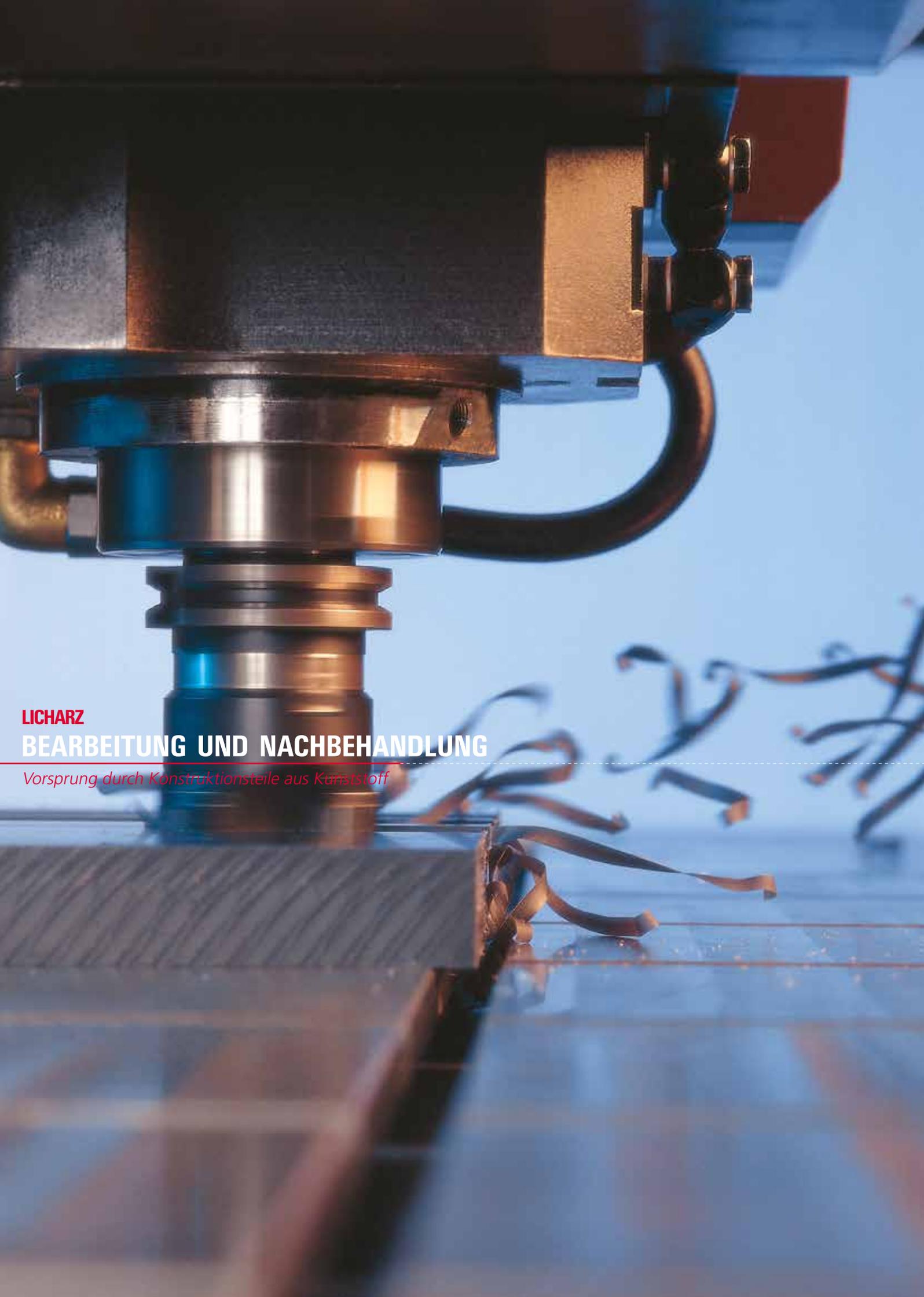


KONSTRUIEREN MIT TECHNISCHEN

# KUNSTSTOFFEN

mit Übersichtstabellen





**LICHARZ**

## **BEARBEITUNG UND NACHBEHANDLUNG**

*Vorsprung durch Konstruktionsteile aus Kunststoff*

### 1. Spanabhebende Bearbeitung

Mit der zunehmenden Vielfalt an technischen Kunststoffen und den daraus resultierenden Einsatzmöglichkeiten öffnen sich für den Konstrukteur neue Horizonte, die ihm mit den üblichen Werkstoffen verschlossen blieben. Oft ist, neben den Werkstoffgrenzen, nur das Herstellverfahren als Grenze der gestalterischen Möglichkeiten zu sehen. Insbesondere dann, wenn großvolumige Konstruktionsteile aus Guss-Polyamiden und Polyacetal (POM) oder Polyethylenterephthalat (PET) benötigt werden, können Herstellverfahren, wie z. B. Spritzguss, nicht eingesetzt werden. Dies gilt ebenso für komplexe Funktionsträger, die eine allseitige Bearbeitung mit engen Toleranzen erfordern.

