

# Herstellung von Gewinden durch Gewindeschneiden in Gegengewichtsbohrungen von Großkurbelwellen

Norbert Miersch, Rainer Berghaus, Martin Lustig, Steffen Drechsler

## Zusammenfassung

Das Thema beschäftigt sich mit dem Herstellen von Gewinden in Gegengewichtsflächen von Großkurbelwellen. Diese Publikation ist ein Teil der angewandten Forschung. Bei großen Gewindebohrungen ist das Gewindeschneiden produktiver als Gewindefräsen. Die Geschäftsführung der Gröditzter Kurbelwelle GmbH (GKW GmbH) möchte das Verfahren in die Produktion einführen. Der Herstellungsprozess muss dazu reproduzierbar und sicher und die Lebensdauer der Gewindebohrer bekannt sein.

## Abstract

The theme deals with the production of threads in counterweights planes for large crankshafts. This publication is part of applied research. For large thread holes is thread cutting more productive than thread milling. The management of the company Gröditzter Kurbelwelle GmbH (GKW GmbH) would like to implement this method in the production. The manufacturing process has to be reproducible and ensured. Therefore the threading tool's lifetime has to be well known.

Die TH Wildau [FH] hat im Drittmittelprojekt »Gewindeschneiden« im Team mit Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch und den Studenten Rainer Berghaus und Martin Lustig die Problematik des Gewindeschneidens wissenschaftlich bearbeitet und eine praktische, anwendungsorientierte Lösung erarbeitet. Die Ergebnisse wurden der GKW GmbH präsentiert und das Projekt zu einem positiven Abschluss gebracht.

## 1 Einleitung und Motivation

In der Firma Gröditzter Kurbelwelle Wildau GmbH (GKW GmbH) werden Großkurbelwellen im Längenbereich von 6 m bis 12 m hergestellt. Die mechanische Bearbeitung ist durch den Einsatz moderner, numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, die zum größten Teil Sondermaschinen sind, geprägt. Zu nennen wären hier die GFM-Großkurbelwellenfräsmaschine zur Grundformgebung (Scheibenfräser mit Durchmessern von 1,60 m und 2,10 m), Drehfräsmaschinen für die Vor- und Fertigbearbeitung, Schmierlochbohrmaschinen (Einlippenbohren) sowie Dreh-, Fräs- und Schleifmaschinen.

Sehr produktiv sind die Drehfräsmaschinen, mit denen man in der Fertigbearbeitung die Grund- und Hublager einer Kurbelwelle durch Drehfräsen bearbeiten kann. Mit diesen Sondermaschinen kann auch eine

Vielzahl von Nebenformelementen hergestellt werden, wie beispielsweise Gewinde in Gegengewichtsflächen der Kurbelwellenwangen. Als Herstellungsverfahren wird das Gewindefräsen und das Gewindeschneiden angewandt.

Die Fertigungstechnologie wird bei Wiederholproduktion unter Berücksichtigung des aktuellen Technikstandes schrittweise angepasst (optimiert). Dabei werden progressive Werkzeuge eingesetzt. Zu nennen wären zum Beispiel Hartmetallstufenbohrer zum gleichzeitigen Bohren und Fasen der Kernbohrung eines Gewindes. Das An- und Vorbohren der Kernlochbohrung entfällt.

Die modernen, kostensparenden Technologien führen anfangs nicht immer zum gewünschten Erfolg (Einsparung der Grundzeit). So beträgt beim Gewindefräsen von Gewinden M 52x3 die Herstellungszeit der Gegengewichtsbohrungen für eine Kurbelwelle mit 24 Gewinden ca. 8 – 12 Stunden. Dabei kann die Qualität der Gewindebohrungen als gleichbleibend gut und ohne Ausschuss beurteilt werden. Für die gleichen Gewinde und gleiche Gewindeanzahl beträgt die Herstellungszeit durch den Einsatz des Gewindeschneidens nur die halbe Zeit, ca. 4 – 6 h. Bei den gefertigten Gewinden gibt es jedoch Qualitätsmängel. Der Gewindebohrer hat einen unkontrollierten Verschleiß sowie Beschädigungen (Ausbrüche der Schneide). Die dadurch ent-

standenen fehlerhaften Gewindebohrungen können im schlimmsten Fall (worst case) den Ausschuss der gesamten Kurbelwelle zur Folge haben.

Ein weiteres Problem stellt der unsichere Gewindeherstellungsprozess in der Fertigung dar (nicht reproduzierbare und unkontrollierte Einflussgrößen). Aufgrund der höheren Produktivität des Gewindeschneidens gegenüber dem Gewindefräsen wurde durch die Geschäftsführung der GWK GmbH angedacht, dieses Verfahren wieder in die Fertigung aufzunehmen. Um sichere Aussagen bezüglich der Einsatzdauer von Gewindebohrern bezogen auf die Anzahl zu fertigender Gewindebohrungen zu erhalten, waren spezielle Zerspanungsversuche mit der Aufnahme prozessrelevanter Parameter erforderlich.

## 2 Literaturrecherche

Das Gewindeschneiden ist ein bewährtes spanendes Herstellungsverfahren, das über viele Jahre in der mechanischen Bearbeitung von Einzelteilen und der Montage von Baugruppen im Maschinenbau eingesetzt wird. Bezogen auf die bestimmten Einflussgrößen wie Art des Gewindes, Fertigungsverfahren, Werkzeugbeschichtung, Kühlschmierung, Temperatur, Schnittkraft, Drehmoment, Schneidstoff, Werkstückwerkstoff und Schnittgeschwindigkeit gibt es viele Neuerungen (Optimierungsansätze), die sich im Wesentlichen auf kleinere Gewinde wie M10 bis M20 beziehen.

Um den Gewindeschneidprozess sicherer zu gestalten, werden im Verbund von Werkzeugmaschine/Werkzeugaufnahme Sensoren zur Prozesskontrolle eingesetzt (beispielsweise Temperatur-, Kraft- und Drehmomentensensoren). Moderne Werkzeugaufnahmen werden vom Werkzeughersteller heutzutage mit einem Drehmomentausgleich und/oder Längenausgleich ausgestattet.

