

Giesserei Rundschau



FUNKTIONELLE
SPEISER-SYSTEME
 ZU IHREM VORTEIL

DUPLO-Speiser DX

- Beheizter Speiserhals
- Definiertes Speiservolumen
- Fluorgehalt < 0,3%
- Einfache Aufformtechnik



GTP SCHÄFER
 GIESSTECHNISCHE PRODUKTE GMBH

Benzstraße 15
 D - 41515 Grevenbroich
 Telefon 0 21 81 / 23 39 40
 Telefax 0 21 81 / 6 44 54
 www.gtp-schaefer.de

GTP

AAG
 AUSTRIA ALU-GUSS
Ein Unternehmen der Borbet-Gruppe

Wir sind für die schönen Dinge im Leben!

BORBET
 Borbet Group

www.aluguss.com

Austria Alu-Guss-Gesellschaft m.b.H. • A-5282 Ranshofen
 Telefon +43(0)7722 - 8 74 26 • E-mail aagbox@aluguss.com

**Redaktionsschluss für Ausgabe Nr. 11/12
 der Gießerei Rundschau zum Thema
 „Rapid Prototyping“
 ist der 16. November 2006!**

+GF+

**GEORG FISCHER
 AUTOMOTIVE**

MOBILITY – Wir machen
 Ihre Fahrt angenehm und sicher

Georg Fischer GmbH & Co KG
 8934 Altenmarkt / Österreich
www.automotive.georgfischer.com



Impressum

Medieninhaber und Verleger:
VERLAG LORENZ

A-1010 Wien, Ebendorferstraße 10
Telefon: +43 (0)1 405 66 95
Fax: +43 (0)1 406 86 93
e-mail: giesserei@verlag-lorenz.at
Internet: www.verlag-lorenz.at

Herausgeber:
Verein Österreichischer Gießereifachleute, Wien, Fachverband der Gießereiindustrie, Wien
Österreichisches Gießerei-Institut des Vereins für praktische Gießereiforschung u. Lehrstuhl für Gießereikunde an der Montanuniversität, beide Leoben

Chefredakteur:
Bergrat h.c. Dir.i.R.,
Dipl.-Ing. Erich Nechtelberger
Tel. u. Fax +43 (0)1 440 49 63
e-mail: nechtelberger@voeg.at

Redaktionelle Mitarbeit und
Anzeigenleitung:
Irene Esch +43 (0)1 405 66 95-13
oder 0676 706 75 39
e-mail: giesserei@verlag-lorenz.at

Redaktionsbeirat:
Dipl.-Ing. Werner Bauer
Dipl.-Ing. Alfred Buberl
Univ.-Professor
Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek
Dipl.-Ing. Dr. mont. Hansjörg Dichtl
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Döpp
Univ.-Professor Dipl.-Ing.
Dr. techn. Wilfried Eichlseder
Dipl.-Ing. Dr. mont. Roland Hummer
Dipl.-Ing. Dr. techn. Erhard Kaschnitz
Dipl.-Ing. Adolf Kerbl
Dipl.-Ing. Gerhard Schindelbacher
Univ.-Professor
Dr.-Ing. Peter Schumacher

Abonnementverwaltung:
Silvia Baar +43 (0)1 405 66 95-15

Jahresabonnement:
Inland: € 57,60 Ausland: € 71,50
Das Abonnement ist jeweils einen Monat vor Jahresende kündbar, sonst gilt die Bestellung für das folgende Jahr weiter.

Bankverbindung:
Bank Austria BLZ 12000
Konto-Nummer 601 504 400

Erscheinungsweise: 6x jährlich

Druck:
Druckerei Robitschek & Co. Ges.m.b.H.
A-1050 Wien, Schlossgasse 10-12
Tel. +43 (0)1 545 33 11,
e-mail: druckerei@robitschek.at

Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlages gestattet. Unverlangt eingesandte Manuskripte und Bilder werden nicht zurückgeschickt. Angaben und Mitteilungen, welche von Firmen stammen, unterliegen nicht der Verantwortlichkeit der Redaktion.



Giesserei Rundschau

Organ des Vereines Österreichischer Gießereifachleute und des Fachverbandes der Gießereiindustrie, Wien, sowie des Österreichischen Gießerei-Institutes und des Lehrstuhles für Gießereikunde an der Montanuniversität, beide Leoben.

INHALT

Die Tiroler Röhren- und Metallwerke AG gehört zu den europäischen Spitzenreitern in der Erzeugung und Verarbeitung von duktilem Guss. TRM-Erzeugnisse in Form von Rohrsystemen für die kommunale Wasserver- und Abwasserentsorgung, Beschneiungsanlagen, Turbinenleitungen, Brandschutzleitungen, Hausentwässerung sowie Duktile Ramm-pfähle finden weltweit ihren Einsatz..

Die Guss Komponenten GmbH ist ein international anerkannter Spezialist für Sphäroguss. Namhafte Unternehmen der europäischen Nutzfahrzeug- und Baumaschinenindustrie vertrauen auf die hochwertigen Rohgussteile, bearbeitete Komponenten sowie fertig assemblierte Bauteile, die in Hall gegossen werden.