Abb. 1: komplexes Funktionsteil aus POM



Hier hat sich die spanabhebende Herstellung als vorteilhaft erwiesen: Sowohl hochpräzise Funktionsträger als auch großvolumige Konstruktionsteile lassen sich in kleinen und mittleren Losgrößen besonders wirtschaftlich durch spanabhebende Bearbeitung herstellen.

Für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Produkten sind bei der Auswahl von Maschinen und Werkzeugen sowie deren Einsatz einige spezifische Eigenschaften der Kunststoffe zu berücksichtigen.

#### 1.1 Bearbeitungsmaschinen/-werkzeuge

Für die spanabhebende Bearbeitung 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.

Eine Besonderheit stellt die Gruppe der glasfaserverstärkten Kunststoffe dar. Eine Bearbeitung mit hartmetallbestückten Werkzeugen ist 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 wesentlich teurer als herkömmliche Werkzeuge sind, aber erheblich längere Standzeiten aufweisen.

#### 1.2 Bearbeiten, Spannen und Maßhaltigkeit des Werkstücks

Kunststoffe haben im Vergleich zu metallischen Werkstoffen ein schlechtes Wärmeleitvermögen sowie einen niedrigen E-Modul. Durch unsachgemäße Bearbeitung kann es zu starker Erwärmung des Werkstücks und damit zu großer, wärmebedingter Ausdehnung kommen. Auch herstellbedingte Spannungen im Halbzeug können durch Zerspanungswärme frei werden. Hohe Spanndrücke und stumpfe Werkzeuge erzeugen Verformungen des Werkstücks während der Bearbeitung. Maß- und Formabweichungen über den Toleranzbereich hinaus sind die Konsequenz. Zufriedenstellende Arbeitsergebnisse können also nur erzielt werden, wenn bei der Zerspanung von Kunststoffen einige werkstoffspezifische Richtlinien beachtet werden.

# Bearbeitungsrichtlinien

## Bearbeitung und Nachbehandlung

Im Einzelnen bedeutet das:

- Es sollte spannungsarm getempertes Halbzeug verwendet 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 verwendeten Werkzeuge müssen absolut scharf geschliffene Schneiden aufweisen. Stumpfe Schneiden können zu starker Erwärmung führen, was Verzug und Wärmedehnung zur Folge haben kann.
- Es muss auf allseitig gleichmäßige Spanabnahme geachtet werden, um Verzug zu vermeiden.
- Die Spanndrücke dürfen nicht zu hoch sein, da sonst Deformationen des Werkstücks und Abdrücke der Spannwerkzeuge im Werkstück die Folge sind.
- Aufgrund der geringen Steifigkeit muss das Werkstück auf dem Maschinentisch ausreichend unterstützt werden und möglichst vollflächig aufliegen.
- Einwandfreie, hochwertige Oberflächen lassen sich nur durch vibrationsarmen Maschinenlauf realisieren.

Als besonders schwierig stellt sich die Herstellung von maßhaltigen Teilen, die ein hohes Zerspanungsvolumen oder eine ungleichmäßige Spanabnahme erfordern, dar. In beiden Fällen empfiehlt es sich, die Teile bis auf ein Restaufmaß vorzuarbeiten und dann zwischenzutempeln. Das und eine anschließende 24-stündige Zwischenlagerung gewährleisten, dass zerspanungsbedingte Wärmespannungen und Restspannungen des Halbzeugs weitgehend abgebaut werden. Danach können die Teile endbearbeitet werden.

Unter Beachtung dieser Richtlinien sind auch enge, kunststoffgerechte Toleranzen mit hoher Wiederholgenauigkeit ohne Schwierigkeiten realisierbar.

### 1.3 Kühlung 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 Spans in bzw. ein Umlaufen des Spans um das Werkzeug verhindert wird.