Auch die Werkzeugmaschinenhersteller bieten eine integrierte Sensorik zur Prozesskontrolle des Zerspanungsprozesses an (z. B. Anzeige der Zerspanungsleistung, Werkzeugbruchkontrolle).

In [1] wird beschrieben, dass viele Hersteller das Zirkularfräsen dem noch weit verbreiteten Gewindebohren vorziehen. Es werden hier noch weitere Gewindeherstellungsverfahren wie das Bohrgewindefräsen und Sonderkombinationen genannt. Dabei wird darauf hingewiesen, dass nur ein qualifizierter Vergleich für den konkreten Anwendungsfall eine wirtschaftliche Lösung hervorbringt.

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Bemühungen (Auszug) bezogen auf das Gewindeschneiden zusammengestellt.

## 3 Grundlagen des Kernlochbohrens

### Kernlochdurchmesser und Toleranzen

Um die Herstellung eines Innengewindes zu ermöglichen, muss eine Grundbohrung mit einem Kernlochdurchmesser erzeugt werden. Nach [13] wird der Kernlochdurchmesser des Innengewindes mit

$$D_1 = d - 1,0825 \cdot P \quad (1)$$

$D_1$  – Kerndurchmesser des Innengewindes [mm]

$d$  – Gewindenennendurchmesser [mm]

$P$  – Steigung des Gewindes [mm]

berechnet. In [14] wird darauf hingewiesen, dass bei zähen Werkstoffen durch Gratbildung vor dem Schneiden erhöhte Werkzeugbruchgefahr besteht. Hierzu sollte der Lochdurchmesser für die Grundbohrung etwas größer sein als der Kerndurchmesser.

Nach [14] wird dazu folgende Formel angegeben:

$$d_k \approx d - 1,1 \cdot P_w \quad (2)$$

$d_k$  – Lochdurchmesser [mm]

$d$  – Gewindenennendurchmesser [mm]

$P_w$  – Steigung des Gewindes [mm]

Um die Berechnung der Kernbohrung zu verdeutlichen, wird folgendes Berechnungsbeispiel angegeben.

### Beispiel:

Für ein Gewinde M52x3 mit Toleranzklasse 6H soll in einem Vergütungsstahl aus 42CrMoNi4V [A1] eine Kernbohrung erzeugt werden.

Gewählt wird hierzu ein Wendeschneidplattenbohrer der Firma Stellram [18] mit langem Weldon [A2] Schaft nach Artikel S6300W440R für einen Kerndurchmesser  $D_1 = 49$  mm. Auswahl der Wendeschneidplatte Form P für legierte Stähle.

### Lösung:

Für die Toleranzklasse des Gewindes 6H für 52x3 können aus den Toleranztabellen [15] folgende Größt- und Kleinste Maße entnommen werden:

$$D_{1\min} = 48,752 \text{ mm}$$

$$D_{1\max} = 49,252 \text{ mm}$$

Nach Formel (1) ergibt das einen Kerndurchmesser  $D_1$  von mindestens 48,752 mm. Wobei nach Formel (2) ein Lochdurchmesser von mindestens  $d_k \approx 48,7$  mm empfohlen wird. Diese Werte stellen die unteren Toleranz-

Einflussgröße, Maßnahme	Quelle	Jahr	Beschreibung
Beschichtung	[2]	2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ intelligente Beschichtung als »Zweifachbeschichtung«</li> <li>■ F&amp;E-Projekt der »Leitz Metalworking Technology Group« und »Fette GmbH«</li> <li>■ PVD-Technik mit ca. 300 °C für HSS- und HSSE-Werkstoffe</li> <li>■ Beschichtung von HSS-Gewindebohrer mit Zweifachschicht:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schicht auf Schneidstoff: ALTiN; 3500 HV   hohe Verschleiß- und Temperaturbeständigkeit</li> <li>2. Schicht auf TiN-Basis: 200 HV auf 1. Schicht   Abbildung der Rauigkeit der 1. Schicht   passt sich Kraftfluss, Spänefluss an (glättet sich in die Rauigkeit der 1. Schicht)</li> </ol> </li> <li>■ Ergebnisse (Versuche): Gewinde M10x1,5/Werkstoff 42CrMo4, vc=25 m/min, Gewindetiefe 25 mm, 2700 Gewinde   nur 1800 Gewinde mit herkömmlicher TiN-Beschichtung</li> </ul>
	[3]	2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Firma »Kennametal Inc.«, Entwicklung neuer Schneidstoffe</li> <li>■ optimierte Schneidengeometrien mit dünnen Schichten</li> <li>■ durch PVD-Verfahren an Bohr- und Gewindebohrwerkzeugen</li> <li>■ PCD-Beschichtung (Masse mit Diamantpartikeln in einer Metallmatrix) für Bearbeitung von NE-Metallen</li> </ul>
	[4]	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Firma »Fraisa« stellt eine spezielle PVD-Arc-Technologie vor</li> <li>■ gezielte Einstellung von Schichtaufbau und -struktur (Abstimmung Schneidstoff, Werkzeuggeometrie und Beschichtung)</li> <li>■ Fraisa (TiAl)CN – Universalschicht »Unicut-4x«</li> <li>■ für HSS- und HM-Werkzeuge</li> <li>■ Gewindebohren hat durch Drehrichtungsumkehr ungünstige Schneidenbeanspruchung</li> <li>■ dazu Sonderschicht für Gewindebohrer</li> <li>■ Schicht beeinflusst Spanablaufgeschwindigkeit, Spandicke, Spankrümmung</li> <li>■ gute Schutzwirkung gegenüber Verschleiß</li> </ul>
	[5]	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ besondere Vakuum-Plasma-Anlage</li> <li>■ für Spanwerkzeuge mit TiN, (Ti,Al)N; (Zr,Al)N; (Mo,Al)N</li> <li>■ auch CVD-Verfahren: einschichtig, bei 800 – 100 °C, für HM-Werkzeuge, Titanitrid, Titancarbid, Titancarbonitrid</li> <li>■ auch PVD-Verfahren: HSS-Werkzeuge, TiN, TiCN, TiAlN, CrN</li> </ul>
	[6]	2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ISF-Dortmund (Institut für Spanende Fertigung, TU Dortmund)</li> <li>■ experimentelle Analysen</li> <li>■ Temperatur-, Kraft- und Drehmomentmessung</li> <li>■ Untersuchung der thermischen Effekte des Gewindebohrers bei Magnesiumbearbeitung</li> </ul>
Prozessanalyse	[7]	2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Online-Prozessüberwachung der Innengewindeherstellung</li> <li>■ Einbindung in WZM-Steuerung</li> <li>■ kontinuierliche Erfassung Drehmoment und axiale Kraft</li> <li>■ Anwendung von Dehnmesstreifen (DMS)</li> <li>■ Kombination optimiertes Werkzeug, angepasste Aufnahme und Prozessüberwachungssystem</li> </ul>
	[8]	2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gewindebohrer der Fa. Walter, Typ »Paradur Short Chip«</li> <li>■ Werkzeug HSS-E, Gewindetiefe 3,5xD</li> <li>■ spezielle Spanbrecherfeatures</li> <li>■ für weiche Werkstoffe, lange Späne</li> </ul>
Schneide, Schneidstoff	[9]	2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Schumacher GmbH &amp; Co. KG, Remscheid</li> <li>■ neuer Vollhartmetallgewindebohrer</li> <li>■ Werkstoffe: S235JR(St37-2), S355J2G3(St52-3N), V2A, EC80, C45, - vc = 50 – 70 m/min, Synchronspindel</li> <li>■ Tiefe 2D – 2,5 D, 80 bar Innenkühlung, 6%ige Emulsion</li> </ul>
	[10]	2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kosteneinsparung durch Umstellung der Schmierung</li> <li>■ Minimalmengenschmierung, Trockenbearbeitung</li> <li>■ Grundlochgewindebohren mit VHM und HSS-E-PM</li> <li>■ Anpassung der Schneidengeometrie (Freiwinkel erhöhen)</li> <li>■ Multilayer-Hartstoffbeschichtung für HSS-E mit TiAlN</li> <li>■ strömungstechnische Anpassung der Kühlschmierstoffkanäle</li> </ul>
Kühl- schmierung	[11]	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Patent »Unicut-Duplex-Spraying-System«</li> <li>■ neuartige Minimalmengenschmierung (MMS)</li> <li>■ Kombination zweier nicht mischbarer Fluide</li> <li>■ gesonderte Kühlkanäle, Kühlung mit Wasseranteil</li> <li>■ Funktionen Kühlung und Schmierung</li> <li>■ Anwendung bei Gewindebohren</li> <li>■ für Stähle (hochfest, austenitisch), Ni, Ti – Legierungen</li> </ul>
	[12]	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anwendung biologisch abbaubarer Kühlschmierstoffe und Minimalmengenschmierung</li> <li>■ positive Ergebnisse bei Gewindebohren von Superlegierungen (Cr, Ni – Basis), Alu-Legierungen</li> <li>■ Alternative zur konventionellen Schmierung</li> </ul>