BEITRÄGE

170

– **Magnesium als Leichtbauwerkstoff**

– **Optimierte Druckgusslegierung AlSi9Cu3(Fe)**

– **Der Dieselmotor – über 100jährige Entwicklung**

– **Neue anorganische Formstoffbinder auf dem Weg zur Serienreife**

INTERNATIONALE ORGANISATIONEN

194

WFO Technisches Forum 2007
Wirtschaftliche Situation der CAEF-Mitgliedsländer

GLOBALE TRENDS

199

Weltweite Gussproduktion bis 2008
Guss-Importe in die USA

TAGUNGEN/ SEMINARE/MESSEN

209

Rückblick DGT-Bremen, Teil 2
Rückblick auf die Fond-Ex Bmo
Veranstaltungskalender

VÖG-VEREINS- NACHRICHTEN

211

Mitgliederbewegung
Personalia

LITERATUR

212

Bücher und Medien

Magnesium als Leichtbauwerkstoff – Eigenschaften, Anwendungen, Entwicklungspotential*)

Magnesium for Light Weight Applications – Properties, Applications, Potential for the Future



Dr.-Ing. Vyacheslav Goryany, geboren 1956, studierte von 1973 bis 1978 am Institut für Metallurgie in Dnepropetrowsk (Ukraine). Danach war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an diesem Institut tätig und promovierte 1987 am Institut für Maschinenbau, Zaporoschje (Ukraine) und 1991 an der Universität Sarajevo (Jugoslawien) für das Fach Werkstoffkunde. 1993 habilitierte er sich an der Ukrainischen Staatlichen Akademie für Metallurgie. Seit 2002 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Materialtechnik der Universität Duisburg-Essen tätig.

Prof. Dr.-Ing. Paul Josef Mauk, geboren 1951, studierte von 1973 bis 1978 Metallphysik und Umformtechnik an der RWTH Aachen. Danach war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bildsame Formgebung (IBF) der RWTH tätig. Promotion 1981 am IBF in Umformtechnik. Von 1981 bis 1997 Industrietätigkeit für SMS Schloemann-Siemag AG, Düsseldorf, in verschiedenen leitenden Funktionen für Kalibrierung, Technologie sowie Draht- und Feinstahlwalzwerke im Geschäftsbereich Profilwalzwerke bei SMS. Seit Februar 1997 Professor für Umformtechnik an der Universität Duisburg-Essen und Leiter des Instituts für Angewandte Materialtechnik (IAM).

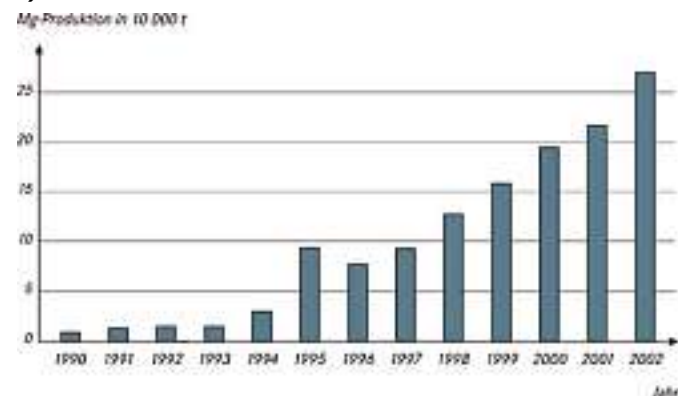


Dr.-Ing. Olga Myronova, geboren 1957. 1975 bis 1980 Studium am Lehrstuhl für Metallkunde und Wärmebehandlung von Stählen sowie NE-Metallen am Institut für Metallurgie, Dnepropetrowsk, Ukraine. 1988 Promotion im Fachbereich Metallkunde und Wärmebehandlung des Instituts für Metallurgie, Dnepropetrowsk. Danach Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Metallurgie. Seit Mai 2003 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Angewandte Materialtechnik (IAM), Universität Duisburg-Essen.



Magnesium-Instrumententafelträger des Rolls-Royces Phantom, Rohteil im Druckgusswerkzeug (BMW Group, Werk Landshut)

a)



b)

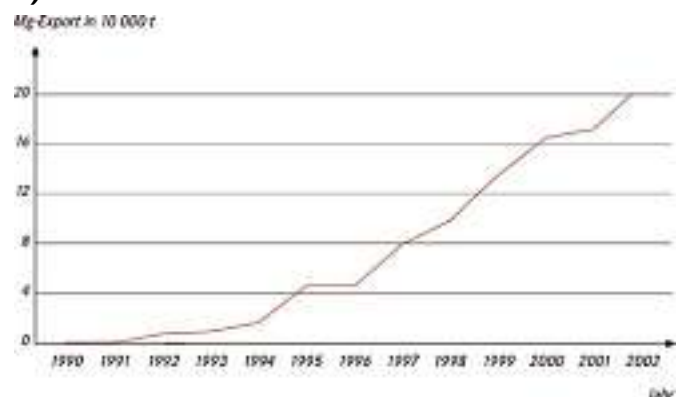


Bild 1: Von China produzierte (a) und exportierte (b) Mengen an Rohmagnesium im Zeitraum von 1990 bis 2002 [1]

Im letzten Jahrzehnt hat das Interesse an der Entwicklung und am Einsatz von Magnesiumlegierungen außerordentlich zugenommen.

Bild 1 zeigt eine Übersicht über die von China produzierten und exportierten Mengen an Rohmagnesium im Zeitraum von 1990 bis 2002. Im Jahre 2002 wurden bis zu 209.200 t exportiert. Dies ist 4,5-mal mehr als im Jahr 1995 und 35-mal mehr als im Jahr 1992 [1]. Bis 2004 wurde der Magnesium-Export weiter bis auf 438.000 t gesteigert, das entspricht 50 % des weltweit ausgeführten Magnesiums [2] (**Bild 2**). China ist damit der weltgrößte Magnesiumexporteur vor West Europa mit 34,49 %, Japan mit 16,05 % und den USA mit 14,54 % [1].