Handelsübliche Bohremulsionen und Schneidöle können ebenfalls zur Kühlung verwendet werden. Der Einsatz empfiehlt sich besonders dann, wenn tiefe Bohrungen eingebracht oder Gewinde geschnitten werden sollen. Außerdem lassen sich höhere Vorschübe und damit geringere Laufzeiten erzielen. Zu beachten ist jedoch, dass einige Kunststoffe von Bestandteilen der Bohremulsionen und Schneidöle angegriffen und irreversibel geschädigt werden können. Vor deren Verwendung empfiehlt sich daher, die Beständigkeit des Kunststoffs zu prüfen. Alternativ dazu können die Emulsions- oder Ölhersteller Informationen und Hinweise über bekannte Unverträglichkeiten mit Kunststoffen geben. Mit Emulsion oder Schneidöl benetzte Werkstücke sollten darüber hinaus nach der Bearbeitung sorgfältig gereinigt werden. Es ist darauf zu achten, eventuell anhaftende Rückstände restlos zu entfernen. So wird gewährleistet, dass etwaige Folgearbeitsgänge, wie z. B. Verkleben oder Lackieren, problemlos bleiben. Speziell bei Polyamiden wird verhindert, dass die Wasseranteile in der Emulsion zu Veränderungen der Bauteile durch Feuchteaufnahme führen.

## 2. Kennwerte für die einzelnen Bearbeitungsverfahren

### 2.1 Sägen

Kunststoffe können gleichermaßen mit einer Band- oder Kreissäge gesägt werden. Die Auswahl richtet sich nach der Form des Halbzeugs. Der Einsatz einer Bandsäge bietet sich insbesondere bei Verwendung einer „Auflagekehle“ (Prisma) für den Zuschnitt von Vollstäben und Rohren an und bringt den Vorteil, dass 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 kommen hingegen hauptsächlich für den Zuschnitt von Tafeln und Blöcken mit geraden Schnittkanten in Betracht. 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. Tabelle 1 enthält Richtwerte für die Schneidengeometrie der Sägeblätter.

### 2.2 Fräsen

Die Fräsbearbeitung auf den üblichen Bearbeitungszentren ist unproblematisch. Mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und unter mittleren Vorschüben lassen sich hohe Zerspanleistungen bei gleichzeitig guter Oberflächenqualität und Genauigkeit erzielen. Es ist darauf zu achten, dass Werkzeuge mit ausreichend großem Spanraum verwendet werden. Damit ist eine zuverlässige Spanabfuhr gewährleistet und es wird ein Wärmestau vermieden. Hinsichtlich der Schneidengeometrie empfehlen wir die in der Tabelle enthaltenen Werte.

### 2.3 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 der Kunststoffe bei längeren Teilen die Gefahr des Durchhangs groß und deshalb die Verwendung einer Lünette ratsam. Für die Schneidengeometrie gelten die Werte der Tabelle.

### 2.4 Bohren

Bohrungen können mit einem handelsüblichen HSS-Bohrer 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 Kunststoffs bis zur Schmelztemperatur kommen kann und der Bohrer „schmiert“. Dies gilt insbesondere für tiefe Bohrungen. Für Bohrungen in dünnwandigen Werkstücken empfiehlt sich die Wahl einer hohen Schnittgeschwindigkeit und ggf. eines neutralen ( $0^\circ$ ) Spanwinkels. So wird ein Einhaken des Bohrers in das Werkstück und das damit verbundene Ausreißen der Bohrung bzw. Hochziehen des Werkstücks am Bohrer vermieden. In der Tabelle sind die empfohlenen Werte für die Bohrerschneidengeometrie dargestellt.

### 2.5 Bohren großer Durchmesser in Rundstababschnitten

Beim Bohren entstehen an den Bohrerschneiden, speziell bei hochkristallinen Werkstoffen wie **LINNOTAM**, hohe Temperaturen, die aufgrund der guten Isoliereigenschaften der Kunststoffe nicht ausreichend abgeführt werden können. Die Wärme führt zu einer inneren Dehnung des Werkstoffs, was Druckspannungen im Inneren des Stababschnitts hervorruft. Diese können so hoch werden, dass es zum Reißen und Auseinanderplatzen des Rohlings kommt. Dies kann durch werkstoffgerechte Bearbeitung weitgehend vermieden werden.

