

# Entwicklung von Lösungen für die spanende Bearbeitung einer entzinkungsbeständigen, bleifreien Kupfer-Zink-Legierung

Wobker, H.-G. (1); Friedrich, T. (2); Denenka, B. (3); Köhler, J. (3); Grove, T. (3)

**Eine wichtige Werkstoffgruppe innerhalb der vielseitigen Kupfer-Zink-Legierungen sind die Zerspanungsmessinge, die für die Erreichung einer hervorragenden Zerspanbarkeit das Legierungselement Blei enthalten. Jedoch ist heute aufgrund von veränderten gesetzlichen Rahmenbedingungen bei bestimmten Anwendungen die Verwendung von Blei als Legierungselement nicht mehr zulässig.**

Für die spanende Bearbeitung von bleifreien, entzinkungsbeständigen Kupfer-Zink-Legierungen wurde die Legierung Bluewave® U38A von der KME Group S.p.A entwickelt, um weiterhin die geforderten Zerspanungseigenschaften zu gewährleisten. Außerdem wurde ein Leitfaden für die Zerspanung dieser bleifreien Messinglegierung für die Fertigungsverfahren Drehen, Bohren und Gewindebohren entwickelt. Insbesondere die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung bei angepasster Werkzeuggeometrie bietet Vorteile hinsichtlich Spanbildung, Oberflächentopografie und Prozesskräften.

## Motivation

Im Vergleich zu vielen anderen metallischen Konstruktionswerkstoffen sind die meisten Werkstoffe auf Kupferbasis leicht zerpanbar. Für die Fertigung von Formdrehteilen aller Art hat sich CuZn39Pb3, das Automatenmessing, bestens bewährt. Für die Erzielung hoher Zerspanungsproduktivität wird das Legierungselement Blei hinzulegiert. Das im Messing unlösliche Blei liegt in Form feiner, kugelförmiger Ausscheidungen im Gefüge vor, die ein leichtes Auseinanderbrechen der abgehobenen Späne bewirken [KELL55].

Um den Bleigehalt im Trinkwasser zu reduzieren, wurden in den letzten Jahren die gesetzlichen Vorgaben angepasst, um die schleichende Belastung durch regel-

mäßige Aufnahme kleiner Bleimengen zu begrenzen. Die Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch der europäischen Union definiert Gemeinschaftsstandards für grundlegende und vorbeugende gesundheitsbezogene Qualitätsparameter für Wasser [RICHT98]. Darüber hinaus wird durch das Gesetz S 3874 "Reduction of Lead in Drinking Water Act" der Bleigehalt von Kupfer-Zink-Legierungen im Kontakt mit Trinkwasser auf max. 0,2 Gew.-% begrenzt [Law10]. Aufgrund dieser gesetzlichen Vorgaben wurde die entzinkungsbeständige, bleifreie Kupfer-Zink-Legierung Bluewave® U38A (CW511L, CuZn38As) entwickelt, die die gesetzlichen Vorgaben erfüllt und gleichzeitig eine hohe Zerspanungsproduktivität gewährleistet.

Die technisch verwendeten Kupfer-Zink-Legierungen bilden in Abhängigkeit des Zinkgehalts eine  $\alpha$ - und der  $\beta$ -Phase aus. Hierbei unterstützt die  $\beta$ -Phase zusätzlich die positiven Zerspanungseigenschaften. Aufgrund definierter Wasserqualitäten müssen bei der Verwendung von Messingwerkstoffen bei der Trinkwasserinstallation entzinkungsbeständige Kupfer-Zink-Legierungen benutzt werden. Da bei ( $\alpha+\beta$ )-Legierungen der unedlere  $\beta$ -Bestandteil bevorzugt angegriffen wird, werden entzinkungsbeständige Messingwerkstoffe mit einem niedrigen  $\beta$ -Bestandteil von ca. 5 % hergestellt [HILB08].

Im Rahmen der Studie „Untersuchung der Zerspanbarkeit einer bleifreien,

entzinkungsbeständigen Kupfer-Zink-Legierung“, die in Kooperation zwischen der Group S.p.A und des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover durchgeführt wurde, konnte ermittelt werden, dass das Entfernen des Legierungselements Blei als Spanbrecher durch eine geeignete Wahl von Werkzeugen und Prozessparametern kompensiert werden kann.

