

BlueBrass®: Bleifreies Zerspanungsmessing für existierende Recyclingkreisläufe

Lorenz, U. (1); Hoppe, M. (2); Zeiger, K. (1)

Das Legierungselement Blei findet heutzutage breite Anwendung in Messinglegierungen für die zerspanende Bearbeitung. Regionale bzw. globale Normen und ein verstärktes Umweltbewusstsein führen jedoch dazu, dass es durchaus attraktiv ist, Blei in Messinglegierungen zu reduzieren oder gänzlich darauf zu verzichten. Aurubis Stolberg hat unter der Marke BlueBrass® eine Legierung entwickelt, die heutige Standards der Elektro- und Automobilindustrie hinsichtlich Leitfähigkeit, Zerspanbarkeit und Umformbarkeit mit der zunehmenden Forderung nach Bleifreiheit exzellent verbindet. Der Werkstoff ist auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, wie Metallpreis und der Mischbarkeit von Produktionsschrotten für Weiterverarbeiter von Halbzeugen interessant.

Die Anteile von Blei liegen derzeit zwischen zwei und drei in Ausnahmefällen bis zu vier Prozent. Diese Anteile sind entscheidend für die Herstellung von verschiedensten Komponenten, weil sich die Bleipartikel nicht in der Matrix auflösen, sondern als weiche, fein verteilte Ausscheidungen im Mikrometer-Maßstab vorliegen. Dadurch bewirkt Blei einige hervorragende Werkstoffeigenschaften in einer Kupferlegierung [1]. Die gute Zerspanbarkeit ist hierbei nach Auffassung der Autoren ein wesentlicher Vorteil. Im Rahmen von gültigen EU-Direktiven (RoHS und ELV) gilt Blei als schädliches Element und sollte daher vermieden werden. Es wurden Bagatellschwellen festgelegt, wonach eine Legierung als bleifrei gilt, wenn der Massenanteil an Blei kleiner als 0,1 % ist. Gültige Ausnahmegenehmigungen besagen darüber hinaus, dass für die Herstellung von Bauteilen durch Zerspannung Bleianteile bis zu 4 % zulegiert werden dürfen [2, 3]. Ein verstärktes Umweltbewusstsein in unserer Gesellschaft führt jedoch dazu, dass es durchaus attraktiv ist, Blei in Messinglegierungen wegzulassen, bzw. die Ausnahmegenehmigungen nicht auszunutzen, da diese ohnehin in regelmäßigen Abständen auf weitere Gültigkeit überprüft werden. Im Bereich der Verwendung von Messing für Trinkwasser führende Bau-

teile ist dies natürlich besonders interessant, da hier unmittelbare Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit ableitbar sind. Daher scheinen in der öffentlichen Wahrnehmung die Aktivitäten hier wesentlich breiter gestreut zu sein als in anderen Einsatzgebieten von Messing. Bisher gibt es nur vereinzelt öffentlich sichtbare Aktivitäten in den Bereichen Elektroinstallation und Elektronik. Trotz gültiger Ausnahmeregelungen ergibt sich nach Ansicht von Aurubis aber auch in diesen Bereichen bereits jetzt die Notwendigkeit, technische und wirtschaftliche Lösungen zu bieten, mit denen Bauteile aus bleifreien Messinglegierungen herstellbar sind. Bei der Aurubis Stolberg GmbH & Co. KG werden unter anderem Profildrähte aus Messing hergestellt. Die gelieferten Querschnitte der Drähte sind rund, viereckig oder haben auch komplexere Formen. Ein wesentlicher Teil davon besteht aus bleihaltigem Messing, das anschließend zerspanend weiterbearbeitet wird. Derzeit sind 13 verschiedene Varianten von bleihaltigem Messing in der EN 12166:1998 beschrieben. Bei Aurubis sind ca. 10-15 bleihaltige Messingvarianten kommerziell im Einsatz. Aus diesen Legierungen werden unter anderem Präzisionsdrehteile hergestellt (z.B. Steckerstifte, Lüsterklemmen, Ventile). Bei ca. der Hälfte dieser Mengen steht die zerspanende Bear-

beitung ganz klar im Vordergrund und weitere Verarbeitungseigenschaften sind eher unerheblich. Bei der anderen Hälfte ist meist jedoch neben der guten Zerspanbarkeit auch eine gute Umformbarkeit für Arbeitsschritte wie Crimpen oder Bördeln von Interesse.