# Bearbeitungsrichtlinien

---

## Bearbeitung und Nachbehandlung

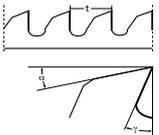
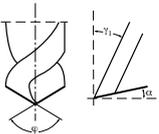
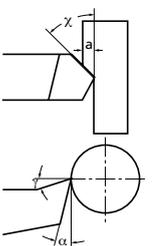
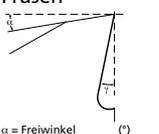
Es empfiehlt sich, eine Vorbohrung anzubringen und die Fertigbearbeitung mit einem Innendrehmeißel auszuführen. Vorbohrungen sollten dabei im Durchmesser nicht größer als 35 mm sein. Bohrungen in langen Stababschnitten dürfen dabei nur von einer Seite her eingebracht werden, da sich sonst beim Aufeinandertreffen der Bohrungen in der Mitte des Rohlings ein ungünstiges Spannungsverhältnis ergibt, welches das Reißen des Stababschnitts begünstigt. In extremen Fällen kann es notwendig sein, den Rohling auf ca. 120-150 °C zu erwärmen und die Vorbohrung in diesem Zustand anzubringen. Die Fertigbearbeitung kann dann nach dem vollständigen Abkühlen und Erreichen eines gleichmäßigen Temperaturniveaus innerhalb des Rohlings erfolgen.

### 2.6 Hinweise zu verstärkten und gefüllten Kunststoffen

Kunststoffe, die durch Glasfasern, Kohlefasern, Glaskugeln, Mineralstoffe oder andere Stoffe verstärkt oder gefüllt sind, weisen gegenüber nicht verstärkten oder ungefüllten Kunststoffen ein höheres Restspannungsniveau auf. Durch die Verstärkungs- und Füllstoffe werden die Produkte zudem härter und spröder und die Schlagzähigkeit nimmt ab. Das macht diese Produkte besonders rissempfindlich. Während der Zerspanung können die Restspannungen freigesetzt werden, was sich durch starken Verzug bis zur Rissbildung und vollständigem Bruch bemerkbar machen kann. Bei der Be- und Verarbeitung sollten daher folgende Hinweise berücksichtigt werden:

- Die Halbzeuge sollten nach Möglichkeit vor dem Bohren oder Sägen auf ca. 120 °C erwärmt werden (Zeit-Richtwert: ca. 5-6 min pro mm Querschnitt).
- Für die Bearbeitung sollten mindestens hartmetallbestückte, besser jedoch diamantbeschichtete Werkzeuge verwendet werden.
- Beim Spannen und Fixieren auf Verzugfreiheit achten bzw. das Material möglichst geringen Biege-, Zug- oder Druckkräften aussetzen.

Werden die vorstehenden Bearbeitungsrichtlinien beachtet, ist die Herstellung komplexer Produkte aus technischen Kunststoffen mit spangebenden Verfahren auch bei höchsten Qualitätsanforderungen an Genauigkeit und Funktionalität ohne Weiteres möglich.