Tab. 1: Auszüge aus der internationalen Literaturrecherche

grenzen für die Abmaße der Kernlochbohrung nach 6H dar [15].

In [15] wird der Vorbohrdurchmesser nach DIN 336 angegeben. Er ist abhängig vom Verhalten des Materials und den schneidtechnischen Betriebsverhältnissen. Es wird in [15] darauf hingewiesen, dass andere Vorbohrdurchmesser, besonders bei Serienfertigung, individuell zu ermitteln sind. Dabei ist eine wirtschaftliche Gewindefertigung bei Ausnutzung der oberen Toleranzgrenze besser gegeben.

#### Fehlerursachen, Fehlerbeseitigung

In [15] wird in einer übersichtlichen Tabelle folgende Fehlerbetrachtung zu den Kernlochbohrungen zusammenfassend dargestellt.

#### Werkzeuge zum Kernlochbohren in der GWK GmbH

Zur Herstellung der Grundbohrungen in den Gegengewichtsflächen der Kurbelwellenwangen werden Wendeschneidplattenbohrer verwendet.

Hierzu wird die Hauptspindel an der Drehfräsmaschine in den Koordinatenachsen Y,Z in Bohrposition gefahren (X-Achse ist der Verfahrenweg für die Bohrungstiefe). Die Bohrung wird ohne An- und Vorbohren hergestellt.

Die Gewindefase kann durch eine zusätzliche Stufe im Bohrer gleichzeitig mit erzeugt werden. Abb. 1 zeigt beispielhaft einen in der Fa. GWK GmbH angewandten Wendeplattenbohrer.

Zur Herstellung einer Kernlochbohrung  $D_1=49$  mm für ein Gewinde M52x3 werden in der GWK GmbH folgende technologischen Arbeitswerte vorgegeben:

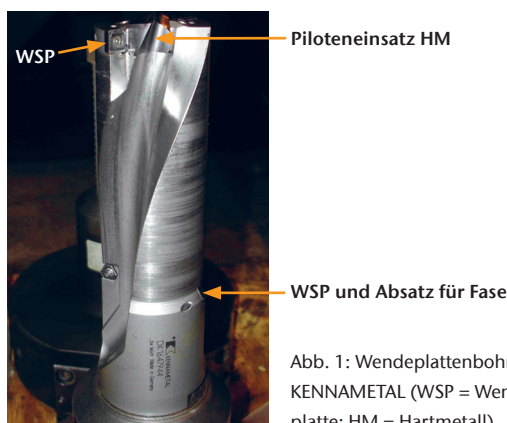
$n_w = 550$  U/min (Bohrerdrehzahl)

$v_c = 85$  m/min (Schnittgeschwindigkeit)

$F = 200$  mm/min (Vorschubgeschwindigkeit)

$z = 2$  (Anzahl der Schneiden)

$f_z = 0,18$  mm/U (Vorschub pro Zahn)



## 4 Auswahl der Werkzeugaufnahme

Für das Gewindeschneiden müssen Gewindebohrer und Werkzeugaufnahme (Schneidfutter) aufeinander abgestimmt sein [15]. Da die in der GWK GmbH eingesetzte Drehfräsmaschine zur Herstellung der Gewindebohrungen keine Synchronspindel besitzt, muss aufgrund der Fehlertoleranz des benutzten Vorschubantriebes an der WZM ein axialer Toleranzausgleich durch die Werkzeugaufnahme sichergestellt werden. Außerdem sollte das Schneidfutter ein maximal vertretbares Gewindegewindeschneidmoment begrenzen. Dafür gibt es Überlastkupplungen an bestimmten Schneidfuttern. Die Einstellung erfolgt durch die Mitarbeiter der Werkzeugvoreinstellung in der GWK. Die Überlastkupplung ermöglicht eine Begrenzung des Drehmomentes für das Gewindeschneiden. Das einzustellende Grenzdrehmoment kann der Bedienungsanleitung [19] entnommen werden. Es ist von der jeweiligen Gewindegröße abhängig.

