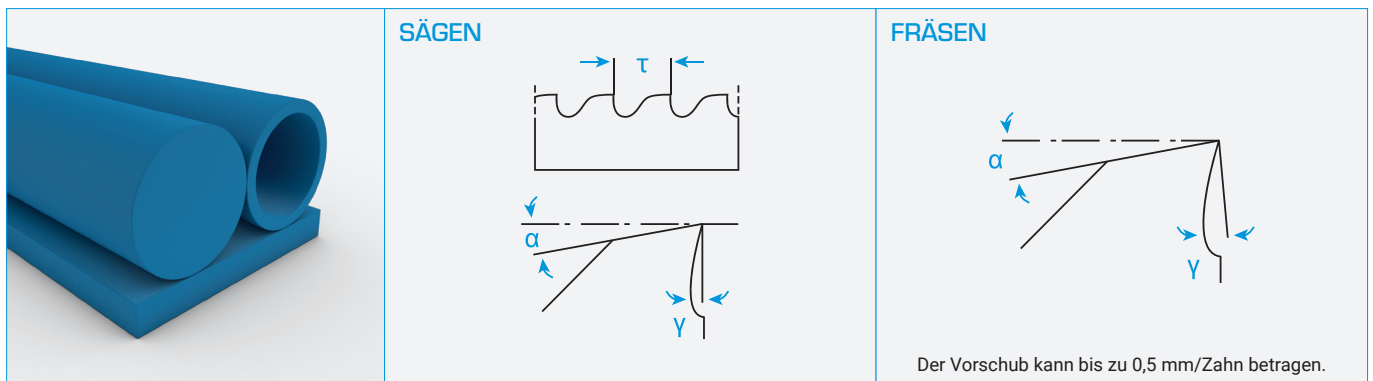
## DREHEN



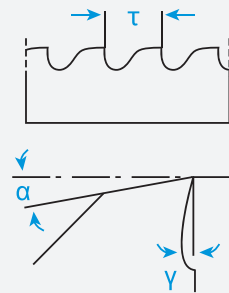
Der Spitzenradius  $r$  soll mindestens 0,5 mm betragen.

ZELLAMID®	$\alpha$	$\gamma$	$\phi$	V	S	$\alpha$	$\gamma$	x	V	S
<b>202</b> (PA6) · <b>202 MO</b> (PA6 + MoS <sub>2</sub> )	5 – 15	5 – 20	90	50 – 150	0,1 – 0,3	6 – 10	0 – 5	45 – 60	250 – 500	0,1 – 0,5
<b>1100</b> (PA6 C)	5 – 15	10 – 20	90	50 – 150	0,1 – 0,3	6 – 10	0 – 5	45 – 60	200 – 500	0,1 – 0,5
<b>250</b> (PA 6.6)	5 – 15	10 – 20	90	50 – 150	0,1 – 0,3	6 – 10	0 – 5	45 – 60	200 – 500	0,1 – 0,5
<b>900</b> (POM-C) · <b>900 H</b> (POM-H)	5 – 10	15 – 30	90	50 – 200	0,1 – 0,3	6 – 8	0 – 5	45 – 60	300 – 600	0,1 – 0,4
<b>900 ELS</b> (POM-C leitfähig)	5 – 10	15 – 30	90	50 – 200	0,1 – 0,3	6 – 8	0 – 5	45 – 60	300 – 600	0,1 – 0,4
<b>900 AS</b> (POM-C antistatisch)	5 – 10	15 – 30	90	50 – 200	0,1 – 0,3	6 – 8	0 – 5	45 – 60	300 – 600	0,1 – 0,4
<b>1400</b> · <b>1400 H</b> · <b>1400 XPBT</b>	5 – 10	10 – 20	90	50 – 100	0,2 – 0,3	5 – 15	0 – 5	45 – 60	300 – 400	0,2 – 0,4
<b>1500</b> (PEEK)	5 – 10	10 – 30	90 – 120	70 – 200	0,1 – 0,3	6 – 8	0 – 5	45 – 60	250 – 500	0,1 – 0,4
<b>1000</b> (PEI)	3 – 10	10 – 20	90	20 – 80	0,1 – 0,3	6	0	45 – 60	350 – 400	0,1 – 0,3
<b>1900</b> (PPS)	5 – 10	10 – 30	90	50 – 200	0,1 – 0,3	6 – 8	0 – 5	45 – 60	250 – 500	0,1 – 0,5
<b>2100</b> (PPSU)	3 – 10	10 – 20	90	20 – 80	0,1 – 0,3	6	0	45 – 60	350 – 400	0,1 – 0,3
<b>2200</b> (PI)	5 – 10	5 – 10	90 – 120	80 – 100	0,05 – 0,15	2 – 5	0 – 5	7 – 10	100 – 120	0,05 – 0,25
<b>Verstärkte ZELLAMID® Produkte</b>	6	5 – 10	120	80 – 100	0,1 – 0,3	6 – 8	2 – 8	45 – 60	150 – 200	0,1 – 0,5