Eine Legierung, die als bleifreier Ersatz für derzeit verwendete Messinglegierungen im Bereich der Elektroindustrie dienen kann, sollte folgende wesentliche Randbedingungen erfüllen:

- Der Werkstoff muss gut zerspanbar sein.
- Die technologischen Eigenschaften (z.B. Festigkeit, Leitfähigkeit, Umformbarkeit) sollten gegenüber derzeitig verwendeten Messinglegierungen beibehalten oder verbessert werden.
- Er sollte unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten als Alternative zu den bisher eingesetzten bleihaltigen Werkstoffen angesehen werden.
- Da er zunächst jedoch nur in Einzelfällen benötigt wird, sollten die Schrotte mit den existierenden Schrottkreisläufen mischbar sein.

Aurubis Stolberg hat sich zum Ziel gesetzt, eine bleifreie, gut zerspanbare Messinglegierung zu entwickeln, die diese Randbedingungen erfüllt. Daher sollte sie nur aus Legierungs- oder Begleitelementen hergestellt werden, die auch bei derzeit verwendeten Messinglegierungen zum Einsatz kommen und zwar nur in Anteilen, wie sie die etablierten Kreisläufe nicht stören. Diese Grundideen dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung von BlueBrass®. Die nun vorgestellte Legierung BlueBrass®42 wurde speziell im Hinblick auf die oben genannten Randbedingungen entwickelt. Genau wie es derzeit mehrere Varianten von bleihaltigem Messing gibt, kann es erforderlich sein, in Zukunft noch

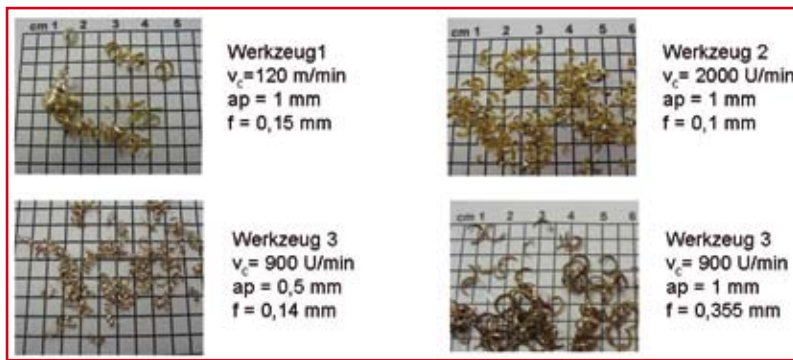


Bild 1: Späne von BlueBrass®42 nach Drehen mit verschiedenen Parametern ; v_c : Schnittgeschwindigkeit, a_p : Schnitttiefe, f : Vorschub

weitere bleifreie Varianten von BlueBrass® zu entwickeln, von denen jede speziellen Anforderungen gerecht wird.

Vorgehensweise

Es wurden bei Aurubis Stolberg Grundlagenversuche durchgeführt, um ein besseres Verständnis für die Wechselwirkung von Mikrostruktur und Zerspanbarkeit bei Messing zu erlangen. Dazu wurde das Konzept einer Multiphasenlegierung wie es derzeit gängig ist und sich als positiv erwiesen hat [4, 5, 6] beibehalten. Es wurden verschiedene Parameter, z.B. Zn-Anteil, Legierungsbestandteile, Phasenanteile α/β , variiert. Anschließend wurde die Zerspanbarkeit von den entstandenen Probelegierungen untersucht, indem sie mit einem festgelegten, gleichbleibendem Versuchsaufbau zerspanend bearbeitet wurden. Die Zerspanung bestand aus Bohren und Drehen. Mit dieser Vorgehensweise hat man sich Schritt für Schritt dem nun vorliegenden bleifreien Legierungskonzept angenähert.