Nach Recherchen in [16] wird das Gewindegewindeschneidfutter zum Maschinentyp abgestimmt. Der Gewindebohrer wird durch den Vierkant formschlüssig in das Futter aufgenommen. So wurde von der Fa. EMUGE zum Schneiden des Gewindes M52x3 das Gewindegewindeschneidfutter HF 20/IKZ empfohlen. Aufgrund der Möglichkeit der inneren Kühlmittelzufuhr (IKZ) besitzt das Ausgleichsfutter nur die Funktion des axialen Längenausgleichs in Druck- und Zugrichtung (Abb. 2). Weitere mögliche Ausgleichsfunktion für Gewindegewindeschneidfutter werden in [15] und [16] beschrieben. Der Längenausgleich kompensiert Differenzen zwischen Spindelvorschub und Gewindebohrersteigung (Abb. 2).

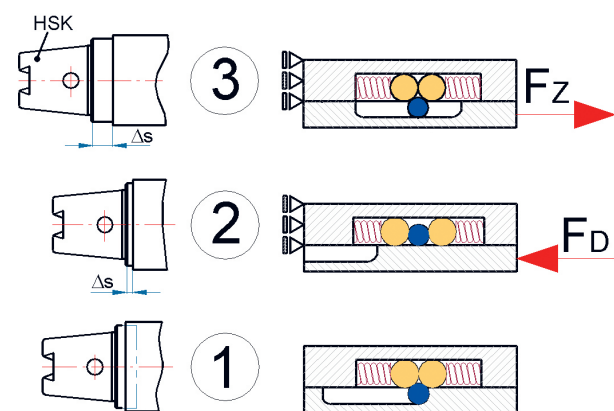


Abb 2: Funktion des Längenausgleichs beim Gewindegewindeschneidfutter HF 20/IKZ (1 Schneidvorgang ohne Längenausgleich; 2 Schneidvorgang mit Längenausgleich in Druckrichtung; 3 Schneidvorgang mit Längenausgleich in Zugrichtung;  $F_D$  = Druckkraft durch Toleranzabweichung bzw. Überlastung;  $F_z$  = Zugkraft durch Toleranzabweichung; HSK = Hohlschaftkegelaufnahme (Maschinenspindelaufnahme))

## 5 Gewindebohren

### Benennungen und Definitionen am Gewindebohrer

Wichtige Kenngrößen und Winkel werden in Abb. 3 dargestellt.

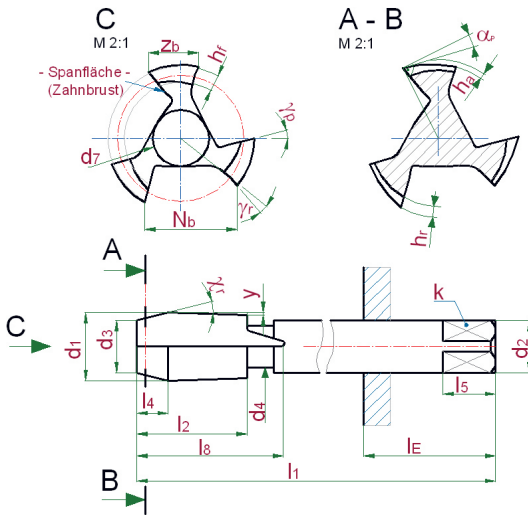


Abb. 3: Kenngrößen und Winkel am Gewindebohrer in Anlehnung an [15]  
 $d_1$  = Gewindenenn  $\varnothing$ ;  $d_2$  = Schaft  $\varnothing$ ;  $d_3$  = Anschnitt  $\varnothing$ ;  $d_4$  = Hals  $\varnothing$ ;  
 $d_7$  = Seelen  $\varnothing$ ;  $l_1$  = Gesamtlänge;  $l_2$  = Gewindelänge;  $l_4$  = Anschnittlänge;  
 $l_5$  = Vierkantlänge;  $l_8$  = Nutenlänge;  $l_E$  = Einspannlänge;  $\gamma_r$  = Einstellwinkel;  
 $\gamma_p$  = Spanwinkel (erster voller Zahn);  $\gamma_r$  = Rückenwinkel;  $\alpha_p$  = Anschnittfreiwinkel;  $y$  =  $\frac{1}{2}$  Durchmesserverzögerung;  $k$  = Vierkantmaß;  $z_b$  = Zahnbreite;  $N_b$  = Nutenbreite;  $h_s$  = Anschnittinterschliff (auf Zahnbreite);  $h_r$  = Anschnittinterschliff (pro Teilung);  $h_f$  = Flankeninterschliff (auf Zahnbreite)

### Anschnittsformen

Jede Gewindebohrerart hat eine definierte Anschnittsform. Die Anschnittsformen und Anschnittslängen sind nach DIN 2197 festgelegt (siehe auch [15]).

### Verfahrensanalyse

Der Drehmomentverlauf beim Gewindeschneidvorgang kann in Zeitabschnitte eingeteilt werden. Die den Zeitabschnitten zugeordneten Drehmomente werden in Abb. 4 dargestellt.

