Neue Generation bleifreier Kuper-Zink-Legierungen auf Kupfer-Silizium-Mangan-Basis

Angerer, T. (1); Hofer, S. (2); Antrekowitsch, H. (1)

Seit geraumer Zeit wird der Druck der europäischen Gesetzgebung auf die Metallwirtschaft immer größer gesundheitsschädliche Elemente, wie etwa das Schwermetall Blei in alltäglichen Produkten zu vermeiden. Dieses gängige Legierungselement bewirkt unter anderem geringere Gussporositäten und eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit. Im Bereich der Messinglegierungen gilt bislang als beinahe einzige bleifreie Alternative eine 3-Stofflegierung auf Kupferbasis mit Anteilen aus Zink und Silizium. Bei der zur Debatte stehenden Entwicklung wurden die Materialeigenschaften der Silizium-Mangan-Messinge erstmals systematisch untersucht (vergl. METALL 3/2015 [1] und METALL 6/2015 [2]). Wird Mn von bis zu einigen Prozenten den Si-Messingen zulegiert, ergibt sich ein völlig neuer kristallographischer Aufbau mit variierenden Eigenschaften und charakteristischen intermetallischen Phasen. Diese prismatischen Ausscheidungen rufen im Werkstoff interessante Eigenschaften hervor. Ein Teil der wissenschaftlichen Arbeit beschäftigte sich mit dieser Thematik (vgl. METALL 11/2015 und 3/2016).

Für die Modellierung und die wissenschaftliche Beschreibung der gießtechnologischen, werkstoffkundlichen und physikalischen Charakteristika der Messing-Legierungen diente als zentrales Hilfsmittel die statistische Versuchsplanungs- bzw. Versuchsauswertungs-Software Modde7®.

Die Aufnahme der vor allem gießtechnologischen Charakteristika „Vergießbarkeit“ (Fließfähigkeit) und „Lunkerneigung“ (Lunkertiefe) bedingte die Weiterentwicklung bzw. Adaptierung bekannter Analysemethoden für die zu untersuchenden Legierungen.

In mehreren Versuchskampagnen wurde ein Legierungsfeld mit den Grenzen 3,5 bis 22,5 Gew.-% Zn, 2,4 bis 7 Gew.-% Si und 0,3 bis 2,8 Gew.-% Mn untersucht. Die generierten empirischen Modelle basieren auf algorithmischen Auswertungen der Software.

Kernziel dieser Arbeit war es, zur Optimierung der bestehenden Legierung und Entwicklung neuer Werkstoffe beizutragen, um für ein mögliches Verbot bleihaltiger Cu-Basislegierungen gerüstet zu sein.

Einleitung

Die heutzutage angewandten Methoden zur Legierungsentwicklung in den verschiedensten Industriesparten und auch bei den unterschiedlichen Basismetallen nutzen moderne Mess- und Analytiksysteme. Vor allem Computerprogramme vereinfachen und verkürzen die Entwicklungszeit neuer Legierungen.

Der bekannte Trend zur Verdrängung giftiger Schwermetalle aus Produkten des täglichen Bedarfs, unterstützt durch diverse EU-Verordnungen, wurde von der Metallschmelze Tattendorf GmbH (W. Grillo Handelsgesellschaft mbH) als Chance erkannt, um mittels eines geförderten Projektes in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie an der Montanuniversität Leoben (Österreich) neue Kupferbasislegierungen zu entwickeln.

Für diese Arbeit mussten einerseits Messmethoden neu entwickelt und andererseits bereits etablierte experimentelle Verfahren an die hier vorliegenden Verhältnissen angepasst werden. Aufbauend auf den ermittelten Versuchsergebnissen und durch Unterstützung der statistischen Versuchsplanungs- und Auswertungssoftware Modde 7®, konnten die für diese Entwicklung definierten zentralen Werkstoffcharakteristika empirisch modelliert und somit vorhergesagt werden.

Im Folgenden ist anhand der beiden gießtechnologischen Werkstoffeigenschaften „Vergießbarkeit“ und „Lunkerneigung“ eine mögliche Herangehensweise in Bezug auf die erfolgte Werkstoffentwicklung bleifreier Messinge dargestellt.