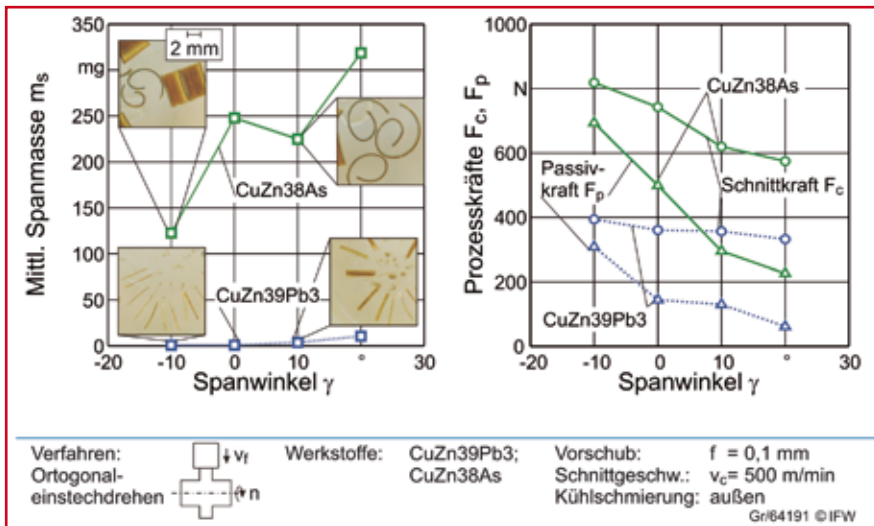
## Zerspanbarkeit niedrigbleihaltiger Messinglegierungen

Der Begriff Zerspanbarkeit ist in der DIN 6583 definiert als „[...] die Eigenschaft eines Werkstückes oder Werkstoffes, sich unter gegebenen Bedingungen spanend bearbeiten zu lassen“. Diese Definition zeigt, dass der Begriff viele Kriterien beinhalten kann und abhängig von vielen Einflussgrößen ist, wie z. B. Schneidstoff, Schneidkeilgeometrie, Zerspanungsverfahren oder der verwendeten Werkzeugmaschine. Die Bewertung der Zerspanbarkeit ist nach einem einheitlichen Zerspanbarkeitskriterium wegen der komplexen Zusammenhänge nur eingeschränkt möglich. Aus diesem Grund wird in diesen Untersuchungen die Zerspanbarkeit anhand der vier üblichen Kriterien bewertet:

- Prozesskräfte,
- Spanbildung,
- Bauteilqualität und
- Werkzeugverschleiß.

So lassen die Prozesskräfte Rückschlüsse auf die mechanische Belastung der eingesetzten Werkzeuge zu. Sie werden maßgeblich durch das Material, die Werkzeuggeometrie, die Spanungsgrößen sowie den vorliegenden Spanbildungsmechanismus beeinflusst. Eine diskontinuierliche Spanbildung (Scher- und Reißspanbildung) bedingt beispielsweise höhere dynamische Werkzeugbelastungen als eine kontinuierliche Spanbildung. Der Werkzeugverschleiß wird grundlegend durch die mechanische und thermische Belastung einerseits und durch die chemische Reaktivität sowie die Härte des Werkstoffs andererseits beeinflusst. Die aus dem Prozess resultierende Bauteilqualität kann durch die genannten Faktoren Prozesskräfte, Spanbildung und Verschleiß beeinflusst werden.

Messinglegierungen lassen sich im Allgemeinen aufgrund ihrer im Vergleich



**Bild 1:** Kräfte und mittlere Spannmass bei der Zerspangung von zwei unterschiedlichen Messinglegierungen

zu Stahl geringeren Festigkeit, ihrer höheren Wärmeleitfähigkeit, geringeren Reaktivität und niedrigeren Abrasivität gut zerspangen. Bei Prozessen mit kontinuierlichem Schnitt (z. B. Drehen oder Bohren) kann jedoch die Bildung von langen Spänen zu einer verminderter Prozesssicherheit führen. Bandspäne bspw. können sich in Drehprozessen um das Bauteil wickeln und die Oberflächenqualität negativ beeinflussen sowie zu Schäden am Werkzeug führen. Bei Bohrprozessen stellt insbesondere der Materialtransport aus der Bohrung durch die Spannuten eine Herausforderung dar. Spanklemmer, Bohrungsaufrieb durch Späne und Werkzeugabdrängung aufgrund erhöhter Prozesskräfte können ebenfalls verminderte Bauteilqualität bedingen. Messing wird zur Verbesserung des Spanbruchs hauptsächlich mit Blei legiert, das als Ausscheidung im Werkstoffgefüge vorliegt. Die Materialscherung im Prozess findet dann überwiegend im weichen Blei statt, wodurch sich die Prozesskräfte verringern und der Spanbruch verbessert wird. Die Spanraumzahl kann somit deutlich gesenkt und die Prozesssicherheit gesteigert werden.