Das große Interesse an diesem Werkstoff liegt in den hervorragenden Eigenschaftskombinationen begründet: Mit einem geringen spezifischen Gewicht von $1,74 \text{ g/cm}^3$ [3]) ist Magnesium um 33 % leichter als Aluminium. Es zeigt eine hohe spezifische Festigkeit (Verhältnis von Festigkeit/Dichte) [5, 6], eine gute Wärmeleitfähigkeit und hat einen Elastizitätsmodul von ca. 45 GPa [7-9]. Im Vergleich zu Aluminiumlegierungen zeigen Magnesiumlegierungen fast die gleiche Duktilität, Streckgrenze, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit sowie Widerstandsfähigkeit gegen Einbeulen. Gegenüber anderen Werkstoffen bietet Magnesium drei wichtige Vorteile: Leichtbaupotential, unbegrenzte Verfügbarkeit und gute Wiederverwertbarkeit [10].

*) Hochreines Magnesium (99,9-99,99 %) bei 20 °C: Dichte im Gusszustand $1,737 \text{ kg/dm}^3$; nach einer Umformung $1,7388 \text{ kg/dm}^3$; flüssiges Magnesium (bei der Schmelztemperatur von $650 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$) $1,572 \text{ bis } 1,600 \text{ kg/dm}^3$ [4].

*) Mit Zustimmung der Autoren und der Redaktion erfolgter Nachdruck aus Giesserei 93(2006) Heft4, S. 15/24.

Mg-Importe aus China 10 000 t

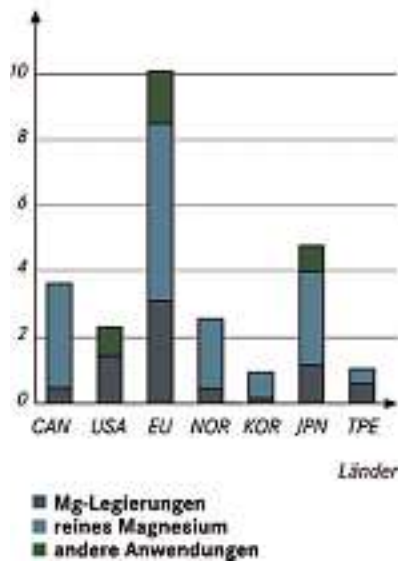


Bild 2: Magnesiumlieferungen aus China im Jahr 2004 [2]

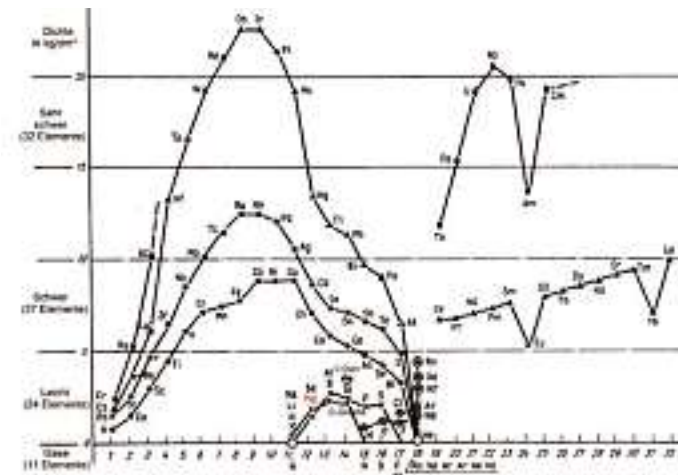


Bild 3: Einteilung der Elemente nach ihrer Dichte [14]

Die attraktivste Eigenschaft der Magnesiumlegierungen ist die geringe Dichte (Bild 3) bei gleichzeitig hoher spezifischer Steifigkeit und Festigkeit [11-13] (Bild 4, Tabelle 1).

Der bedeutendste Wachstumsmarkt für Magnesium liegt im Bereich der Gießereitechnik (Bild 5).

Magnesiumlegierungen zeichnen sich auch durch gute technologische Eigenschaften aus. Die wichtigsten Argumente für deren verstärkten

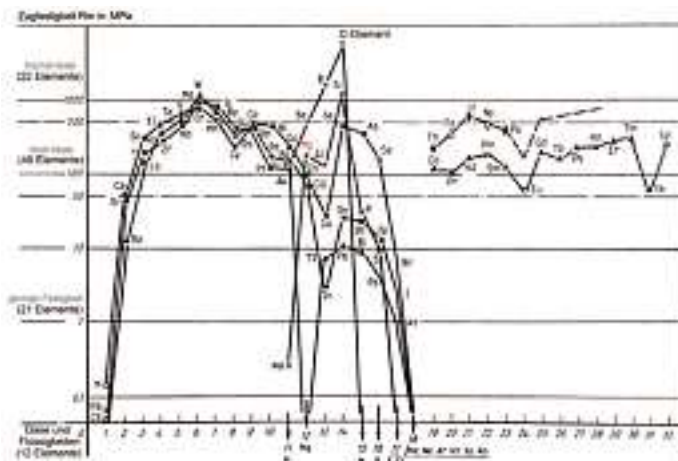
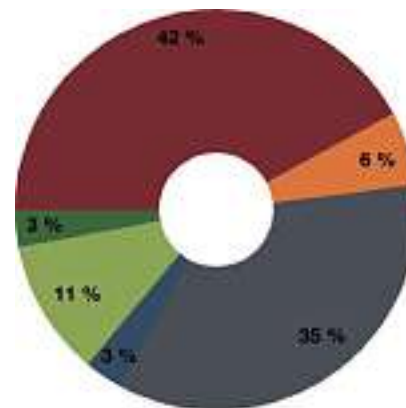