Entwicklung eines Versuchsplanes

Das für die Legierungsentwicklung benötigte Legierungsfeld wurde mit den folgenden Gehalten an Zn, Si und Mn definiert:

- 3,5-22,5 Gew.-% Zn
- 2,4-7 Gew.-% Si
- 0,3-2,8 Gew.-% Mn

Auf Basis dieser Festlegung der Hauptfaktoren („Factors“; Zn, Si und Mn) und durch die Wahl eines sogenanntes „D-optimal“-Versuchsplanungsmodells entwickelte Modde mehrere Matrizen mit identer Versuchsanzahl und D-Effizienz („D-Efficiency“). Die Anzahl der Versuche (N) mit den drei Hauptfaktoren (p) und den möglichen Wechselwirkungsparametern ($p' = p \cdot (p-1)/2$) erweitert durch ein zusätzliches Experiment ergibt sich aus der Formel (1) [3]. Das wesentliche Zielkriterium dieses Designs ist die Maximierung der Determinante der Matrix (Det(XTX)) bzw. die Minimierung der Determinante der inversen Matrix (Det(XTX)-1) [3]. Durch dieses und weitere Selektionskriterien, die G-Effizienz („G-Efficiency“), den dekadischen Logarithmus der Determinante („log Det(XTX)“), den normalisierten dekadischen Logarithmus der Determinante („Norm. log Det(XTX)“)

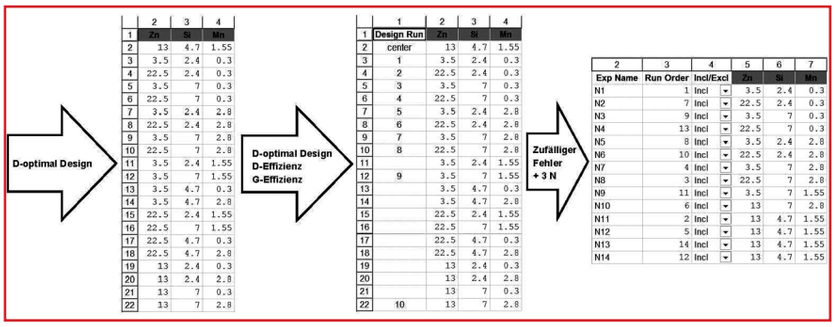

Bild 1: Erstellung der D-optimalen Grundmatrix für drei Faktoren [4]

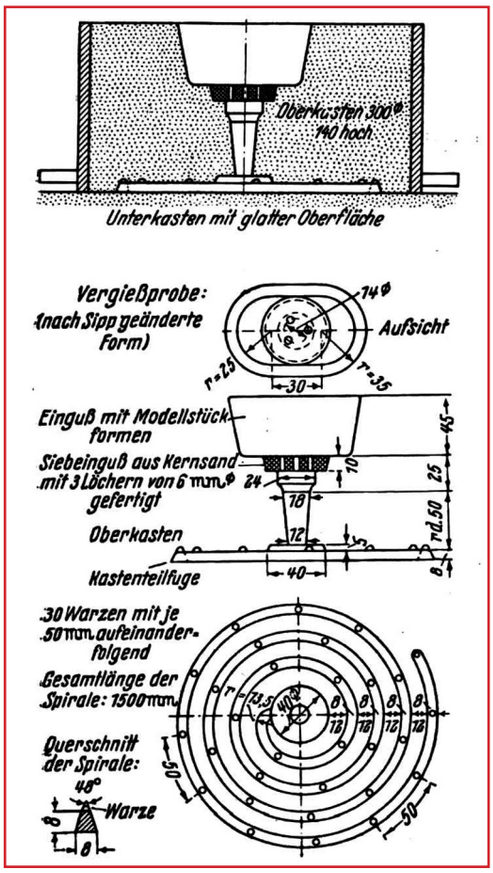

Bild 2: Werkzeichnung der Grundform der Gießspirale nach SIPP [5]

und die Zustandszahl („Condition number“) war es möglich, aus einer Gesamtzahl von 22 Versuchen eine optimale Matrix mit 11 unterschiedlichen Legierungen auszuwählen.