Grundlagenuntersuchungen beim Orthogonaleinstechdrehen der bleihaltigen Messinglegierung CuZn39Pb3 und der bleifreien Legierung Bluewave® U38A (CuZn38As) zeigen eine deutliche Veränderung der Spanbildung. Während sich bei CuZn39Pb3 nur Spiralspansegmente ausbilden, ist die Spanbildung vom bleifreien Messing durch bandförmige Spansegmente charakterisiert. Die

mittlere Masse der erzeugten Späne bei der bleifreien Kupfer-Zink-Legierung ist dabei teilweise um den Faktor 100 höher. Gleichzeitig führen der veränderte Spanbruch und die verringerte mechanische Festigkeit des Werkstoffs zu einer Halbierung der Prozesskräfte in Passiv- und Schnittrichtung (Bild 1 rechts).

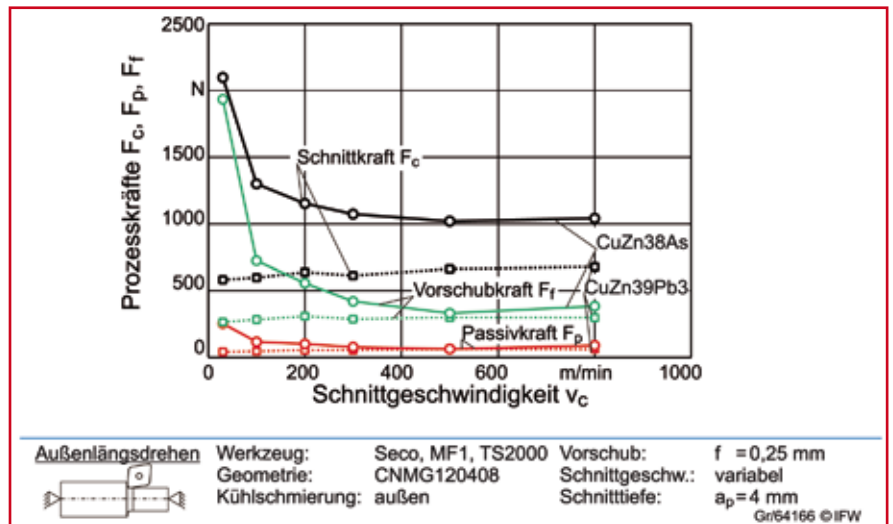
Um der kontinuierlichen Spanbildung entgegenzuwirken und den Spanbruch zu fördern, können unterschiedliche Strategien zum Einsatz kommen. Hinsichtlich der Werkzeugmakrogeometrie empfehlen Werkzeughersteller für die Bearbeitung von Messinglegierungen beispielsweise positive Spanwinkel für die Minimierung der Prozesskräfte. Für die Bearbeitung langspannender Messings kann, wie in Bild 1 dargestellt, jedoch der Einsatz negativer Spanwinkel zu verbessertem Spanbruch führen.

So beträgt die durchschnittliche Masse der beim Orthogonaleinstechdrehen von CuZn38As erzeugten Späne  $m_s = 325$  mg bei einem Spanwinkel von  $\gamma = 20^\circ$ . Sie lässt sich mit negativem Spanwinkel deutlich auf  $m_s = 125$  mg reduzieren. Gleichzeitig steigt jedoch die Schnittkraft von  $F_c = 580$  N auf  $F_c = 820$  N an. Für die Anwendung muss also ein geeigneter Kompromiss aus erhöhtem Spanbruch bei höheren Prozesskräften gefunden werden.