Bild 4: Einteilung der Elemente nach ihrer Zugfestigkeit [14]

Eigenschaft	Temperatur in °C	Magnesiumlegierung						
		AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Dichte in g/cm³	20	1,81	1,80	1,77	1,75	1,77	1,76	1,79
Liquidustemperatur in °C		598	615	620	638	617	632	625
Anschmelztemperatur in °C		420-435	420-435	420-435	420-435	(420-435)	(420-435)	(590)
Wärmeausdehnungskoeffizient in $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$	20-100	26,0	26,0	26,0	26,0	26,1	26,1	26,1
Schmelzwärme in kJ/kg		370	370	370	370	370	370	370
Spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg·K)	20	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)	20	51	61	65	94	68	84	84
Elektrische Leitfähigkeit in MS/m	20	6,6	n. b.	9,1	13,1	n. b.	10,8	11,7

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften von Magnesiumdruckgusslegierungen [18]



■ Als Legierungszusatz bei Aluminium
 ■ Andere Anwendungsgebiete
 ■ Mg-Druckguss-Legierungen
 ■ Für elektrochemische Prozesse
 ■ Zur Entschweifung
 ■ Als Modifikator bei Gusseisen mit Kugelfestigkeit

Bild 5: Primär-Magnesiumbedarf – Weltmarkt-anteile [11]

sind die exzellenten Dämpfungseigenschaften [5, 11, 19], die zur Verbesserung des Vibrationsverhaltens und damit zur Geräuschminderung führen, sowie die ausgezeichnete mechanische Bearbeitbarkeit [5] (leichte Zerspanbarkeit [15] und höhere Werkzeugstand-

Einsatz sind neben der Gewichtseinsparung (bis zu 10 % nach [10]) die niedrige Schmelztemperatur (Bild 6) und die gute Gießbarkeit [5, 15]. Magnesiumlegierungen haben ein besseres Fließverhalten als Aluminium- und Zinklegierungen [15, 16]. Dadurch wird es möglich, neben großen Druckguss-Komponenten (z. B. Instrumententafelträgern) auch großflächige und sehr dünnwandige komplexe Bauteile mit engen maßlichen Toleranzen und langer Formstandzeit herzustellen [11, 15, 17]. Weitere Vorteile von Magnesiumlegierungen

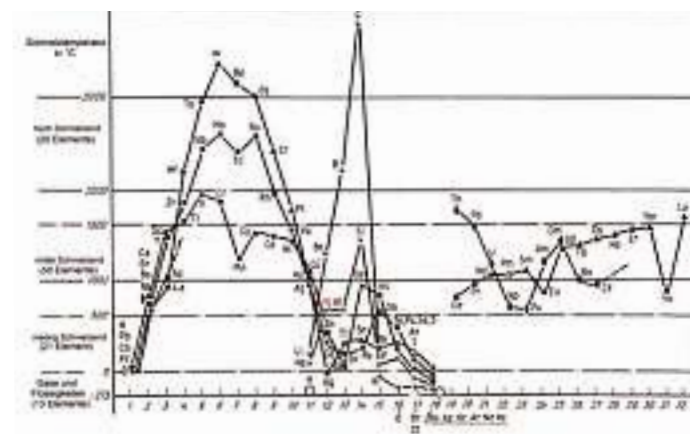


Bild 6: Einteilung der Elemente nach ihrer Schmelztemperatur [14]

zeiten [11]), eine gute Maßbeständigkeit [5] und Oberflächenqualität sowie sehr gute Recyclbarkeit [11, 16, 21-26].

Der Anteil an Kreislaufmaterial und anderen magnesiumhaltigen Produktionsabfällen beträgt beim Druckgießen von Magnesiumlegierungen rd. 50 % des eingesetzten Blockmaterials. Größere Druckgießereien neigen dazu, ihr Kreislaufmaterial selbst einzuschmelzen, während die anderen Reststoffe von Spezialfirmen verarbeitet werden [20]. 1 t vollwertiges Magnesium-Gussmaterial lässt sich aus 1,05 t Magnesium-Schrott der Güteklasse I gewinnen, dabei benötigt man nur einen geringen Bruchteil jener Energiemenge, die zur Primärherstellung aufzuwenden wäre [26-27] (Bild 7). Bei der Verarbeitung von Magnesiumlegierungen kann der Energiekostengewinn bis zu 95 % betragen. Dies spielt für die Umwelt eine große Rolle und verspricht erhebliche Kostensenkungen durch fortschrittliche Gießtechnologien. Das Druckguss-Kreislaufmaterial ist dem Hüttenmetall gleichwertig [23, 25, 29]. Die Anwendung von Magnesiumwerkstoffen ist ökologisch voll gerechtfertigt [26].