Modde positionierte bei der Versuchsplanerstellung die Werkstoffe in eine Art kubische Anordnung rund um einen Zentralpunkt („Center point“). Jede Ecke dieses Quadrates belegte die Software mit jeweils einem Versuch (acht Legierungen; Grenzen des Modells). Die beiden restlichen Versuche (zwei unterschiedliche Legierungen) legt die Software willkürlich (optimale D- und G-Effizienz) in die Mitte zwischen zwei der Eckpunkte. Der Zentrumspunkt dient der Ermittlung nicht-linearer Effekte des Modells. Die Berechnung der Streuung bedingt weitere drei Versuche, welche sich ebenfalls in diesem Zentrumspunkt positionierten. Durch diesen Algorithmus ergab sich somit eine Mindestanzahl von 14 Experimenten (Bild 1).

$$N = p + p' + 1 \rightarrow N = p + p \cdot (p-1)/2 + 1$$

Glg. (1) [3]

Die Vorteile dieses gewählten Versuchsdesigns sind die hohe Flexibilität – es können bei bestehendem Versuchsplan Abänderungen und Ergänzungen (Implementierung zusätzlicher Versuche) im Rahmen der definierten Grenzwerte durchgeführt werden – und die Minimierung notwendiger Experimente. Weiters unterstützt dieses Modell die Abbildung linearer und nicht-linearer Modelle. Die genaue Bestimmung der Haupteinflussfaktoren und der Wechselwirkungen stellt ebenfalls ein Charakteristikum dieses Designs dar. Ein wesentlicher Nachteil zeigt sich in der Anwendung komplexer Algorithmen zum Aufbau der Matrix.

Für die vorliegende Forschungsarbeit zur Entwicklung neuer Werkstoffe wurde die Matrix auf insgesamt 50 untersuchten Si-Mn-Messingen erweitert.

Bild 3: Schematische 3D-Darstellung der entwickelten Gießspirale (Modell 1) und Abguss einer Legierung

Als Zielgrößen („Responses“) für die Modellierung der gießtechnischen Charakteristika dienten die beiden Kennwerte „Lauflänge“ und „Lunkertiefe“.

Entwicklung der Gießspirale

Die Fließfähigkeit zeigt sich als die zentrale Eigenschaft von neu zu entwickelnden Gusslegierungen. Der Abguss in eine Gießspirale erschien hierfür als geeignete Methode. Überraschenderweise stellt diese Technologie im Bereich der Kupfergusslegierungen keine gebräuchliche Methode mehr dar. Somit konnte keine geeignete Gießspiralenform zugekauft werden. Aus diesem Grund ergab sich die Notwendigkeit, eine Sandform gemäß den Literaturangaben für Messinglegierungen anfertigen zu lassen. Für die Si-Mn-Messinge wurde der in der Aluminiumindustrie gebräuchliche seitliche Anguss der Spirale durch einen zentralen (inklusive Gießtümpel) ersetzt. Eine für die vorliegenden Legierungen geeignete Grundform (Bild 2) lieferte die Literatur mit der Gießspirale nach SIPP [5]. Die Fertigung dieser Form – Gießspirale (150 cm Länge) mit Warzen (50 mm Abstand), ovaler Gießtümpel, Dreilochfilter, rechtwinkeliger Anschnitt – erfolgte mittels „Rapid Prototyping“.

Die Fließlänge der Messinge sollte in der gewählten Versuchsanordnung im mittleren Bereich der Ergebnisskala liegen, um sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen gut messen zu können. Durch Vorversuche (Abguss einer der MST-Standardlegierung) erwies sich die Lauflänge der Modellform 1 als zu gering (Bild 3). Durch die Entfernung des Lochfilters und durch weiterführende Adaptierungen erfolgte die Erstellung des Modells 2 (Bild 4), welches auch für die Furansand-Serienfertigung geeignet ist. Ein anders gewählter Angusstümpel verhindert Verwirbelungen und das Einschleppen von Schlacken sowie Gießsand in die Spirale. Diese endgültige Form hat sich dann im Laufe des ganzen Forschungsprojektes bewährt und konnte weiters auch bei Rotguss und Stahlguss für Untersuchungen erfolgreich genutzt werden.