Die Zerspanbarkeit eines Werkstoffs kann je nach Schneidstoff, Schneidkeilgeometrie, Zerspanungsverfahren, verwendeter Maschine und anderen Zerspanbedingungen sehr unterschiedlich sein. Das Hauptziel einer Zerspanaufgabe ist die Herstellung eines geometrisch einwandfreien Werkstücks. Zur Beurteilung der Zerspanbarkeit von Kupfer und Kupferlegierungen werden die vier Zerspanbarkeitskriterien Werkzeugverschleiß, Spanbildung, Zerspanungskräfte und Oberflächengüte verwendet. Auf-

grund der gegenseitigen Abhängigkeit der einzelnen Größen ist wegen der zusätzlichen Einflüsse von Werkstoffzustand, Zerspanverfahren, Maschine, Werkzeug und Schmier- bzw. Kühlmitteln die Bildung eines einzigen und eindeutigen Zerspanbarkeitskriterium nicht möglich. [7]

Als Maß für die Zerspanbarkeit wurde in den bei Aurubis vorgenommenen Untersuchungen vor allem die Spanform und -größe herangezogen. Zeitgleich wurden in verschiedenen Versuchen auch die Zerspanungskräfte und Werkzeugtemperaturen bestimmt. Diese wurden aber für die weiteren Betrachtungen vernachlässigt. Ebenso wurde auch der Werkzeugverschleiß in Teilen untersucht, insofern dies ohne den langfristigen Einsatz in der Massenproduktion von Bauteilen möglich ist. Hauptaugenmerk lag auf der Spanbildung. Auf die aufwändige Ermittlung und Angabe eines neutral wirkenden Zerspanbarkeitsindex wurde bewusst komplett verzichtet. Wie im vorigen Abschnitt bereits erwähnt, ist zu beachten, dass die Bewertung der Zerspanbarkeit in letzter Konsequenz immer eine subjektive Wahrnehmung bleibt, die nicht nur von der Legierung, sondern auch von der jeweiligen Zerspanungsaufgabe abhängig ist.

Es wurde im Laufe der Untersuchungen herausgearbeitet, dass man durch einfache Variationen von grundlegenden Zerspanungsparametern, wie z.B. Werkzeugform, Vorschub, Schnittgeschwindigkeit etc. teilweise deutlich stärkere Effekte erzielen kann, als mit einer weiteren Variation des Werkstoffs. Das hat dazu ge-

führt, dass man am Ende nicht nur die technologischen Aspekte in den Vordergrund gestellt hat, sondern vor allem auch eine wesentliche Randbedingung eingehalten wurde, nämlich die ausschließliche Verwendung von Legierungselementen aus derzeit verwendetem Messing.

Legierungstechnisch wurden folgenden Veränderungen gegenüber Standardmessing vorgenommen:

- Anhebung des Zink-Gehalts zur Erhöhung des β -Anteils im Gefüge zur Verbesserung des Spanbruchs,
- Zulegieren weiterer Elemente (z. B. Eisen, Nickel und Zinn) zur Steuerung der α/β -Aufteilung,
- Zulegieren von Elementen zur Bildung von Ausscheidungen (z. B. Eisen, Mangan, Silizium):
 - Steuerung der Korngröße (Kurzer Wechsel von α und β),
 - Potentielle Störstellen zur Förderung des Spanbruchs,
- Legierungselemente wie Nickel, Zinn und Phosphor wirken zusätzlich korrosionshemmend.

Ein wesentliches Merkmal der Legierung ist, dass ihr Massenanteil an Kupfer kleiner oder gleich 59 % ist. Das nur moderate Zulegieren weiterer Elemente in Anteilen kleiner als 0,5 % führt dazu, dass mit einem Zinkgehalt von ca. 42 % gearbeitet wird. Dies scheint nach gängiger Theorie eigentlich hinderlich für den technischen Einsatz zu sein, insbesondere in Bezug auf die Umformbarkeit [5, 6]. Wenn man jedoch ein zweiphasiges Gefüge unter Verwendung eines geeigneten Herstellungsweges erzeugt, lassen sich nicht nur gute Zerspanungseigenschaften sondern auch hervorragende technologische Eigenschaften erzielen. Die vorliegende Legierung BlueBrass®42 ist daher hervorragend geeignet, bleifreie Messingbauteile herzustellen, ohne auf die sonstigen technologischen und wirtschaftlichen Vorteile von Messing verzichten zu müssen.