### Schnittgeschwindigkeit und Kühlschmierung

Bei den Schnittgeschwindigkeiten wird nach [15] für beschichtete Gewindebohrer (HSS-E mit TiN) bezogen auf Vergütungsstähle (z. B. 42CrMo4V) ein Geschwindigkeitsbereich von  $v_c(2...20)$  m/min bei  $R_e = 900 - 1100$  N/mm<sup>2</sup> empfohlen. Als Kühlschmierstoff wird ein speziell von EMUGE entwickeltes Gewindeschneidöl für vertikales Gewindebohren und Schneidpaste für horizontales Gewindebohren vorgeschlagen. Schneidöl und Schneidpaste werden in Abhängigkeit vom Werkstückwerkstoff aus einer Tabelle in [16] ausgewählt. Bei

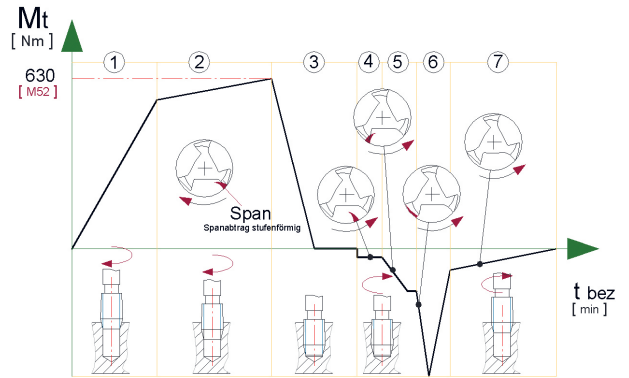


Abb. 4: Drehmomentverlauf beim Gewindeschneiden in einer Grundbohrung ( $M_t$  = Drehmoment in [Nm];  $t_{bez}$  = Zeit bezogen auf das Schneiden eines Gewindes in [min])

Zeitstufe (Beschreibung): 1 (Anschnitten); 2 (Gewindeschneiden voller Eingriff); 3 (Abbremsen bis Stillstand); 4 (Rücklauf – bis Kontakt Span an Spanstegücken); 5 (Rücklauf – Abscheren des Spans); 6 (Rücklauf – Zurückformen der Scherstelle des Spans); 7 (Rücklauf – Gleitreibung)

ausreichendem Druck, um die Kühlung und Späneentsorgung zu gewährleisten (ca. 50 – 80 bar), können auch Werkzeuge mit innerer Kühlmittelzufuhr (IKZ) unter Verwendung von Bohremulsion eingesetzt werden. Andere Literaturquellen wie [13], [14], [17] geben weitere (abweichende) Schnittgeschwindigkeitsbereiche an. Dazu werden noch Kühlschmiermittel Rüböl oder Schneidöl geschwefelt vorgeschlagen. Der Anwender muss also die zweckmäßigen Schnittgeschwindigkeiten selbst festlegen oder durch Versuche ermitteln. Die Auswahl der zweckmäßigen Schnittgeschwindigkeit hängt im Wesentlichen von den Einflußgrößen

- Werkstückwerkstoff,
- Kühlschmierung,
- Gewindetiefe,
- Gewindedurchmesser,
- Werkstückspannung und
- Werkzeugmaschine ab.

Zur Festlegung wird nach Abb. 5 folgende Hilfestellung gegeben:

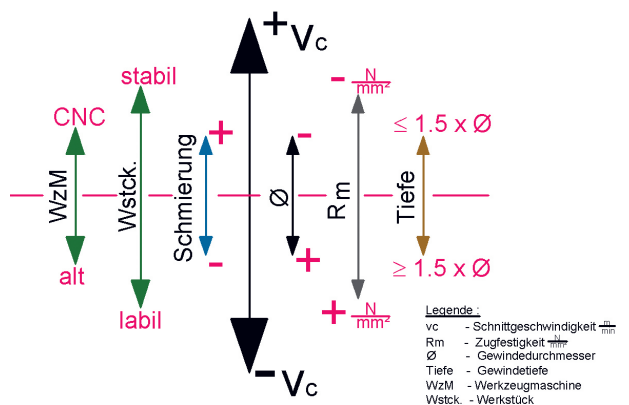


Abb. 5: Hilfe zur Auswahl der Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  [m/min]

## Gewindebohrer

Entsprechend dem zu bearbeitenden Werkstoff und der Gewindegröße, der Art der Grundbohrung (Grundbohrung, Durchgangsbohrung) und der Tiefe der Gewindebohrung können aus [15] und [16] der Typ des Gewindebohrers, die Bauform und die entsprechenden Merkmale ausgewählt werden. Es werden in der GWK GmbH im Wesentlichen zwei Typen von Gewindebohrern der Fa. EMUGE [16] für das Herstellen von Gegenbohrungen verwendet (siehe Tabelle 2).


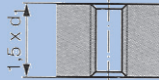
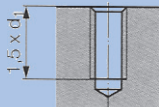
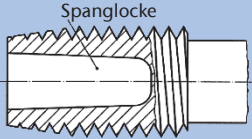
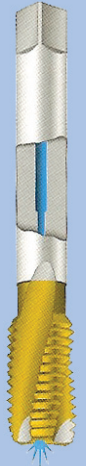

## Fehleranalyse beim Gewindeschneiden

Beim Gewindeschneiden wirken mehrere Einfluss-

größen einzeln oder zusammenhängend. Zusammenfassend können die Einflussgrößen den Kategorien

- Werkzeug,
- Werkzeugmaschine,
- Werkstück,
- Hilfsstoff

zugeordnet werden. Die Erfahrung eines qualifizierten Maschinenbedieners wird hier vorausgesetzt. Systematisiert man grundlegende Gewindefehler, die aus diesen Einflussgrößen resultieren, so können Herstellungsfehler bezogen auf das Gewindeschneiden, mögliche Fehlerursachen und Vorschläge zu deren Beseitigung in Tabelle 3 zusammengefasst (siehe [15]) werden.