Adaption des Taturkegels

Ein für Messinglegierungen geeigneter Taturkegel (Bild 5) wurde nach den Maßangaben laut Gießereilexikon [6] gefertigt. Die ersten Versuche zeigten die Notwendigkeit, den zylindrischen, unteren Teil

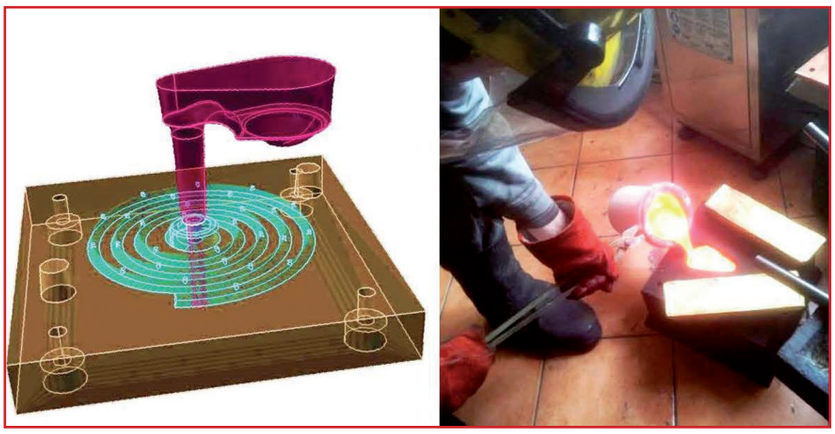

Bild 4: Schematische 3D-Darstellung der entwickelten Furansandform (Modell 2) und Abguss einer Legierung

der Form zur besseren Ausformbarkeit mit einem Winkel von 2° abzuschrägen. Legierungen mit Erstarrungsintervall tendieren dazu, bei der Erstarrung im oberen konischen Teil der Kokille zu haften, was das Ergebnis, die Lunkerausbildung, verfälschen kann [7]. Durch das Auftragen einer Schlichte (z.B. BN) wird das Lösen der Gussform unterstützt. Weitere Probleme zeigten sich beim Abguss von zähflüssigen Messinglegierungen. Ist die Fließfähigkeit zu gering, so verschließt sich die kleine Eingussöffnung und das Gussstück bleibt unvollständig. Der Kegel muss in einer Gießsequenz abgegossen werden. Ein Absetzen und wieder Angießen ist aufgrund der Gefahr des Zugießens des entstandenen (erwünschten) Lunkers nachteilig. Zur Erleichterung des Gusses ist der Taturkegel anzuwärmen und das Eingussloch mit einer Phase zu versehen. Laut Literatur [6] wird der Taturkegel auch benutzt, um grob den Reinheitsgrad von Metalllegierungen innerhalb eines gewissen Legierungsbereichs (Vergleichsproben notwendig!) zu bestimmen. In diesem Fall jedoch interessierte die Erstarrungsschrumpfung und die Morphologie der Erstarrungsfront an der Lunkerwand. TATUR [7] beschreibt die Lunkerform und die Unterschiede der Innenfläche in Abhängigkeit vom Erstarrungsintervall. Reinmetalle und eutektische Legierungen bilden große Lunker und eine glatte Oberfläche aus. Metalle mit einem (ausgeprägten) Zweiphasengebiet scheiden Dendriten aus, zwischen denen die Restschmelze erstarrt. Der Lunker dieser Werkstoffe ist wesentlich kleiner und besitzt eine raue Lunkerwand. Es können auch Mikrolunker auftreten. Weiterhin ist bei diesen Gussproben ein Einfallen der erstarrenden Schmelze (Absinken des oberen Kegelbereichs) zu erkennen [6][7].