	PA	POM	PET	PE/PP-H	PVC	PVDF	PTFE	PSU	PEI	PEEK	verstärkte Werkstoffe
<b>Sägen</b>  $\alpha$ = Freiwinkel $\gamma$ = Spanwinkel $v$ = Schnittgeschw. (m/min) $t$ = Freiwinkel Werte für Kreissäge ohne () Werte für Bandsäge mit () Geschränkte Bandsägeblätter verwenden!											
$\alpha$	30-40 (10-20)	30-40 (10-20)	30-40 (10-20)	20-30 (20-30)	5-10 (30-40)	30-40 (10-20)	10-15 (10-30)	10-15 (10-30)	10-15 (15-30)	10-15 (15-30)	15-30 (15-30)
$\gamma$	0-10 (0-8)	0-10 (0-8)	0-10 (0-8)	6-10 (2-8)	0-6 (0-5)	0-10 (0-8)	0-15 (0-4)	0-15 (0-4)	10-15 (15-30)	0-15 (0-5)	15-30 (10-15)
$v$	1000-3500 (200-1000)	1000-3500 (200-1000)	1000-3500 (200-1000)	1000-3500 (500-800)	3000-4000 (800-1200)	1000-3500 (200-1000)	1800-2000 (300-500)	1800-2000 (300-500)	1800-2000 (300-500)	1800-2500 (500-800)	500-1500 (200-300)
$t$	24-80 (3-5/Zoll)	24-80 (3-5/Zoll)	24-80 (3-5/Zoll)	24-80 (3-8/Zoll)	36-80 (3-5/Zoll)	24-80 (3-5/Zoll)	24-80 (2-5/Zoll)	24-80 (2-5/Zoll)	24-80 (2-5/Zoll)	24-80 (3-5/Zoll)	24-80 (3-5/Zoll)
<b>Bohren</b>  $\alpha$ = Freiwinkel $\gamma$ = Spanwinkel $\phi$ = Spitzwinkel $v$ = Schnittgeschw. (m/min) $s$ = Vorschub (mm/U) Der Drillwinkel des Bohrers soll 12-16° betragen.											
$\alpha$	5-15	5-10	5-10	10-20	5-10	5-15	10-15	8-15	8-15	5-15	5-10
$\gamma$	5-10	5-15	5-15	10-15	0-5	5-20	5-20	10-20	10-20	10-15	5-10
$\phi$	60-90	60-90	60-90	60-90	60-100	110-130	110-130	60-90	60-90	90-120	110-120
$v$	50-150	50-150	50-150	50-150	30-120	100-300	100-300	50-100	50-100	50-200	80-100
$s$	0,1-0,5	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,4	0,1-0,4	0,05-0,3	0,1-0,3
<b>Drehen</b>  $\alpha$ = Freiwinkel $\gamma$ = Spanwinkel $\chi$ = Einstellwinkel $v$ = Schnittgeschw. (m/min) $s$ = Vorschub (mm/U) $a$ = Spanntiefe (mm) Der Spitzenradius soll 0,5 mm betragen.											
$\alpha$	5-15	5-10	5-10	5-10	8-10	5-15	5-10	5-10	5-10	5-10	6-8
$\gamma$	0-10	0-5	0-5	0-5	0-5	5-15	0-5	0-5	0-5	0-5	2-8
$\chi$	0-45	0-45	0-45	0-60	30-60	0-45	0-45	0-45	0-45	0-45	45-60
$v$	200-500	200-500	200-500	250-500	250-750	150-200	200-500	150-400	150-400	200-500	150-200
$s$	0,05-0,5	0,05-0,5	0,05-0,5	0,1-0,5	0,3-0,5	0,1-0,3	0,05-0,5	0,1-0,3	0,1-0,3	0,2-0,5	0,1-0,5
$a$	bis 15	bis 15	bis 15	bis 15	bis 10	bis 15	bis 15	bis 10	bis 10	bis 15	bis 10
<b>Fräsen</b>  $\alpha$ = Freiwinkel $\gamma$ = Spanwinkel $v$ = Schnittgeschw. (m/min) Vorschub bis 0,5 mm pro Zahn, Drillwinkel des Fräasers von 0-40°											
$\alpha$	5-15	5-10	5-10	5-20	5-10	5-15	10-15	10-20	10-20	5-15	15-30
$\gamma$	0-15	0-10	0-10	5-15	0-15	5-15	15-20	5-15	5-15	5-10	5-10
$v$	bis 1000	bis 1000	bis 1000	bis 1000	bis 1000	bis 1000	bis 600	bis 400	bis 400	bis 500	bis 100

### Hinweise für die Zerspanung:

Für folgendes Abmessungen/Werkstoffe empfehlen wir das Erwärmen

vor dem Sägen:

- ab Ø 50: PA 66 GF
- ab Ø 60: PEEK-GF, PEEK-GL, POM-GF
- ab Ø 100: PA 6 GF, PA 12 GF, PET

vor dem Bohren im Zentrum:

- ab Ø 60: PEEK-GF, PEEK-GL, POM-GF
- ab Ø 80: PA 66 GF
- ab Ø 100: PA 66, PA 6 GF, PA 12 GF, PET
- ab Ø 180: LINNOTAM, LINNOTAM<sup>HIPERFORMANCE</sup> 612, LINNOTAM<sup>HIPERFORMANCE</sup> 1200

Keine Kühlschmierstoffe/Schneidöle verwenden. Spannungsrissgefahr!

Verwendung von Hartmetall/Diamantwerkzeugen empfohlen

Halbzeug auf ca. 120 °C vorwärmen! Richtwert für Aufwärmzeit: 5-6 min / mm Querschnitt

### 3. Nachbehandlungsverfahren

#### 3.1 Konditionieren

Der Prozess des Konditionierens wird als Nachbehandlung trockener Polyamidprodukte mit dem Ziel der möglichst schnellen Feuchtigkeitsanreicherung definiert. Dies kann dann erforderlich sein, wenn Bauteile aus Polyamiden sich durch Wasseraufnahme maßlich nicht mehr verändern dürfen, Teile im dauernden Kontakt mit oder unter Wasser eingesetzt werden sollen oder gezielt die durch Wasseraufnahme hervorgerufene Werkstoffveränderungen herbeigeführt werden sollen.