Ergebnisse

Spanbildung

In Bild 1 sind beispielhaft Späne des gleichen Werkstücks dargestellt. Es

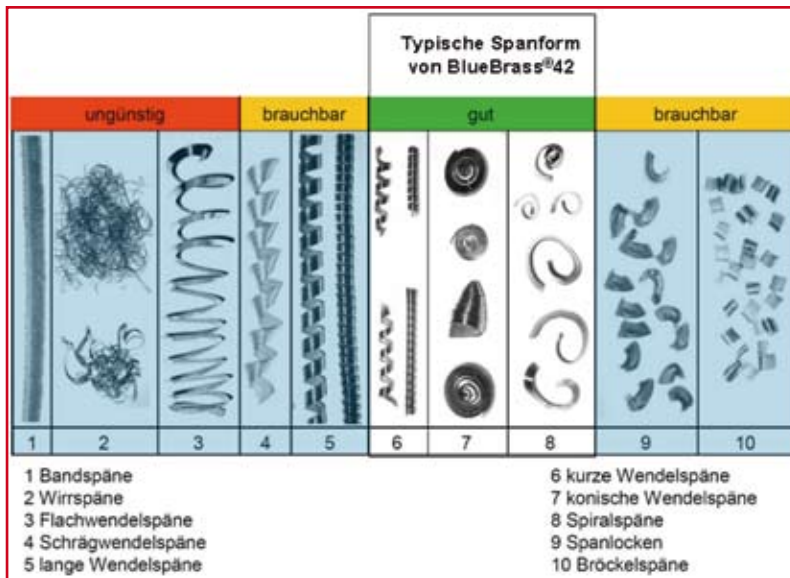


Bild 2: Einordnung typischer Spanformen nach [7, 8] sowie Einordnung typischer Späne von BlueBrass®42

wurde durch Längsdrehen der Durchmesser eines zylindrischen Bauteils aus dem bleifreien Werkstoff BlueBrass®42 reduziert. Bei den vier dargestellten Versuchen wurden Werkzeug, Vorschub, und Schnittgeschwindigkeit variiert.

Ohne auf die exakten Details der Zerspanungsaufgabe einzugehen, lässt sich als Resultat festhalten, dass durchaus eine Optimierung der Zerspanungsparameter notwendig ist. So kann man bei optimierter Vorgehensweise sehr kleine Späne erzeugen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch mit den Verfahren Bohren, Räumen und Gewindeschneiden erzielt. Wie im Bild 2 gezeigt, kann man die Späne von Blue-Brass®42 als gut geeignet für die spanende Bearbeitung bezeichnen.

In Bild 3 sind Späne im Vergleich mit zwei Standard-Messingwerkstoffen dargestellt. Die Schnittwerte sind hier optimiert für BlueBrass®42 und wurden für alle drei Versuche gleich

gehalten. Während CuZn36 nicht mit wünschenswertem Ergebnis zerspanbar ist, war es möglich mit BlueBrass® bezüglich der Spangröße und -form in eine vergleichbare Größenordnung wie bei CuZn39Pb3 zu kommen.

Leitfähigkeit

Um ein adäquater Ersatz für derzeit verwendete Messinglegierungen bei elektrischen Bauteilen zu sein, sollte die elektrische Leitfähigkeit nicht oder kaum verändert werden. Bei der hier beschriebenen Legierung ist dies gegeben.

Grundsätzlich wird die elektrische Leitfähigkeit einer Cu-Zn-Legierung durch eine verstärkte Zugabe von Zink herabgesetzt, jedoch stoppt dieses Verhalten zunächst oberhalb von ca. 30 % Zn. Danach wird bei weiterer Zugabe von Zink die Leitfähigkeit nicht weiter herabgesetzt, sondern bleibt mit Werten um ca. 15 MS/m konstant.

Bei BlueBrass®42 werden außer dem Hauptlegierungselement Zink von weiteren Legierungselementen nur geringe Anteile zulegiert. Daher ist die elektrische Leitfähigkeit dieser Legierung auch primär vom Zinkanteil abhängig. Dies bedeutet, dass die elektrische Leitfähigkeit von BlueBrass®42 vergleichbar ist mit der von CuZn39Pb3 oder anderen für die Zerspanung üblichen Messinglegierungen.