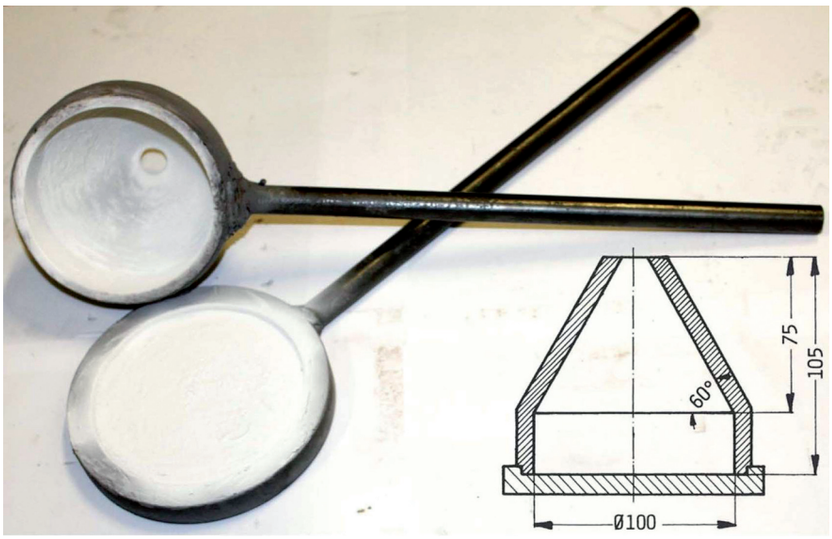

Bild 5: Adaptierter Nachbau des Taturkegels (inkl. Werkzeichnung [6])

Aufnahme und Verarbeitung der Messergebnisse

Die Ermittlung der chemischen Zusammensetzung erfolgte am Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie (Montanuniversität Leoben) und bei der Metallschmelze Tattendorf mittels Funkenspektrometrie (SPEKTROMAXx; Jobin Yvon). Den tatsächlichen Elementgehalten wurden dann die Messwerte der Lauflänge und der Lunkertiefe zugewiesen. Im Bild 6 sind eine repräsentative Gießspirale und eine Taturkegelhälfte dargestellt.

Die Verarbeitung der eingegebenen Daten („Factors“ und „Responses“) mittels Modde kann auf drei verschiedenen Arten erfolgen:

- Lineare Modelle (Gleichung 2)
- Modelle mit Wechselwirkungsfaktoren (Gleichung 3)
- Quadratische Modelle (Gleichung 4)

Lineare Modelle eignen sich für das Screening des Versuchsdesigns und für Robustheitstests. Im Algorithmus tritt jeder Faktor als linearer Term auf. Dieser Ausdruck ist die Kombination eines Koeffizienten β_i (wird von Modde ermittelt) mit einem

Bild 6: Repräsentative Gießspirale und Hälfte eines Taturkegels

Exp Name	Run Order	Incl/Excl	Zn	Si	Mn	Lunkertiefe
N2	9	Incl	20,60	3,40	1,00	57,00
N12	7	Incl	21,11	2,70	1,38	61,40
N13	11	Incl	10,00	3,55	2,17	72,00
N20	20	Incl	7,19	2,50	2,28	70,50
N21	21	Incl	20,71	3,14	0	58,10
N25	25	Incl	7,25	4,21	2,62	71,40
N34	34	Incl	9,64	4,50	0,85	71,40
N43	43	Incl	7,05	5,64	0,34	69,20
N50	50	Incl	8,99	6,83	0,76	63,55

Tabelle 1: Repräsentativer Ausschnitt des Modde-Eingabeinterface in Excel-Format

Faktor x_i („Factor"). Der Ausdruck ε repräsentiert den zufälligen Anteil des Modells. Ein lineares Modell mit drei Faktoren entspricht somit der folgenden Gleichung 2 [8]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \varepsilon \qquad \text{Glg. (2)}$$

Modelle mit Wechselwirkungstermen sind komplexer aufgebaut und basieren auf der linearen Modellierung. Die ergänzten Wechselwirkungsterme sind Kombinationen von zwei Faktoren x_i und x_j mit einem gemeinsamen Koeffizienten β_{ij}. Gleichung 3 stellt diesen Algorithmus mit drei Faktoren mathematisch dar [8].

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \varepsilon \qquad \text{Glg. (3)}$$

Ein weiterführendes Modell verwendet einen quadratischen Algorithmus. Es erweitert das Wechselwirkungsmodell um zusätzliche quadratische Terme, welche aus dem Quadrat eines Faktors x_i^2 und einem zugehörigen Koeffizienten β_{ii} bestehen. Quadratische Modelle sind die komplexesten der drei grundlegenden Modelltypen und werden für Optimierungsprozesse angewendet. Die Gleichung 4 beschreibt diese Art von Algorithmus für die Anzahl von drei Faktoren [8].