Üblicherweise werden bei Polyamidprodukten folgende Feuchtigkeitszustände unterschieden:

- trocken (Feuchtegehalt < 0,2 %)
- luftfeucht (Gewichtskonstanz bei Lagerung im Normklima bei 23 °C/50 % rel. Feuchte)
- nass (Gewichtskonstanz auch nach längerer Wasserlagerung)

Für die Konditionierung bietet sich, neben den mit Warmluft und Luftfeuchte arbeitenden Verfahren, die Lagerung in heißem Wasser (Wassertemperatur ca. 80 °C-max. 100 °C) an. Diese Methode ist vom Aufwand her gesehen die einfachste, birgt jedoch einen entscheidenden Nachteil: Bei dickwandigen Bauteilen diffundiert das Wasser zunächst in die Oberflächenregionen ein und sättigt diese. Die tieferliegenden Schichten weisen jedoch nach Ablauf der Konditionierzeit noch nicht den gewünschten Wassergehalt auf. Nach Entnahme der Teile aus dem Wasserbad wird ein Teil des Wassers wieder an die Umgebung abgegeben. Der Wassergehalt der oberflächennahen Schichten stellt sich bei dem gewünschten Wert ein, der der tieferliegenden Schichten sinkt jedoch unter den vorgesehenen Wert. Daher ist es zweckmäßig, die Verweilzeit der Bauteile im Wasserbad etwas zu verlängern und der Konditionierung eine Lagerung in normaler Raumluft von einigen Tagen Dauer anzuschließen. So stellt sich nach Abgabe des Wassers aus den oberflächennahen Schichten ein über den Querschnitt annähernd gleichmäßiger Wassergehalt ein.

#### 3.2 Wichtige Faktoren bei der Wasseraufnahme von Polyamiden

Der Vorgang der Wasseraufnahme läuft im allgemeinen nur sehr langsam ab und wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten Faktoren lassen sich dabei wie folgt darstellen:

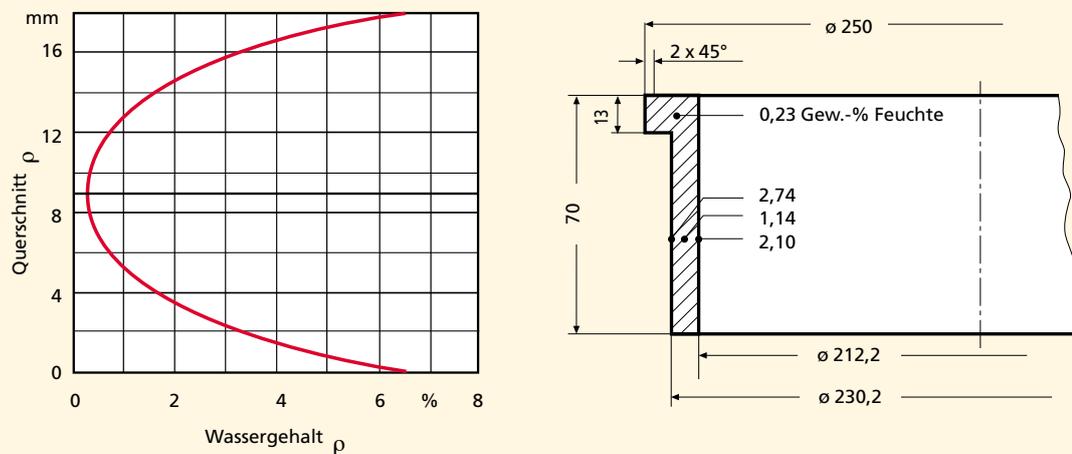
##### 3.2.1 Geschwindigkeit der Wasseraufnahme

Wasser bzw. Feuchtigkeit wird von Polyamid nur sehr langsam bis zu einem Gleichgewichtszustand aufgenommen. Ist das Gleichgewicht erreicht, lässt sich der Feuchtegehalt nur durch Änderung der Umgebungsbedingungen, wie z. B. höherer Feuchtegehalt und/oder höhere Temperatur beeinflussen. Die Neigung der Wassermoleküle, in einen Feststoff einzudiffundieren, nimmt dabei mit steigender Temperatur stark zu. Demzufolge wird mit zunehmender Umgebungstemperatur weniger Zeit benötigt, um eine bestimmte Menge Wasser in ein Bauteil aus Polyamid eindringen zu lassen. Darüber hinaus ist die Größe der spezifischen Oberfläche (Oberfläche pro Volumeneinheit) entscheidend. Je größer die spezifische Oberfläche des Bauteils ist, desto größer ist die Angriffsfläche für die Wassermoleküle und umso höher die Aufnahmegeschwindigkeit. Für den praktischen Einsatz von Polyamiden lässt sich daraus schließen, dass kurzfristige Feuchtigkeitsschwankungen in der Umgebung nur geringen Einfluss auf die Werkstoffeigenschaften haben, langfristige und ggf. mit hohen Temperaturen einhergehende Schwankungen jedoch durchaus die beschriebenen Veränderungen der Werkstoffeigenschaften hervorrufen können.