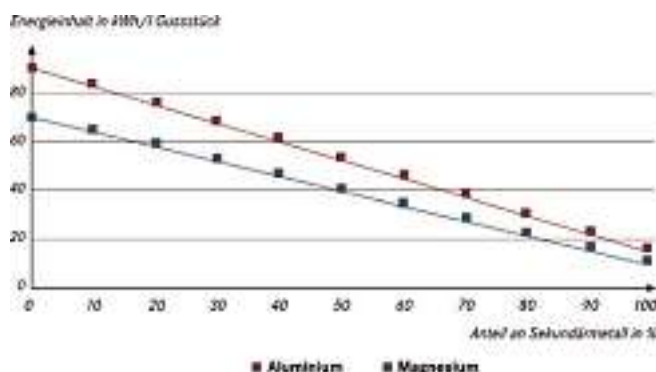


Bild 7: Energieinhalte von Druckgussteilen aus Aluminium und Magnesium in Abhängigkeit vom Anteil an Primär- bzw. Sekundärmetall [26]

Magnesiumlegierungen im Automobilbau

Magnesiumlegierungen sind die leichtesten nutzbaren Werkstoffe, die für die Anwendung in der Verkehrstechnik, insbesondere im Automobilbau, von großer Bedeutung sind [11, 19, 26-39] und immer wichtiger werden [10, 11, 26, 33, 35-38, 40-45]. Bei einer Zahl von 55 Mio. PKW pro Jahr weltweit besitzt das Magnesium ein riesiges Wachstumspotential [11, 26] (Bild 8).

Bei der Betrachtung der wichtigsten automobilproduzierenden Länder wurde festge-

stellt [47], dass die USA in der Magnesiumanwendung mit großem Abstand führend sind. In Europa zeigt sich diesbezüglich ein leichter Trend nach oben, während in Japan noch keine einheitliche Tendenz erkennbar ist [44].

Während die Automobilindustrie in Europa (vor allem in Deutschland) eindeutig die treibende Kraft für den derzeitigen Aufschwung des Magnesiums darstellt, ist es im asiatischen Raum die Elektronikindustrie [48].

Infolge ihrer Eigenschaften können Magnesiumwerkstoffe im Automobilbau einige Komponenten aus Aluminium, Stahl und Kunststoff ersetzen [5, 7, 11, 17, 19, 27, 49, 50] und ein deutliches Gewichtseinsparungspotential aufzeigen [11, 16, 17, 51]. Bei einer etwa 10 %igen Reduzierung der Fahrzeugmasse kann ein um 0,3 bis 0,5 l/100 km verminderter Treibstoffverbrauch erreicht werden [8, 52].

Obwohl bereits in den Jahren 1927 bis 1930 von den Adler Werken, Frankfurt, in einem Achtzylinder-PKW nahezu 73,8 kg [53] (86,8 kg nach [41]) Magnesiumlegierungen eingesetzt wurden und auch für die VW-Käfer fast 40.000 t pro Jahr verarbeitet wurden, gehören sie heute zu den Werkstoffen, die im Automobilbau neu sind [54]. Der Anteil an Magnesiumlegierungen könnte in einem durchschnittlichen Automobil nach [55] noch auf 40 kg bzw. nach [56] auf 50 bis 80 kg steigen.

Beim Ford Mondeo könnten Stahl- und Aluminiumbauteile durch Magnesiumwerkstoffe substituiert werden. Das Gewicht der Magnesiumwerkstoffe könnte dadurch von 2,6 kg auf über 103 kg pro Fahrzeug steigen [57]. In modernen Automobilen gibt es über 20 verschiedene Komponenten, die aus Magnesiumlegierungen hergestellt werden können. Tabelle 2 zeigt zusammenfassend das Potential für den Einsatz von Magnesiumlegierungen und die entsprechenden Gewichtseinsparungen für verschiedene Baugruppen des 3-Liter-Autos.

Nach [58] wird bis zum Jahre 2005 ein Wachstum des gegenwärtigen Anteils an Magnesiumlegierungen im Automobil um 20 % und

Baugruppe	Ersatzpotential in kg	Ausgangsgewicht in kg	Gewichtseinsparung durch Magnesium	
			in kg	in %
Karosserie	12,8	5,4	7,2	41
Innenausstattung	31,2	21,0	10,2	42
Antriebsstrang	55,2	36,2	19,1	39
Motor	33,5	22,2	11,3	33
Federung	62,2	25,9	36,2	52
Bremssystem	3,9	1,8	2,1	55
Halterungen und Träger	14,5	7,2	7,3	53
Lenksystem	5,6	3,9	1,7	38
Elektrisches System	3,2	1,8	1,4	42
Summe	188,6	103,2	85,2	44

Tabelle 2: Potentielle Einsatzmöglichkeiten von Magnesiumlegierung in den verschiedenen Baugruppen des 3-Liter-Autos (Projekt PNGV 2000: Partnership for a new generation of vehicles [57])

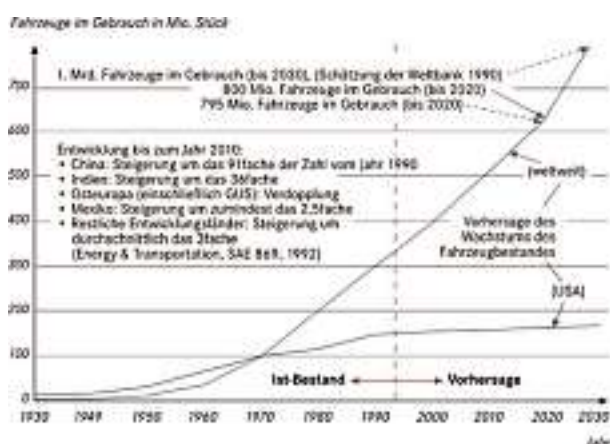


Bild 8: Vorhersage für das Wachstum des Fahrzeugbestandes [46]

bis zum Jahre 2010 um weitere 30 % erwartet. Bis zum Jahre 2020 wollen einige Automobilhersteller bis 100 kg Magnesiumlegierungen in ihren Produkten einsetzen (1999: ca. 1 kg [59], 2000: im Schnitt ca. 3 kg) [7]. Einige Automobilhersteller, wie Volkswagen, General Motors und Ford, haben längerfristige und kostengünstige Lieferverträge mit den Magnesium-Produzenten abgeschlossen, um die Versorgungssicherheit zu garantieren [11, 24]. Volkswagen ist ein Joint Venture mit Dead Sea Works in Israel eingegangen [24].