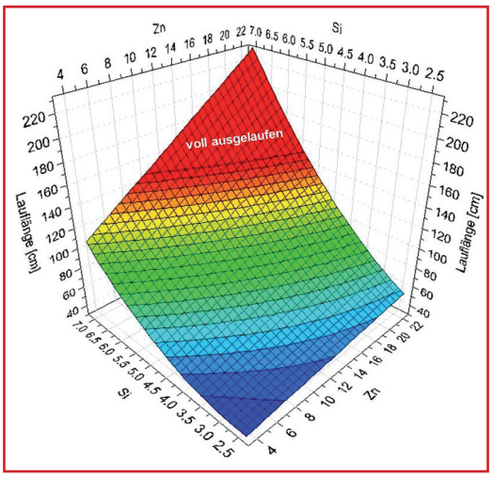

Bild 8: Grafische Darstellung des empirischen Modells zur Interpretation der Lauflänge in Abhängigkeit von den Faktoren Zn und Si [2]

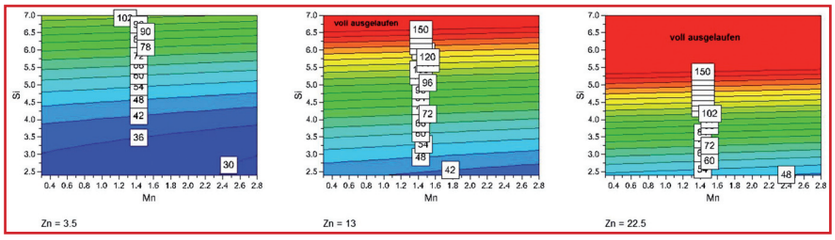

Bild 7: Grafische Darstellung des empirischen Modells zur Interpretation der Lauflänge in Abhängigkeit von den drei Faktoren Zn, Si und Mn [2]

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{11} \cdot x_1^2 + \beta_{22} \cdot x_2^2 + \beta_{33} \cdot x_3^2 + \varepsilon \qquad \text{Glg. (4)}$$

Die Verarbeitung („Fit") der eingegebenen Daten erfolgt entweder mit der MLR- („Multiple Linear Regression") oder mit der PLS-Methode („Projection to Latent Structure") durch iterative Schritte mit dem Ziel, möglichst gute Werte für die Korrelation („R^2"), Varianz („Q^2"), Anwendbarkeit des Modells („Model Validity") und Reproduzierbarkeit („Reproducibility") zu erhalten. In den meisten Fällen ist das erste Modell nicht zufriedenstellend. Durch diverse Maßnahmen (z.B. Hinzufügen oder Entfernen von Termen etc.) nähert man sich dem Optimum des empirischen Modells schrittweise an. Die Software unterstützt dies durch diverse tabellarische und grafische Darstellungen statistischer Kenngrößen (z.B. Varianzanalyse etc.) oder Modellschwächen (z.B. „Observed versus Predicted" etc.).

Die Tabelle 1 zeigt einen repräsentativen Ausschnitt des Eingabeinterface inklusive ausgewählter Datensätze zur Modellierung der Lunkertiefe.

Ergebnisse der empirischen Modellierung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellierung der beiden gießtechnologischen Werkstoffkennwerte vorgestellt. Auf die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurde bereits in der Ausgabe der METALL 6/2015 näher eingegangen.

Vergießbarkeit (Lauflänge)

Die von der Software generierte Auswertung zur Modellierung der Lauflänge (LL) zeigte, dass jene Terme des zugrunde gelegten Berechnungsalgorithmus, welche den Faktor Mn enthalten, faktisch keinen Einfluss auf die Vergießbarkeit ausüben. Das in der Gleichung 5 und im Bild 7 dargestellte empirische Modell kann somit um diesen Faktor minimiert werden. Entsprechend der Vereinfachung ist es möglich, das abgeänderte Modell (siehe Gleichung 6 und Bild 8) in dreidimensionaler Form darzustellen [2].