Korrosionsbeständigkeit

In den Einsatzgebieten von stromführenden Messingkleinteilen ist insbesondere die Anfälligkeit für Spannungsrisskorrosion zu beachten. Versuche nach EN 14977:2006 (Auslagerung in Ammoniak) wurden durchgeführt. Es wurden keine Ausfälle beobachtet. Zusätzlich wurden die Versuche zusammen mit baugleichen Werkstücken aus CuZn39Pb3 wiederholt. Bei beiden Legierungen wurden wiederholt keine Ausfälle beobachtet. In weiteren Tests wurden die Versuchsbedingungen bis zu einem letztendlichen Werkstoffversagen verschärft, deutlich über die Grenzen des genormten Tests hinaus. Dabei haben die untersuchten Werkstoffe ein vergleichbares Verhalten gezeigt.

Neben der Anfälligkeit auf Spannungsrisskorrosion wurde auch die Anfälligkeit auf Entzinkung untersucht. Dazu wurden Tests nach DIN EN ISO 6509:1995 durchgeführt. Eine parallele Versuchsführung bei CuZn39Pb3 und BlueBrass®42 zeigt auch hier, dass die beiden Werkstoffe gleich reagieren. Eine eventuelle Befürchtung, dass der erhöhte Zinkanteil die Anfälligkeit erhöhen könnte, konnte somit nicht bestätigt werden.

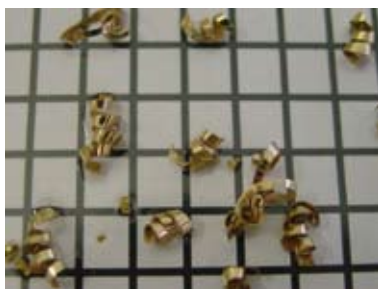


Bild 3: Späne nach Außendrehen unter gleichen Bedingungen von links BlueBrass®42, Mitte CuZn39Pb3; rechts CuZn36

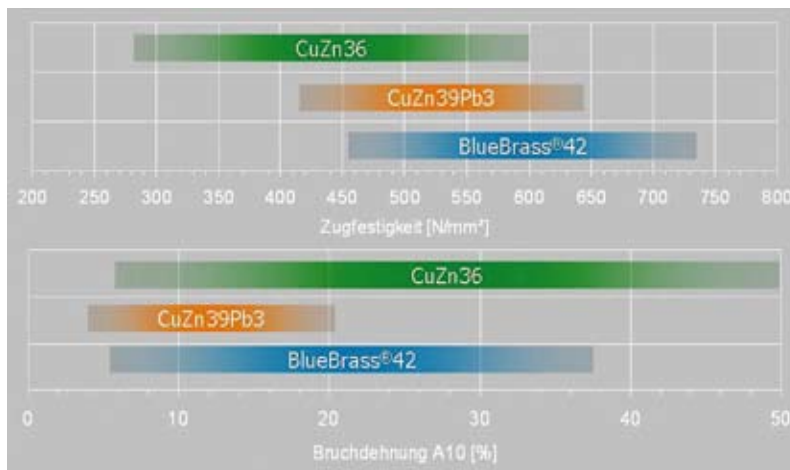


Bild 4: Festigkeit und Bruchdehnung von gängigen Messinglegierungen im Vergleich zu BlueBrass®42

Festigkeit/Dehnung

Durch den erhöhten Zinkanteil und das resultierende binäre α/β -Gefüge sowie die sich teilweise in Lösung befindlichen Legierungselemente weist die beschriebene Legierung eine Festigkeit auf, die gegenüber gängigen bleihaltigen Messinglegierungen erhöht ist. Die gängigen Legierungen haben darüber hinaus den Nachteil, dass sie eine relativ geringe Bruchdehnung besitzen, d.h. die Umformbarkeit gängiger bleihaltiger Legierungen ist drastisch gegenüber bleifreien Legierungen reduziert. In Bild 4 kann man erkennen, dass die Bruchdehnung A10 beim bleihaltigen CuZn39Pb3 stark eingegrenzt ist, während sie bei dem bleifreien, aber schlecht zerspanbaren CuZn36 im Bereich von 30 - 50 % liegen kann.