### 3.2.2 Wasseraufnahme in Luft

Die Wasseraufnahme durch Luftfeuchtigkeit wird im Wesentlichen von der relativen Luftfeuchte und nicht der Lufttemperatur bestimmt. Für die Wasseraufnahme durch Luftfeuchtigkeit ist anzumerken, dass sich der Vorgang bei dickwandigen Bauteilen ausschließlich im oberflächennahen Bereich abspielt und eine Wasseraufnahme im Bauteilinneren mit den geschilderten Folgen im Normalfall nicht zu erwarten ist (Abb.2).

Abb. 2: Feuchteverteilung in dickwandigen Bauteilen aus Guss-Polyamid



### 3.2.3 Einfluss des Kristallinitätsgrades

Da Wasser nur von den amorphen Anteilen im Polyamid aufgenommen wird, hängt die Wasseraufnahme auch wesentlich vom Kristallinitätsgrad ab. Mit steigendem Kristallinitätsgrad nimmt sowohl die Sättigungskonzentration (hängt vom chemischen Aufbau und der Polyamidart ab) als auch die Aufnahmegeschwindigkeit und das Aufnahmevermögen ab. Gegossene Polyamide haben im Vergleich zu extrudierten Polyamiden einen höheren Kristallinitätsgrad. Sie nehmen daher erheblich weniger Wasser auf und benötigen dafür wesentlich mehr Zeit.

### 4. Tempern

Der Vorgang des Temperns wird als Wärmebehandlung von Formteilen oder Halbzeugen definiert, der das Ziel hat,

- Restspannungen aus dem Herstell- oder Verarbeitungsprozess weitgehend zu reduzieren,
- die Kristallinität zu steigern und damit die mechanischen Werkstoffkennwerte zu verbessern,
- Verzug und Maßänderungen während oder nach der Verarbeitung zu verhindern,
- die dauerhafte Dimensionsstabilität zu verbessern.

Üblicherweise werden Halbzeuge und Formteile im Wärmeschrank mit heißer, zirkulierender Luft getempert. Häufig werden aber auch heiße Ölbäder auf Parafin- oder Silikonölbasis eingesetzt. Unabhängig vom verwendeten Wärmeübertragungsmedium basiert der Ablauf des Verfahrens auf einem einheitlichen Schema: Die Produkte werden im Wärmeschrank (im Medium) langsam und gleichmäßig auf die werkstoffspezifische Temper-Temperatur aufgeheizt. Ist diese erreicht, müssen die Produkte über mehrere Stunden auf dieser Temperatur gehalten werden. Eine vollständige Durchwärmung der Produkte ist dabei für den Tempererfolg maßgeblich und entscheidend. Die erforderliche Haltezeit ist von der Produktmasse und -form sowie den Maßen abhängig und wird daher an diesen Parametern ausgerichtet. Nach Ablauf der Haltezeit muss darauf geachtet werden, dass das Tempergut langsam, zugfrei und kontrolliert auf Raumtemperatur abkühlt. So ist gewährleistet, dass sich ein hochkristallines Gefüge im Werkstoff bildet und nur geringe Restspannungen durch ungleichmäßige Wärmeverluste in der Abkühlphase entstehen.

Der Temperaturbereich der gängigen technischen Kunststoffe liegt im Allgemeinen zwischen 130 °C und 170 °C. Einige Werkstoffe (z. B. die Hochtemperatur-Kunststoffe) erfordern höhere Temperaturen.