Typ	Anwendung	Besonderheiten
<b>Robust 2X</b> nach [15] 	<b>Werkstückwerkstoff</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vergütungsstähle 850 ... 1100 N/mm<sup>2</sup></li> </ul> <b>Ausführung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ HSSE</li> <li>■ Eingängig</li> <li>■ ISO 2/6H</li> <li>■ DIN Form C/2-3</li> </ul> <b>Beschichtung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Typ .VA rostfrei für langspanende Werkstoffe</li> <li>■ Typ .TiN beschichtet mit Titanitrid für               <ul style="list-style-type: none"> <li>* ↓ R<sub>a</sub>, R<sub>z</sub>, R<sub>t</sub></li> <li>* ↑ v<sub>c</sub> [m/min]</li> <li>* ↑ T [min]</li> </ul> </li> </ul> <b>Gewindearten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Metrisches ISO-Feingewinde DIN 13</li> <li>■ Toleranz 6H</li> <li>■ von M 20 x 1,5 bis M 120 x 6 nach [15]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Durchgangsbohrung                </li> <li>■ Grundbohrung                </li> <li>■ begrenzte Spanaufnahme Gewindetiefe 1,5 x d<sub>1</sub>  </li> <li>■ Spannuten nur bis zum Führungsteil</li> </ul> <b>Kühlschmierung:</b> P/O <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Schneidöl – vertikal schneiden</li> <li>■ Paste – horizontal schneiden</li> <li>■ keine IKZ</li> </ul>
<b>Record 2DF-IKZ TIN</b> nach [15] 	<b>Werkstückwerkstoff</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vergütungsstähle 850 ... 1100 N/mm<sup>2</sup></li> </ul> <b>Ausführung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ HSSE</li> <li>■ Eingängig</li> <li>■ ISO 2/6H</li> <li>■ DIN Form C/2-3</li> <li>■ IKZ</li> </ul> <b>Beschichtung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Typ .TiN beschichtet mit Titanitrid für               <ul style="list-style-type: none"> <li>* ↓ R<sub>a</sub>, R<sub>z</sub>, R<sub>t</sub></li> <li>* ↑ v<sub>c</sub> [m/min]</li> <li>* ↑ T [min]</li> </ul> </li> </ul> <b>Gewindearten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Metrisches ISO-Feingewinde DIN 13</li> <li>■ Toleranz 6H</li> <li>■ von M 3 x 0,5 bis M 52 x 5 nach [1]</li> </ul>	<b>Lochform</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ geeignet für Grundlochgewinde mit ausreichendem Auslauf                </li> </ul> <b>Schneidengeometrie</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ zusätzliche Anteilung »F« (Freischliff) im Anschnittbereich, der entgegen dem Drallwinkel gerichtet ist</li> <li>■ dadurch Erzeugung kurzer Wendelspäne, keine Spanverwicklungen</li> </ul> <b>Kühlschmierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Emulsion, Schneidöl</li> <li>■ mit IKZ</li> </ul>

Tab. 2: Gewindebohrertypen nach [15], [16] für den Einsatz in der GWK GmbH (d<sub>1</sub> = Gewindenennendurchmesser [mm]; R<sub>m</sub> = Zugfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>]; v<sub>c</sub> = Schnittgeschwindigkeit [m/min]; T = Standzeit [min]; IKZ = Innere Kühlmittelzufuhr; C/2-3 = Anschnittform C mit 2 – 3 Gängen im Anschnitt)

Fehler (Gewinde)	Ursache	Beseitigung
zu groß	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>falsche Auswahl</li> <li>Geometrie der Schneide ungeeignet</li> <li>hohe Verschleißmarkenbreite</li> <li>schlechte Spanabfuhr</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart</li> <li>arbeitsscharfes Werkzeug wählen</li> <li>geeignetes Ausgleichsfutter wählen</li> </ul>
	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>zu hohe Vorschubtoleranz der WZM-Spindel bei Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich</li> <li>Schnittgeschwindigkeit zu hoch</li> </ul>	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>Schnittgeschwindigkeit verringern</li> <li>andere Werkzeugmaschine wählen</li> </ul>
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>zu kleine Kernlochbohrung</li> <li>falsche Werkstückspeisung</li> </ul>	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>Kernlochdurchmesser nach DIN 13 und DIN ISO 965-1 fertigen</li> <li>Werkstückspeisung ändern</li> </ul>
Ausreißen	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>falsche Auswahl</li> <li>hohe Verschleißmarkenbreite</li> <li>verschlissener Gewindebohrer</li> <li>veränderliche Werkstoffeigenschaften</li> <li>schlechte Spanabfuhr, drücken beim Herausdrehen</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart</li> <li>arbeitsscharfes Werkzeug wählen</li> <li>geeignetes Ausgleichsfutter wählen</li> <li>Auswahl nach Werkstofffestigkeit korrigieren</li> </ul>
	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>zu hohe Vorschubtoleranz der WZM-Spindel bei Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich</li> <li>Schnittgeschwindigkeit zu hoch</li> </ul>	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>Schnittgeschwindigkeit verringern</li> <li>andere Werkzeugmaschine wählen</li> </ul>
	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> <li>Versagen der Kühlschmierung</li> </ul>	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewindebohrer mit Möglichkeit einer ausreichenden Kühlschmierstoffzufuhr wählen</li> <li>Kühlschmierstoffart ändern</li> </ul>
axial verschnitten	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>schlechte Spanabfuhr, drücken beim Herausdrehen</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Auswahl korrigieren nach Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart</li> <li>geeignetes Ausgleichsfutter wählen</li> <li>Überlastkupplung der Aufnahme korrekt einstellen</li> </ul>
	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Genauigkeit der Vorschubachse</li> </ul>	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>andere Werkzeugmaschine wählen</li> </ul>
zu eng	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>falsche Auswahl</li> <li>Toleranzangabe auf dem Gewindebohrer ist nicht identisch mit der Toleranzangabe in der Zeichnung oder der Gewindelehre</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewindebohrer mit entsprechender Toleranz verwenden</li> </ul>
konisch	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewindebohrer schneidet nicht steigungsgenau (Gewinde-Gut-Lehrdorn lässt sich nicht vollständig einschrauben)</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>übermäßige Axialkräfte während des Schneidvorganges vermeiden</li> <li>Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich verwenden</li> </ul>
		Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>übermäßige Axialkräfte während des Schneidvorganges vermeiden</li> <li>Werkzeugmaschine mit Synchronspindel</li> </ul>
Vorweite	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>falscher Anschnittsdruck</li> <li>Winkel oder Positionsfehler der Gewinde-Kernlochbohrung</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich einsetzen</li> </ul>
		Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>übermäßige Axialkräfte während des Schneidvorganges vermeiden</li> <li>Werkzeugmaschine mit Synchronspindel verwenden und mit Zwangsvorschub arbeiten</li> </ul>
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>Wechsel der technologischen Basis</li> <li>Toleranzabweichung durch falsche Lagebestimmung</li> </ul>	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>Kernlochdurchmesser nach DIN 13 und DIN ISO 965-1 fertigen</li> <li>Werkstückspeisung ändern</li> </ul>
schlechte Oberfläche	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>falsche Auswahl</li> <li>hohe Verschleißmarkenbreite</li> <li>verschlissener Gewindebohrer</li> <li>schlechte Spanabfuhr</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart</li> <li>arbeitsscharfes Werkzeug wählen</li> <li>scharfen Kernbohrer verwenden</li> </ul>
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>schlechte Oberfläche der Kernbohrung</li> </ul>	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> <li>Schnittgeschwindigkeit verringern</li> </ul>
	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> <li>Versagen der Kühlschmierung</li> </ul>	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewindebohrer mit Möglichkeit einer ausreichenden Kühlschmierstoffzufuhr wählen</li> <li>Kühlschmierstoffart ändern: Schneidfett bei waagerechter Bohrung, Schneidöl bei senkrechter Bohrung</li> <li>für ausreichend Druck und Fördermenge bei Bohremulsion sorgen</li> <li>ausreichender Fettgehalt bei Emulsion</li> </ul>
Bruch	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>falsche Auswahl</li> <li>hohe Verschleißmarkenbreite</li> <li>verschlissener Gewindebohrer</li> <li>schlechte Spanabfuhr</li> </ul>	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart</li> <li>arbeitsscharfes Werkzeug wählen</li> <li>geeignetes Ausgleichsfutter wählen</li> </ul>
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>Spanverklümmungen, Spänestau</li> <li>Gewindekernlochbohrung zu klein</li> <li>Auflaufen des Gewindekernlochbohrers auf Kernlochgrund</li> <li>Winkel bzw. Positionsfehler der Bohrung</li> </ul>	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> <li>Kernlochdurchmesser nach DIN 13 und DIN ISO 965-1 fertigen</li> <li>Werkstückspeisung ändern</li> </ul>