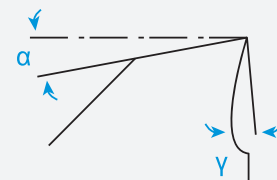
$\alpha$  Freiwinkel (°) ·  $\gamma$  Spanwinkel (°) ·  $\phi$  Spitzwinkel (°) · x Einstellwinkel (°) · V Schnittgeschwindigkeit (m/min) · S Vorschub (mm/U)



## SÄGEN



## FRÄSEN



Der Vorschub kann bis zu 0,5 mm/Zahn betragen.

ZELLAMID®	$\alpha$	$\gamma$	V	$\tau$	$\alpha$	$\gamma$	V
<b>202</b> (PA6) · <b>202 MO</b> (PA6 + MoS <sub>2</sub> )	20 – 30	2 – 5	500	3 – 8	10 – 20	5 – 15	250 – 500
<b>1100</b> (PA6 C)	20 – 30	2 – 5	500	3 – 8	10 – 20	5 – 15	250 – 500
<b>250</b> (PA 6.6)	20 – 30	2 – 5	500	3 – 8	10 – 20	5 – 15	250 – 500
<b>900</b> (POM-C) · <b>900 H</b> (POM-H)	20 – 30	0 – 5	500 – 800	2 – 5	5 – 15	5 – 15	250 – 500
<b>900 ELS</b> (POM-C leitfähig)	20 – 30	0 – 5	500 – 800	2 – 5	5 – 15	5 – 15	250 – 500
<b>900 AS</b> (POM-C antistatisch)	20 – 30	0 – 5	500 – 800	2 – 5	5 – 15	5 – 15	250 – 500
<b>1400</b> · <b>1400 H</b> · <b>1400 XPBT</b>	15 – 30	5 – 8	300	2 – 8	5 – 15	5 – 15	250 – 400
<b>1500</b> (PEEK)	15 – 30	0 – 5	500 – 800	3 – 5	5 – 15	6 – 10	180 – 450
<b>1000</b> (PEI)	15 – 30	0 – 4	500	2 – 5	2 – 10	1 – 5	250 – 500
<b>1900</b> (PPS)	15 – 30	0 – 5	500 – 800	3 – 5	5 – 15	6 – 10	250 – 500
<b>2100</b> (PPSU)	15 – 30	0 – 4	500	2 – 5	2 – 10	1 – 5	250 – 500
<b>2200</b> (PI)	5 – 10	0 – 3	800 – 900	10 – 14	2 – 5	0 – 5	90 – 100
<b>Verstärkte ZELLAMID® Produkte</b>	15 – 30	10 – 15	200 – 300	3 – 5	15 – 30	6 – 10	80 – 100

$\alpha$  Freiwinkel (°) ·  $\gamma$  Spanwinkel (°) · V Schnittgeschwindigkeit (m/min) ·  $\tau$  Zahnteilung (mm)

Verstärkte ZELLAMID® Produkte wie **250 GF30**, **1500 T**, **1500 GF30**, **1000 GF20CRF**, **1900 GF40** und ungefüllte Produkte, wie **1400**, **1400 H**, **1900** und **2200** sollten vor dem Sägen oder Bohren (Rundstäbe ab 80 mm und Platten ab 50 mm Dicke) vorgewärmt werden. Eine Erwärmung der Werkstoffe auf 100 – 120 °C mit einer Aufheiz-/Abkühlrate von 10 °C je Stunde wird empfohlen. Es sollten nur geschärfte Werkzeuge mit kleinem Vorschub verwendet werden. **Alle sonstigen Materialien sollten vor der Bearbeitung gleichmäßig auf Raumtemperatur erwärmt werden!** Unsere anwendungstechnische Beratung in Wort und Schrift soll Ihre eigene Arbeit unterstützen. Sie gilt als unverbindliche Empfehlung, auch im Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Eine Haftung für mögliche Schäden, die bei der Bearbeitung auftreten, können wir nicht übernehmen. Änderungen, die den technischen Fortschritt dienen, behalten wir uns vor.