Aber auch technische Kunststoffe können in besonderen Fällen bei höheren Temperaturen getempert werden. Dabei sind jedoch spezielle Verfahrensbedingungen einzuhalten, und es muss darauf geachtet werden, dass die maximale Temperatur stets 30 bis 40 °C unterhalb des Schmelzpunktes liegt. Hinsichtlich der erforderlichen Aufheiz-, Halte- und Abkühlzeiten ist eine pauschale Angabe der benötigten Zeiten nur bedingt möglich. Die Abhängigkeiten von Produktmasse und -form sowie den Maßen des Tempergutes sind sehr groß. Beispielsweise haben große Massen einen wesentlich höheren Wärme- und Zeitbedarf bis zur vollständigen und gleichmäßigen Durchwärmung als kleine Massen. Gleichzeitig benötigen sie erheblich längere Abkühlzeiten, da die eingebrachte Wärmemenge aufgrund der großen Masse nur langsam wieder abgegeben wird. Im nachfolgenden Diagramm werden diese Unterschiede am Beispiel von gießfrischen Vollstäben aus **LINNOTAM** verdeutlicht.



Es wird erkennbar, dass ein Vollstab mit Ø 100 mm bereits einen Tag nach dem Entformen soweit abgekühlt ist, dass er getempert werden kann. Dagegen benötigt ein Vollstab mit Ø 700 mm mindestens vier Tage, bis er soweit abgekühlt ist, dass mit dem Temperprozess begonnen werden kann.

Aber auch die Produktform hat einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Temperzeiten: Rohre werden zum Beispiel schneller vollständig durchwärmt als Vollstäbe, da sie aufgrund von Innen- und Außendurchmesser eine größere Oberfläche zur Wärmeaufnahme bieten. Dementsprechend kühlen diese nach dem Tempern auch schneller wieder ab als Vollstäbe.

Sollen Teile während der Fertigung zwischengetempert werden, sind neben den oben beschriebenen Parametern auch die geometrischen Verhältnisse des Konstruktionsteils sowie die vorhandenen Wandstärken und deren Verteilung am Werkstück zu berücksichtigen.

Unter Beachtung der vorangegangenen Ausführungen können folgende Daten als grobe Richtwerte verwendet werden:

Werkstoff	Temperatur in °C	Aufheizen in °C/Std.	Haltezeit in min/mm	Abkühlen in °C/Std.
Polyamid (PA):	ca. 160-165	ca. 10-15	ca. 5-6	ca. 15-20
Polyacetal (POM):	ca. 150-152	ca. 10-15	ca. 5-6	ca. 15-20
Polyethylenterephthalat (PET):	ca. 170-175	ca. 10-15	ca. 5-6	ca. 15-20
Polyetheretherketon (PEEK):	ca. 220-225	ca. 10-15	ca. 5-6	ca. 15-20

Genauere Daten für die Temperung unserer Produkte erhalten Sie auf Anfrage.

**Deutschland:** Licharz GmbH  
Industriepark Nord | D-53567 Buchholz | Germany  
Telefon: +49 (0) 2683 - 977 0 | Fax: +49 (0) 2683 - 977 111  
Internet: [www.licharz.com](http://www.licharz.com) | E-Mail: [info@licharz.com](mailto:info@licharz.com)

**Frankreich:** Licharz eurl.  
Z.I. de Leveau – Entrée G | F-38200 Vienne | France  
Téléphone: +33 (0) 4 74 31 87 08 | Fax: +33 (0) 4 74 31 87 07  
Internet: [www.licharz.fr](http://www.licharz.fr) | e-mail: [info@licharz.fr](mailto:info@licharz.fr)

**England:** Licharz Ltd  
34 Lanchester Way | Royal Oak Industrial Estate | Daventry, NN11 8PH | Great Britain  
Phone: +44 (0) 1327 877 500 | Fax: +44 (0) 1327 877 333  
Internet: [www.licharz.co.uk](http://www.licharz.co.uk) | email: [sales@licharz.co.uk](mailto:sales@licharz.co.uk)

**USA:** Timco Inc  
2 Greentown Rd | Buchanan NY 10511 | USA  
Phone: +1 914 - 736 0206 | Fax: +1 914 - 736 0395  
Internet: [www.timco-eng.com](http://www.timco-eng.com) | Email: [sales@timco-eng.com](mailto:sales@timco-eng.com)

## LICHARZ GENAU IHRE LÖSUNG

*Wir denken von Anfang an mit!*

Wir beraten Sie beim Einsatz von Kunststoffen und entwickeln Ihr Bauteil mit Ihnen gemeinsam:

- Wir prüfen Einsatzbedingungen an Ihrer Maschine vor Ort,
- wir überprüfen Ihre Konstruktionszeichnung,
- wir empfehlen den Werkstoff und das Bearbeitungsverfahren,
- wir fertigen bei Bedarf einen Prototypen für Sie.

Schnell und wirtschaftlich erhalten Sie Ihr Produkt genau so, wie Sie es brauchen!