$$LL\,[cm] = 62{,}6322 - 2{,}0446 \cdot [Zn] - 20{,}9756 \cdot [Si] - 2{,}2728 \cdot [Mn] + 3{,}4370 \cdot [Si]^2 + 1{,}2408 \cdot [Zn] \cdot [Si] \qquad \text{Glg. (5)}$$

$$LL\,[cm] = 62{,}1368 - 1{,}7553 \cdot [Zn] - 23{,}5891 \cdot [Si] + 3{,}8747 \cdot [Si]^2 + 1{,}181 \cdot [Zn] \cdot [Si] \qquad \text{Glg. (6)}$$

Aus dieser Modellierung geht hervor, dass die Erhöhung der Legierungsgehalte an Zn und vor allem an Si zu einer signifikanten Verbesserung der Vergießbarkeit führt [2].

Lunkerneigung (Lunkertiefe)

Aus der Modellierung der Lunkertiefe (LT) ist abzuleiten, dass das Legierungselement

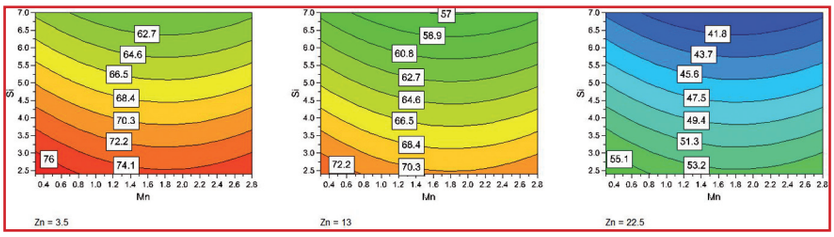

Bild 9: Grafische Darstellung des empirischen Modells zur Ausbildung des Lunkers als Funktion der Faktoren Zn, Si und Mn [2]

Mn einen signifikanten Einfluss auf diese Eigenschaft ausübt. Aus diesem Grund ist eine Vereinfachung des Algorithmus nicht zielführend. Die 2D-Modde-Diagramme (Bild 9) und die numerische Lösung (Gleichung 7) beschreiben eine Verminderung des Einzuges bei hohen Si- und Zn-, sowie mittleren Mn-Gehalten [2].

$$LT\,[mm] = 84{,}7658 + 0{,}7739 \cdot [Zn] - 2{,}9745 \cdot [Si] - 5{,}4516 \cdot [Mn] - 0{,}0727 \cdot [Zn]^2 + 1{,}5004 \cdot [Mn]^2 \qquad \text{Glg. (7)}$$

Setzt man bei drei variablen Faktoren einen davon als Fixwert – als Beispiel soll der Mangangehalt zur Erzielung einer möglichst geringen Fest-Flüssig-Schwindung 1,8 Gew.-% betragen – so ist es möglich, eine 3D-Grafik gemäß dem Bild 10 zu entwickeln.

Im Vergleich der erstellten empirischen Modelle mit den tatsächlich ermittelten Werten zeigt sich eine sehr hohe Korrelation. Die Anwendbarkeit der hier vorgestellten und der weiteren (vgl. [2]) Modelle ist in hohem Maße gegeben.

Zusammenfassung

Die bei der Entwicklung neuer Messinge vorgestellte Herangehensweise zeigt die Vorteile der Nutzung einer statistischen Versuchsplanungs- und Auswertungssoftware (Modde 7®) auf. Die Minimierung der notwendigen Versuchsanzahl bei gleichzeitiger Maximierung des Informationsgehaltes und die hohe Flexibilität der gewählten „D-optimalen" Matrix münden in einer raschen Umsetzung des gesteckten Zieles – die Erstellung anwendbarer empirischer Modelle zur Vorhersage der Werkstoffcharakteristiken.

Für die Modellierung der „Vergießbarkeit" und der „Lunkerneigung" mussten Analysenmethoden weiterentwickelt bzw. auf die Gegebenheiten (Messinglegierungen mit Anteilen von Si und Mn) abgestimmt werden.

Die aus der Forschungstätigkeit des Lehrstuhls für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben und der Metallschmelze Tattendorf GmbH hervorgegangenen empirischen Modelle für die Ermittlung der gießtechnologischen Eigenschaften (Vergießbarkeit und Lunkerneigung) erwiesen sich als in hohem Maße anwendbar.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) und dem Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ) für die finanzielle Unterstützung.