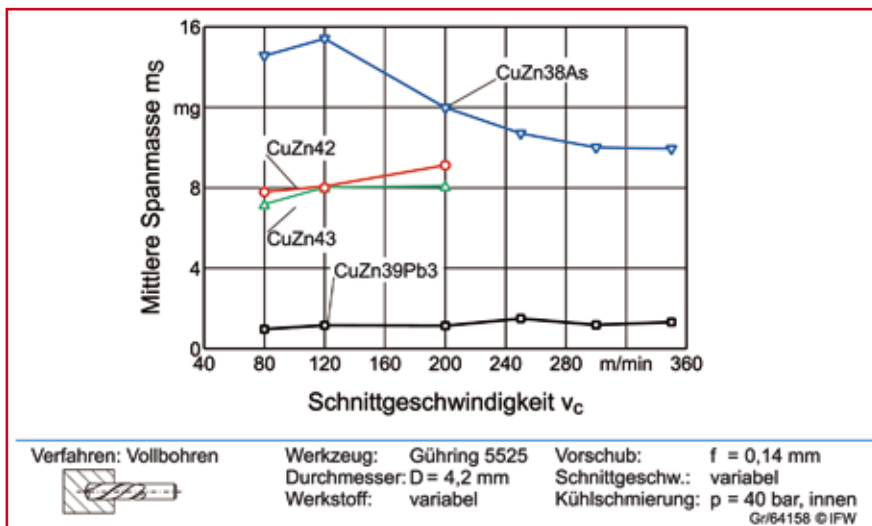
Der Werkzeugverschleiß bei Messingwerkstoffen ist aufgrund der Leistungsfähigkeit moderner Hartmetallwerkzeuge in der Regel das am wenigsten wichtige Kriterium der Zerspangbarkeit. Ausnahmen sind die unter schwierigen Bearbeitungsbedingungen wie beispielsweise der Fertigung kleiner, tiefer Bohrungen oder bei Zerspangung abrasiver Werkstoffe wie siliziumhaltigen Kupfer-Zink-Legierungen zu finden.

**Lösungsansätze für die spanende Bearbeitung von bleifreien, entzinkungsbeständigen Kupfer-Zink-Legierungen**

In einem bilateralen Forschungsprojekt zwischen der KME Group S.p.A. und dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover wurden Lösungen für die Herausforderungen bei der Zerspangung bleifreier, entzinkungsbeständiger Messingwerkstoffe entwickelt. Als Referenzanwendungen wurden das Außenlängsdrehen unter Schruppbedingungen, das Einbringen von Bohrungen mit hohem Längen-



**Bild 2:** Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Prozesskräfte beim Außenlängsdrehen



**Bild 3: Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die mittlere Spanmasse beim Bohren**

Durchmesser Verhältnis und das Gewindefestgelegt. Bei all diesen Prozessen befindet sich das Werkzeug kontinuierlich im Eingriff, womit die Spanbildung als das wichtigste Zerspanungskriterium für die Prozesssicherheit in den Vordergrund rückt.

Für die Außenlängsdrehbearbeitung unter Schruppbedingungen wurde zunächst ein Werkzeugbenchmark gängiger Hersteller durchgeführt. Die Prozesskräfte und die Bauteilqualität sind für die eingesetzten Werkzeuge dreier großer Werkzeughersteller vergleichbar. Für eine Prozessentwicklung wurde daher das Werkzeug mit der für die definierten Referenzbedingungen bestgeeigneten Spanformgeometrie herangezogen. Bild 2 stellt den Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Prozesskräfte für dieses Werkzeug für die Bearbeitung von CuZn38As und CuZn39Pb3 dar. Die Schnittkraft für CuZn38As fällt von  $F_c = 2100$  N bei  $v_c = 30$  m/min auf ein konstantes Niveau von  $F_c = 1050$  N bei Geschwindigkeiten ab  $v_c = 200$  m/min ab. Dieser Effekt abfallender und ab einer werkstoffspezifischen Grenzgeschwindigkeit konstanter Prozesskräfte ist häufig mit verbesserter Bauteilqualität und günstiger Spanbildung verbunden und in der Literatur als Hochgeschwindigkeitszerspanung bekannt [AMOR03].

Das Legieren mit Blei führt zum Ausbleiben des Hochgeschwindigkeitseffekts im untersuchten Geschwindigkeitsbereich durch deutliche Herabsetzung der Übergangsschnittgeschwindigkeit. Darüber hinaus resultiert die spanbrechende Wirkung des Bleis in einer 40 % reduzierten Schnittkraft ( $F_c = 600$  N).