Außer zur Gewichtsverminderung führt der Einsatz von Magnesiumlegierungen im Automobilbau auch zu einer höheren Steifigkeit und vermindert die Vibrationen [60].

Eine Instrumententafel aus der Magnesiumlegierung AM60 erfüllt alle Anforderungen an die passive Sicherheit bei einem, im Vergleich zu einer Stahl-Kunststoff-Konstruktion oder einem ähnlichen Aluminium-Druckgussteil, geringeren Gewicht [17].

Druckgussteile aus Magnesiumlegierungen werden hauptsächlich in der Innenausstattung von Fahrzeugen, wie z. B. für Lenkräder, Lenkrad-Gehäuse, Instrumententräger, Sitzrahmen, Pedalhalterungen, Ölpumpengelenke, Abdeckungen sowie für Ventil-, Luftfilter- und Zündsystemgehäuse, eingesetzt [11, 12, 17, 24, 26, 31, 32, 45, 49, 55, 60-64].

Bild 9 zeigt den weltweit kontinuierlich steigenden Bedarf an Magnesiumdruckgussteilen.

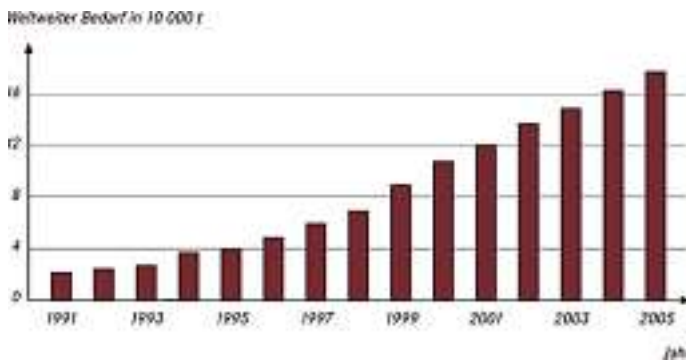


Bild 9: Bedarf an Magnesiumdruckgussteilen weltweit (Hydro Magnesium, Brüssel) [48]

Deutliche Gewichtseinsparungen zeigen sich vor allem bei der Umstellung von massiven Teilen auf Magnesiumlegierungen [22, 51], so z. B. bei Getriebegehäusen [5, 11, 17, 31, 41, 45, 49], Motorkomponenten (Motorblöcke, Zylinderkopfabdeckungen [11, 41, 45, 49, 61, 62]) oder Ölwanne. Da diese Bauteile bei höheren Temperaturen verwendet werden, sind hier kriechbeständigere Legierungen erforderlich (insbesondere bei Dieselmotoren mit hohen Zünddrücken [65] [22, 31, 51, 65]. Bei der Auswahl solcher Legierungen muss der bestmögliche Kompromiss zwischen Verarbeitbarkeit im Herstellungsverfahren und Gebrauchseigenschaften (hohe Festigkeit, gute Hochtemperatureigenschaften (Kriechbeständigkeit), Wärmeleitfähigkeit, Duktilität und Elastizität bei hoher Thermoschockbeständigkeit, geringer Warmrissanfälligkeit [65]) einerseits und den nicht kostensteigernden Herstellungsparametern (Material- und Prozesskosten) für entsprechende Einsatzfälle andererseits eingegangen werden [66]. Beispiele für solche Kompromisse stellen die konventionellen Magnesiumlegierungen dar, welche alle gewisse Vor- und Nachteile aufweisen [52]:

- AZ91: exzellente Festigkeit, sehr gute Gießbarkeit, schlechte Hochtemperatureigenschaften;
- AE42: exzellente Hochtemperatureigenschaften, gutes Korrosionsverhalten, mäßige Festigkeit, eingeschränkte Gießbarkeit und mäßiges Handling, höhere Kosten;
- AS21: exzellente Hochtemperatureigenschaften, geringe Festigkeit, schlechte Gießbarkeit.

Die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften kann durch entsprechende technologische Verfahren, durch Legierungsentwicklung, Kurzfaserver- oder Partikelverstärkung und rasche Erstarrung erreicht werden [67, 68]. Da der grundsätzliche Vorteil der Magnesiumlegierungen im Vergleich zu Aluminiumlegierungen das niedrigere Gewicht ist, sollen die Legierungselemente das Gewicht der Magnesiumlegierung nicht erhöhen.

Magnesiumlegierungen in der Elektrotechnik

Dank seiner günstigen Eigenschaften (geringes Gewicht, hohe Steifigkeit, hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit sowie gute Abschirmwirkung elektromagnetischer Felder usw.) [11, 9, 44] kommt Magnesium neben der Fahrzeugindustrie in zunehmendem Maße auch in einer Reihe anderer Bereiche zum Einsatz, vor allem in Elektrotechnik (Bild 10).