Tab 3: Mögliche Fehler beim Gewindeschneiden mit Maschinengewindebohrer ( $v_c$  = Schnittgeschwindigkeit [m/min]; WZM = Werkzeugmaschine)

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Gewindeschneiden in Metall ist ein bewährtes und altes Herstellungsverfahren. In [20] (1940) wird das Verfahren bereits ausreichend erläutert. Aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen (multiple Einflüsse) auf Werkstück und Werkzeug ist das Gewindeschneiden großer Bohrungen (z. B. M52x3 in 42CrMo4V) bei seiner Anwendung in der Großkurbelwellenfertigung noch zu unsicher. Der Ausschuss eines Gewindes kann im schlimmsten Fall zum Ausschuss der gesamten Kurbelwelle führen.

Aufgrund der hohen Anforderungen der Motorenhersteller werden an eine Kurbelwelle immer höhere Qualitätsanforderungen gestellt. Besonders die Gewinde zur Montage der Gegengewichte müssen den immer größer werden Massekräften standhalten und dürfen keine Fehler aufweisen.

Durch die wissenschaftliche Aufarbeitung der Problematik, vor allem auch unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse wurde in diesem 1. Teil auf den Stand der Technik eingegangen. Somit kann diese Veröffentlichung als praxisorientierte Ergänzung des Unterrichtsstoffes zum Gewindeschneiden angesehen werden. Bei der Betrachtung wurden bereits folgende Eingrenzungen berücksichtigt:

- Großkurbelwellen aus Vergütungsstahl 42CrMo4V, 42CrMoNi4V, 34CrNiMo6;
- Herstellung der Bohrungen zur Montage der Gegengewichte an der Kurbelwelle;
- spezielle Werkzeugmaschinen, Werkzeuge und Bedingungen aus der GWK GmbH.

Die internationale Forschung versucht das Verfahren vor allem in folgenden Schwerpunkten zu optimieren:

- Schneidstoffe;
- Schneidgeometrie;
- Beschichtung der Schneide;
- Erfassung und Auswertung von Prozessparametern;
- Kühlschmierung und Späneableitung.

Ein Forschungsteam der TH Wildau (Teamleiter Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch) bearbeitete dieses Thema. Es wurden neben der Recherche zum Stand der Technik umfangreiche Zerspanungsversuche durchgeführt.

## Kurzzeichenverzeichnis

Zeichen	Beschreibung	Einheit
$\gamma_p$	Spanwinkel (erster voller Zahn)/Gewindebohrer	°
$\alpha_p$	Anschnittfreiwinkel/Gewindebohrer	°
$\chi_r$	Einstellwinkel/Gewindebohrer	°
$\gamma_r$	Rückenwinkel/Gewindebohrer	°
C	Anschnittsform C/Gewindebohrer	
CNC	Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine (computational numerical control)	
d	Gewindenenddurchmesser	mm
$D_1$	Durchmesser der Kernlochbohrung nach DIN 336	mm
$d_1$	Gewindenenddurchmesser	mm
$D_{1\max}$	Größtes Abmaß der Kernlochbohrung	mm
$D_{1\min}$	Kleinstes Abmaß der Kernlochbohrung	mm
$d_2$	Schaftdurchmesser/Gewindebohrer	mm
$d_3$	Anschnittdurchmesser/Gewindebohrer	mm
$d_4$	Halsdurchmesser/Gewindebohrer	mm
$d_7$	Seelendurchmesser/Gewindebohrer	mm
$d_k$	Lochdurchmesser	mm
$F_D$	Druckkraft	N
$f_z$	Vorschub pro Zahn	mm/U
$F_Z$	Zugkraft	N
GKW	Gröditzer Kurbelwelle Wildau	
Go	Höchstmaß	
Gu	Mindestmaß	
$h_a$	Anschnittinterschliff (auf Zahnbreite)/Gewindebohrer	mm
$h_f$	Flankeninterschliff (auf Zahnbreite)/Gewindebohrer	mm
HM	Hartmetall	
$h_r$	Anschnittinterschliff (pro Teilung)/Gewindebohrer	mm
HSK	Hohlschaftkegelaufnahme	
HSS	Legierter Werkzeugstahl	
HSSE	Legierter Werkzeugstahl mit erhöhtem Kobalt-Anteil	
IKZ	Innere Kühlschmierstoffzufuhr, axial	
IKZN	Innere Kühlschmierstoffzufuhr, axial mit Austritt in den Nuten	
KHM	Vollhartmetall-Kopf	
KSEM	KENNAMETAL Bohrer	
$l_1$	Gesamtlänge/Gewindebohrer	mm
$l_2$	Gewindelänge	mm
$l_4$	Anschnittlänge/Gewindebohrer	mm
$l_5$	Vierkantlänge/Gewindebohrer	mm
$l_8$	Nutenlänge/Gewindebohrer	mm