Ein häufiger Bearbeitungsfall bei Bauteilen aus Kupfer- und Kupfer-Zink-Legierungen ist das Einbringen von kleinen Bohrungen. Insbesondere für medienführende Bauteile sind diese Bohrungen im Verhältnis zum Durchmesser häufig sehr tief. Für derartige Bearbeitungsfälle ist die Größe und Form der erzeugten Späne von besonderer Bedeutung für die Prozesssicherheit. Der Einsatz von Schnittgeschwindigkeiten ab  $v_c = 200$  m/min führt zu einer Reduzierung der mittleren Spanmasse bei der Fertigung von Bohrungen mit einem Durchmesser von  $D = 4,2$  mm und einer Tiefe von  $l = 50$  mm, wie in Bild 3 dargestellt.

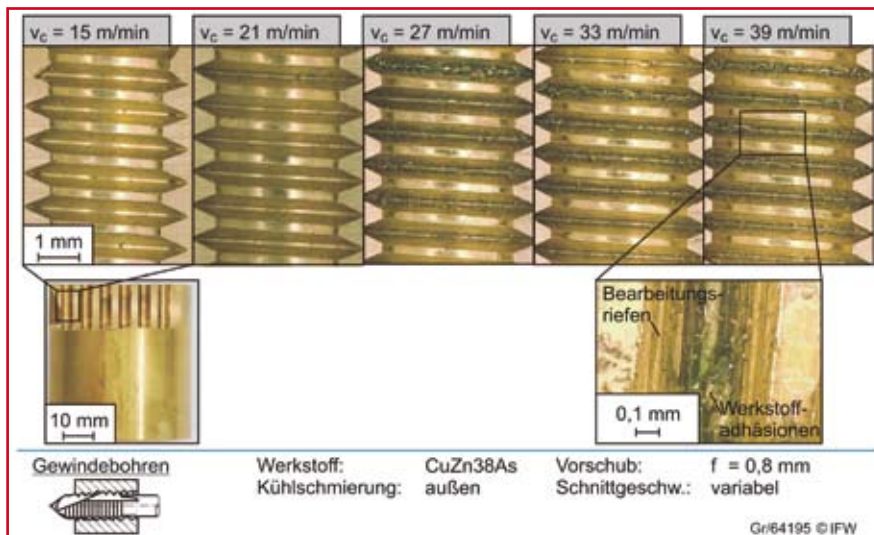
Die benötigte Drehzahl beträgt für diese Schnittgeschwindigkeit bereits  $n = 15.000$  min<sup>-1</sup>. Höhere Drehzahlen resultieren in weiter verbesserter Spanstauchung und entsprechend erhöhtem Zeitspanvolumen  $Q_w$ . Die produktive und prozesssichere Bearbeitung innovativer Messingwerkstoffe wie CuZn38As

setzt daher den Einsatz moderner Hochgeschwindigkeitswerkzeugmaschinen, die dem Stand der Technik entsprechen, voraus. Für diese Untersuchungen konnte kein negativer Einfluss der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung auf die Bauteilqualität nachgewiesen werden.

Für die Gewindefertigung wurden zunächst unterschiedliche Werkzeugkonzepte auf ihre Leistungsfähigkeit überprüft. Als Werkzeugs substrat kamen zwei Werkzeugvarianten aus Schnellarbeitsstahl (HSS) und ein Vollhartmetallwerkzeug zum Einsatz. Für den Anwendungsfall der HSS-Werkzeuge wurden eine gedrahlte Werkzeugversion und ein ungedrahlter Gewindebohrer auf ihre Eignung untersucht. Aufgrund der stärkeren Spanumlenkung wurden mit ungedrahltem HSS Werkzeug signifikant kleinere Späne erzeugt. Diese Werkzeugvariante wird daher in einer Prozessentwicklung näher untersucht. Beim Gewindebohren ist die Schnittgeschwindigkeit aufgrund der Drehrichtungsreversion am Bohrungsgrund stark begrenzt. Die Schnittgeschwindigkeitsvariation von  $v_c = 15$  m/min bis  $v_c = 39$  m/min zeigen durch unvollständig getrennten Werkstoff und sichtbare Bearbeitungsriefen eine verringerte Gewindequalität ab einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 27$  m/min. In Bild 4 sind die Querschnitte der Gewindequalitäten über die Schnittgeschwindigkeit dargestellt.