Literaturnachweis

[1] Hofer S., Angerer, T. & Antrekowitisch, H. (2015): Werkstoffentwicklung bleifreier Messinglegierungen (Teil 1/3) – METALL, 69. Jg., Heft 3, 82–86.

[2] Hofer S., Angerer, T. & Antrekowitisch, H. (2015): Werkstoffentwicklung bleifreier Messinglegierungen (Teil 2/3) – METALLl, 69. Jg., Heft 6, 240–244.

[3] www.versuchsmethoden.de/D-Optimal.htm (abgerufen am 23. August 2015).

[4] Software MODDE 7 (Version 7.0.0.1); Fa. Umetrics AB, Umeå, Schweden.

[5] ROLL F. (1960): Handbuch der Gießerei-Technik. 1. Band, 2. Teil-Werkstoffe II Stand und Probleme der Normung, Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, Deutschland.

[6] Hesse S. (1997): Gießerei-Lexikon. 17. Auflage, Verlag Schiele & Schön, Berlin.

[7] Tatur A. (1954): La Solidification Des Alliages Légers Étude de la Retaussure. Beitrag des „Centre Technique des Industries de la Fonderie" (Technisches Zentrum der Gießereiindustrien), Kongress für Aluminium.

[8] Triefenbach F. (2008): Design of Experiments: The D-Optimal Approach and Its Implementation As a Computer Algorithm, Bachelor Thesis, Umeå University-Department of Computing Science, Sweden.

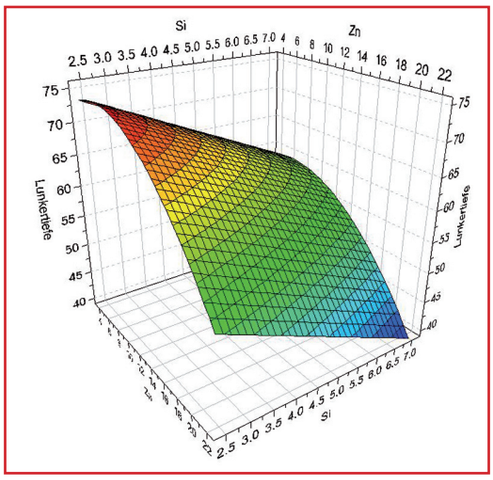

Bild 10: Grafische Darstellung des empirischen Modells zur Ausbildung des Lunkers als Funktion der Faktoren Zn und Si (Mn = 1,8 Gew.-%)

(1) Dipl.-Ing. Dr.mont. Thomas Angerer, BSc, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Helmut Antrekowitsch, Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie / Montanuniversität Leoben / Österreich

(2) Dipl.-Ing. Sigurd Hofer, W. Grillo Handelsgesellschaft mbH, Metallschmelze Tattendorf GmbH, Tattendorf / Österreich

Kupfer löst Überhitzungsproblem von ultrahellen LEDs

Eine Lösung zur effektiven Kühlung von ultrahellen LEDs wurde kürzlich von ESCATEC vorgestellt. Hierbei werden die LEDs auf ein Kupfersubstrat gelötet, das die Hitze, die durch die LEDs erzeugt wird, zehnmal schneller abführt als derzeitige Lösungen. Mit dem Heat Spreader Design können LEDs mit einer Leistungsdichte von bis zu 10 W/mm² passiv gekühlt werden. „Wärmeabfuhr ist immer eine Herausforderung bei LEDs. Aufgrund ihrer kompakten Größe können sie dicht aneinander platziert werden, um eine leistungsstarke Lichtquelle zu erzeugen. Gleichzeitig wird hierdurch aber eine hochkonzentrierte Hitzequelle konstruiert", erklärt Wolfgang Plank, Manager des FutureLabs. „Unsere neue Heat Spreader-Lösung eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten von Hochleistungs-LEDs von etwa 1.000 W, beispielsweise im Bereich der Bühnen- und Architekturbeleuchtung." Die Lösung kann auf viele Faktoren des Lichts individuell angepasst werden.