Dieses Beispiel soll zeigen, dass man bei den herkömmlichen Messingwerkstoffen immer gezwungen ist abzuwägen, ob man ein Bauteil eher zerspanend herstellt oder ob man auch signifikante Umformungen vornehmen muss. Anders ist dies bei BlueBrass®42. Man kann in Bild 4 gut sehen, dass hier trotz einer hohen Festigkeit und der im Bild nicht dargestellten guten Zerspanbarkeit die Bruchdehnung deutlich höher liegt als bei CuZn39Pb3. Dieser Umstand eröffnet zukünftig neue Möglichkeiten der Bauteilherstellung mit einer neuen Möglichkeit die zerspanende Herstellung von bleifreien Bauteilen mit einer umformenden Bearbeitung zu kombinieren.

Wirtschaftliche Aspekte

Die Entwicklung einer neuen Legierungsvariante sollte natürlich immer auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen. Für den Kunden wünschenswert ist es, wenn der finanzielle Mehraufwand für das Vorprodukt aus der neuen Legierung relativ gering ist. Daher wurde unter anderem darauf geachtet, den Anteil an Kupfer gegenüber den derzeit im Einsatz befindlichen Legierungen nicht zu erhöhen, da Kupfer immer deutlich teuer als Zink ist. Ein erhöhter Kupferanteil wäre bei der Idee des erhöhten β -Anteils in der Legierung ohnehin eher kontraproduktiv.

Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass die anfallenden Späne und Schrotte in existierenden Messinggießereien eingesetzt werden können. Die verwendeten Legierungselemente erlauben den Einsatz von Schrotten entweder im Kreislauf, das heißt aus BlueBrass® wird wieder BlueBrass® hergestellt, jedoch kann man auch BlueBrass®-Späne mit Spänen von bleihaltigen Standardlegierungen mischen. Das heißt, bei der schrittweisen Einführung von bleifreien Legierungen, muss man bei der Massenfertigung von Bauteilen im industriellen Maßstab keine besonderen Vorkehrungen treffen

Zusammenfassung

Aurubis Stolberg hat unter der Marke BlueBrass® eine Legierung entwickelt, die heutige Standards der Elektro- und

Automobilindustrie hinsichtlich Leitfähigkeit, Zerspanbarkeit und Umformbarkeit mit der zunehmenden Forderung nach Bleifreiheit exzellent verbindet.

Mit der Legierung BlueBrass®42, die mit 42 % Zink einen relativ hohen Zinkanteil hat, wird die erste Legierung präsentiert. Diese enthält ausschließlich Legierungselemente, die auch bei derzeit im Einsatz befindlichen Legierungen verwendet werden. Sie berücksichtigt vor allem auch wirtschaftliche Aspekte. Die Metallbasis verteuert sich aufgrund des geringen Kupferanteils kaum. Späne und Produktionsschrotte können in existierende Recyclingkreisläufen zurückgeführt werden. Neben einer hohen Festigkeit wird gegenüber bleihaltigen Messinglegierungen die Umformbarkeit deutlich erhöht auf ein Maß, das bisher nur mit bleifreien, schlecht zerspanbaren Legierungen erzielt werden konnte.

Literatur

- [1] Welter, J.M.: The role of lead as an alloying element in copper alloys used for automotive components; Report for the European Copper Institute, 2010
- [2] Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Amtsblatt der Europäischen Union, 13.2.2003, DE, L 37/19
- [3] Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 269/34, DE, 21.10.2000
- [4] Kuyucak, S; Sahoo, M.: A Review of the machinability of copper-base alloys, Canadian Metallurgical quarterly, vol. 35 (1996), No. 1, pp. 1-165
- [5] Dies, K: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1967
- [6] Vilarinho, C. et al: Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, Journal of Materials Processing Technology 170 (2005), pp. 441-447
- [7] Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen (DKI-Informationsdruck i.18), Deutsches Kupferinstitut, 2010
- [8] Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren 1 - Drehen, Fräsen, Bohren. Aufl. 8, Springer, Berlin: 2008

(1) Dr. Ulrich Lorenz, Karl Zeiger, Aurubis Stolberg
 (2) Dr. Michael Hoppe, Aurubis AG