Zeichen	Beschreibung	Einheit
$l_e$	Einspannlänge/Gewindebohrer	mm
$M_t$	Drehmoment	Nm
$N_b$	Nutenbreite/Gewindebohrer	mm
$n_w$	Drehzahl des Werkzeuges	min <sup>-1</sup>
$P$	Gewindesteigung	mm
$R_e$	Streckgrenze	N/mm <sup>2</sup>
$R_m$	Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$T$	Toleranz	$\mu\text{m}$
$T$	Standzeit	min
$t_{\text{bez}}$	Zeit bezogen auf das Schneiden eines Gewindes	min
TIN	Titan Nitrid	
$v_c$	Schnittgeschwindigkeit	m/min
VHM	Vollhartmetall	
WZM	Werkzeugmaschine	
$y$	$\frac{1}{2}$ Durchmessererjüngung/Gewindebohrer	mm
$z$	Zähnezahl der Bohrer	
$z_b$	Zahnbreite/Gewindebohrer	mm

## Anmerkungen

- [A1] Der Werkstoff 42CrMoNi4V ist eine Modifikation des Werkstoffes 42CrMo4V. Der zusätzliche Nickelanteil (0,8% Ni gegenüber 0,4% Ni) sorgt für eine bessere »Durchvergütung«. So kann auf eine zusätzliche Vergütung nach der Vorbearbeitung verzichtet werden.
- [A2] Ein Weldon-Schaft ist neben der Morsekegelaufnahme (MK), Steilkkegelaufnahme (SK) bzw. Hohlenschaftkegelaufnahme (HSK) eine Aufnahme des Werkzeuges in der Werkzeugmaschinen-spindel. Bei Drehfräsmaschinen wird für die Hauptspindel, die eine HSK 160-Werkzeugaufnahme besitzt, ein zusätzlicher Adapter von HSK zu Weldon benötigt. Ideal wäre ein Bohrwerkzeug mit einer HSK 160-Aufnahme für die GWK-Drehfräsmaschinen.

## Literatur

- [1] Anonym (2003): VDI-Z Integrierte Produktion Special, 2, 45-46.
- [2] Diethard, T. (2006): MM – Maschinenmarkt, 23, 110-113.
- [3] Warurzyniak, P. (2003): Manufacturing Engineering, 3, 51-59.
- [4] Rechberger, J. (2002): WB – Werkstatt und Betrieb, 12, 39-42.
- [5] Balkov, V. P.; Baskov, V. M. (1999): Vestnik Masinostroenja, 1, 35-37.
- [6] Hammer, N.; Weinert, K. (2005): WB – Werkstatt und Betrieb, 12, 27-30.
- [7] Linss, M.; Lange, D.; Watzke, R. (2005): WB – Werkstatt und Betrieb, 2005, 6, 38-42.
- [8] Anonym (2008): MegaLink Precision Heft Extra Innovation, 80-83.
- [9] Schniering, B.; Nötzel, V. (2004): MM – Maschinenmarkt, 5, 28-30.
- [10] Heiler, R. (2005): WB – Werkstatt und Betrieb, 10, 54-56.
- [11] Anonym (2002): MM – Maschinenmarkt, 36, 58-61.
- [12] Grundlach, F. (2001): Report, 1-76.
- [13] Fischer, U. (2002): Tabellenbuch Metall, Verlag Europa Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co, 42. Auflage.
- [14] Düniß, W.; Neumann, M.; Schwartz, H. (1968): Trennen, Spanen und Abtragen, VEB Verlag Technik Berlin 1968.
- [15] EMUGE-Werk Richard Glimpel GmbH & Co KG (2004): Handbuch der Gewindetechnik und Frästechnik, Anwendungen, Tipps, Tabellen, EMUGE-FRANKEN, Lauf/Rückersdorf.
- [16] EMUGE-Werk Richard Glimpel GmbH & Co KG (2005): Gewindefrästechnik, Spanntechnik, Werkzeugkatalog, April 2005.
- [17] Degner, W.; Lutze, H.; Smejkal, E. (2002): Spanende Formung, Theorie, Berechnung, Richtwerte, 15. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien.
- [18] STELLRAM GmbH (2006): Werkzeug Katalog, Stellram Präzisionswerkzeuge für alle Werkzeuganwendungen, 01/2006.
- [19] EMUGE-Werk Richard Glimpel GmbH & Co KG (2005): Bedienungsanleitung für die Schnellwechselaufnahmen der Typen HF 20, HF 30 vom 01.09.2005.
- [20] Preger, E.; Reindl, R. (1940): Klingenberg, Technisches Hilfsbuch, Verlag von Julius Springer.

## Autoren

### Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch

TH Wildau [FH]  
 Maschinenbau/Werkzeugkonstruktion  
 Tel. +49 3375 508-193  
 norbert.miersch@tfh-wildau.de

### Rainer Berghaus

Student M07  
 Fichtestraße 97, 15745 Wildau  
 Tel. +49 3375 219385  
 rainer.berghaus@tfh-wildau.de

### Martin Lustig

Student M07  
 Buchenweg 7, 14943 Luckenwalde  
 Tel. +49 3371 636656  
 martin.lustig@tfh-wildau.de

### Dipl.-Ing. Steffen Drechsler

GKW GmbH  
 Leiter Kompetenzzentrum  
 Schmiedestraße, 15745 Wildau  
 Tel. +49 3375 586-334  
 drechsler.s@kurbelwellewildau.de