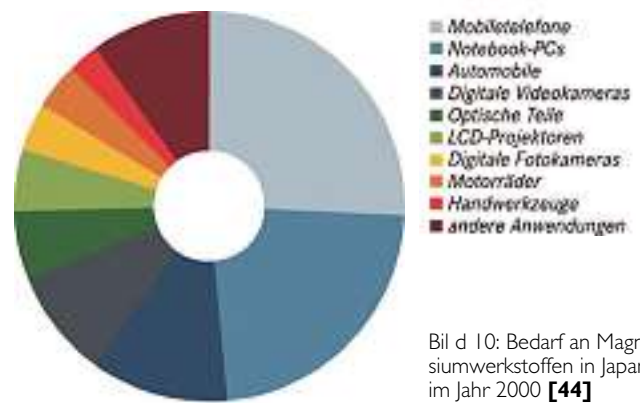


Bild 10: Bedarf an Magnesiumwerkstoffen in Japan im Jahr 2000 [44]

Im Jahre 2000 wurde die Hälfte der verfügbaren Magnesiummenge (Bedarf, Nachfrage) (Gesamtverkaufswert von 55 Mrd. US\$) für die Herstellung von Notebook-Computergehäusen und Mobiltelefonen verwendet. Prognosen sehen einen steilen Anstieg des Magnesiumverbrauchs im Bereich der Computer-, Elektro- und Kommunikationsindustrie, die naturgemäß an besonders dünnwandigen Bauteilen interessiert ist. Neben Mobiltelefonen und Notebook-Computern sind solche Bauteile auch in vielen anderen Geräten moderner Gebrauchselektronik, beispielsweise in Fotoapparaten, Videokameras, tragbaren Audiogeräten, Fotokopierern u. ä., zu finden [11, 22, 24, 44, 69, 70].

Die Bauteile aus Magnesiumlegierungen sind bei gleichen Festigkeitsanforderungen mit geringeren Wanddicken herstellbar als Kunststoffteile und es können selbstschneidende Befestigungselemente verwendet werden. Bei Thixomolding-Verfahren kann die durchschnittliche Wanddicke des Bauteils bis auf 0,6 bis 0,7 mm (in einigen Fällen bis auf 0,4 mm) reduziert werden – und das bei einer im Vergleich zum Druckgießverfahren hohen Abmessungsgenauigkeit (Ausmaßgenauigkeit) [44]. Bei den aus Magnesium gefertigten Bauteilen können preiswertere Gewindeeinsätze verwendet werden [71].

In **Tabelle 3** sind einige wichtige mechanische Eigenschaften von Magnesiumdruckgusslegierungen denen der Kunststoffe gegenübergestellt.

Zusammenfassung

Dank seiner hervorragenden Eigenschaftskombinationen haben das Magnesium und seine Legierungen einen wichtigen Platz in der Reihe der Konstruktionswerkstoffe für die Anwendung in der Verkehrstechnik und Elektronik eingenommen und führen zu wesentlichen Kosten- und Gewichtsreduzierungen.

Eine weitere Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, die derzeit noch eine Hochtemperaturanwendung dieser Legierungsgruppe

Eigenschaft	Magnesiumdruckgusslegierung AZ91D	Kunststoff			
		ABS	PA 30 % Glas	BTP 30 % Glas	PETB 30 % Glas
Dehnung in %	3,0	16,5	6,0	3,0	4,5
Streckgrenze in N/mm ²	159	39	172	117	152
Zugfestigkeit in N/mm ²	234	43	193	172	193
E-Modul in kN/mm ²	44,8	5,5	9,0	10,3	8,3
Dichte in g/cm ³	1,81	1,07	1,38	1,72	1,61
Wasseraufnahme in % (24 h, 3 mm Wanddicke)	0	0,33	0,70	0,07	0,05
Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)	71,2	0,28	0,33	0,29	0,28
Schmelzpunkt in °C	593	345	393	345	345
Thermischer Ausdehnungskoeffizient in 10 ⁻⁶ /K	26,0	76,5	34,5	25,0	27,0
Verhältnis Streckgrenze/Dichte	100	43	143	78	108
Verhältnis Steifigkeit/Dichte	100	7,8	26	24	21

Tabelle 3: Wichtige Eigenschaften von Magnesiumdruckgusslegierungen im Vergleich zu Kunststoffen [71]

begrenzt und durch technologische Verfahren, Legierungsentwicklung, Kurzfaserver- oder Partikelverstärkung realisierbar ist, kann zu einem weiteren erheblichen Wachstumspotential führen.

Die dargestellten Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes „Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts“ (Projekträger Forschungszentrum Jülich NMT) vom Deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Literatur