Nicht in allen Fällen ist also eine möglichst hohe Schnittgeschwindigkeit für die Bearbeitung bleifreier Messingwerkstoffe anzustreben. Basierend auf den durchgeführten Arbeiten wurden Bearbeitungsempfehlungen für die Zerspanung der bleifreien Kupfer-Zink-Legierung Bluewave® U38A abgeleitet. Bei Maximierung der Produktivität von Drehbearbeitungen ist der Vorschub durch die resultierende Bauteiltopografie (kinematische Rauheit) sowie die Schnittgeschwindigkeit maschinenseitig durch die Maximaldrehzahl begrenzt. Niedrige Schnittgeschwindigkeiten füh-





**Bild 4: Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Gewindequalität**

ren zu ungünstigerer Spanbildung sowie möglicher Aufbauschnittenbildung. Die Verwendung von Kühlschmierstoffen wird zur Bauteilqualitätsverbesserung und verbesserter Späneabfuhr empfohlen. Für Bohrprozesse unter den angegebenen Bedingungen wird zusätzlich der Einsatz innenhochdruckzugeführten Kühlschmierstoffs empfohlen, um den Spänentransport zu fördern.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Anpassung der gesetzlichen Vorgaben (Reduzierung der Bleigefährdung von Trinkwasser) haben zu Neuentwicklungen von Kupfer-Zink-Legierungen geführt. Unter anderem wurde ein bleifreier, entzinkungsbeständiger Messingwerkstoff entwickelt, der die europäischen und US-amerikanischen Anforderungen an Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser erfüllt. Weiterhin besitzt der Werkstoff Bluewave® U38A der KME Group S.p.A sehr gute Zerspanungseigenschaften.

Die Wahl von geeigneten Werkzeuggeometrien und Bearbeitungsbedingungen ermöglichen die Erzeugung geeigneter Späne und Bauteilqualitäten. Die zu erzeugende Werkstückqualität ist bei der Zerspanung der Legierungen CuZn39Pb3 (CW614N) und CuZn38As (Bluewave® U38A) vergleichbar bzw. unter der Wahl der bestmöglichen Parameter ist die Werkstückqualität bei der Legierung CuZn38As besser. Im Vergleich zu der Legierung CW614N entstehen bei der Legierung CuZn38As während der Bohr- und Drehoperationen um den Faktor 2 erhöhte Prozesskräfte. Zusammenfassend konnten folgende grundlegende Bearbeitungsempfehlungen getroffen werden:

- Bohren: Verwendung einer Innenkühlung, Hochgeschwindigkeitsbearbeitung,
- Außenlängsdrehen: hohe Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe verwenden sowie
- Gewindebohren: Einsatz von mittleren Schnittgeschwindigkeiten für

die Erzielung einer bestmöglichen Gewindequalität bzw. eines geeigneten Spanbruchs.

Aufgrund der präsentierten Ergebnisse und Lösungen kann der Werkstoff Bluewave® U38A für eine wirtschaftliche Herstellung von entzinkungsbeständigen, bleifreien Messingbauteilen genutzt werden. Hierbei stellen die ermittelten Erfahrungen nur die Grundlagen für eine zukünftige Fertigung dar. Das Wissen und die Kompetenz der Messingverarbeitenden Industrie werden dazu führen, die Fertigungsproduktivität zukünftig weiter zu steigern.

### Literatur

- [AMOR03] Amor, R. B.: Thermomechanische Wirkmechanismen und Spanbildung bei der Hochgeschwindigkeitszerspanung. Dr.-Ing. Diss., Universität Hannover, Berichte aus dem IFW Band 3, 2003.
- [KELLR55] Keller, H.M.; Eickhoff, K.: Kupfer und Kupferlegierungen. 3. Aufl., Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer Verlag, 1955.
- [LAW10] N. N.: S 3874 "Reduction of Lead in Drinking Water Act".
- [RICHT98] N. N.: Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- [HILB08] Hilbrans, H.; Hübner, K.-H.; Krüger, O.; Bargel, H.-J.; Schulze, G.: Werkstoffkunde. 10. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2008.

- (1) Dr.-Ing. habil. H.-G. Wobker, KME Germany AG & Co. KG
- (2) Dr.-Ing. Thomas Friedrich, KME Brass Germany GmbH
- (3) Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Dr.-Ing. Jens Köhler, Thilo Grove