- [1] Metall 57 (2003) Nr. 12, S. 785-788.
- [2] Webb, D.: Magnesium Supply & Demand. In: 62nd Annual World Magnesium Conference. 22.-24. Mai 2005, Berlin.
- [3] Livsic, B. G.; Kraposin, W. S.; Linekij, J. L.: Physikalische Eigenschaften der Metalle und Legierungen. Hrsg. Livsic, B. G. 2. Aufl. Verlag Metallurgija, Moskau, 1980.
- [4] Dritz, M. E.; Budberg, P. B.; Burkhanov, G. S., u. a.: Eigenschaften der Elemente. Hrsg. Dritz, M. E. Verlag Metallurgija, Moskau, 1985.
- [5] Giesserei-Praxis (1986) Nr. 7/8, S. 100-103.
- [6] Efimov, V. A.; Anisovic, G. A.; Babic, V. N., u. a.: Sondergießverfahren. Hrsg. Efimov, V. A. Verlag Masinstroenie, Moskau, 1991.
- [7] Beffort, O.; Hausmann, C.: Magnesium – das Leichtmetall des 21. Jahrhunderts. EMPA, Feb. 2000.
- [8] Metall 56 (2002) Nr. 1-2, S. 40-48.
- [9] McDonald, B.: Wrought magnesium review: Properties and selection criteria for lightweight applications. In: 59th Annual World Magnesium Conference. Montreal, Kanada, 19.-21. Mai 2002. Proceedings. S. 11-14.
- [10] Aluminium 69 (1993) Nr. 9, S. 801-802.
- [11] Giesserei-Rundschau 50 (2003) Nr. 3/4, S. 54-62.
- [12] Light Metal Age 50 (1992) Nr. 1/2, S. 28-32.
- [13] Tyler, P. S.: In: 48th Annual World Magnesium Conference. Quebec, Kanada, 1991. Proceedings, McLean, USA, 1991. S. 9-14.
- [14] Guljaev, B. B.: Synthese der Legierungen (Grundprinzipien. Auswahl der Komponenten). Verlag Metallurgija, Moskau, 1984.
- [15] Foundry Trade Journal International 15 (1992) Nr. 1, S. 14, 16, 18.
- [16] Fink, R.; Erhard, N.: Magnesiumverarbeitung – Vergleich Druckgießverfahren und Thixomolding. 2. Internationaler Deutscher Druckgusstag 2002, Sindelfingen, 2.-5. März 2002. Vortrag 16. S. 1-13.
- [17] Giesserei-Praxis (1997) Nr. 9/10, S. 203-208.
- [18] Giesserei-Praxis (1996) Nr. 19/20, S. 398-403.
- [19] Galdin, N. M.; Cernega, D. M.; Ivancuk, D. F., u. a.: Gussstücke aus Nichteisenlegierungen. Verlag Masinstroenie, Moskau, 1989.
- [20] Giesserei-Praxis (1995) Nr. 15/16, S. 293.
- [21] Camahan, R. D.; Kilbert, L.; Pasternak, L.: Advances in Thixomolding. In: Proceedings of the 51. IMA Conference, Berlin 1994. McLean, USA 1994. S. 21-25.
- [22] Aluminium 76 (2000) Nr. 3, S. 194-197.
- [23] Giesserei-Praxis (1993) Nr. 13/14, S. 262-265.
- [24] KU Kunststoffe 89 (1999) Nr. 3, S. 34-38.
- [25] Pinfold, P. M. D.; Albright, D. L.; Karlsen, D. O.: Refined recycled high ductility magnesium alloys. In: 18th International Die Casting Congress and Exposition, 2.-5. Okt. 1995, Indianapolis, Indiana, USA. Vortrag T95-051. NADCA, 1995. S. 157-162.
- [26] Giesserei-Praxis (1996) Nr. 1/2, S. 24-31.
- [27] Sonsino, C. M.; Dieterich, K.; Wenk, L., u. a.: Fatigue design with cast magnesium alloys. In: Magnesium alloys and their applications. 26.-28. Sept. 2000, München. Wiley-VCH, Weinheim, 2000. Edited: Keiner, K. U. S. 304-311.
- [28] Pinfold, P.; Öymo, D.: An evaluation of refined recycled AZ91 D alloy. Paper 930420, SAE SP-962 (Magnesium properties and applications for automobiles), Feb. 1993.
- [29] Giesserei 91 (2004) Nr. 8, S. 80-82.
- [30] Giesserei-Praxis (1997) Nr. 19/20, S. 430-433.
- [31] Giesserei-Praxis (1997) Nr. 3/4, S. 78-81.
- [32] Foley, P. T.; Gilbert, K.: Magnesium as a structural metal: Can the dream come true? In: 49th World Magnesium Conference, 12.-15. Mai 1992, Chicago, IL, USA. S. 7-16.
- [33] Advanced Materials & Processes 145 (1994) Nr. 6, S. 28-32.
- [34] Journal of Materials Science 29 (1994) Nr. 20, S. 5259-5271.
- [35] JOM – The Journal of the Minerals, Metals and Materials Society 54 (2002) Nr. 8, S. 42-48.
- [36] Luo, A.; Shinoda, T.: Development of a creep-resistant magnesium alloy for die casting applications. In: Magnesium alloys and their applications. 28.-30. Apr. 1998, Wolfsburg. Werkstoffinformationsgesellschaft, Frankfurt, 1998. Edited: Mordike, B. L.; Keiner, K. U. S. 151-156.
- [37] Fritze, C.: Faserverstärkte Magnesium-Verbundwerkstoffe. In: Magnesium – Eigenschaften, Anwendungen, Potentiale. Hrsg. Keiner, K. U. Wiley-VCH, Weinheim, 2000. S. 198-211.
- [38] Nikulin, L. V.; Lipcin, T. N.; Zaslavskij, M. L.: Druckgießen von Magnesiumlegierungen. Verlag Masinstroenie, Moskau, 1978.
- [39] Druckguss-Praxis 2 (2003) Nr. 2 (Special), S. 19-20.
- [40] Giesserei-Praxis (1997) Nr. 23/24, S. 513-518.
- [41] Automobil Industrie (1994) Nr. 4, S. 70-72.
- [42] Edgar, R. L.: The magnesium industry – past, present and future. IMA, 60th Annual World Magnesium Conference, 11.-12. Mai 2003, Stuttgart. Proceedings, Washington, International Magnesium Assoc., 2003. S. 1-4.
- [43] Webb, D.: Magnesium supply and demand 2002. IMA, 60th Annual World Magnesium Conference, 11.-12. Mai 2003, Stuttgart. Proceedings, Washington, International Magnesium Assoc., 2003. S. 31-34.
- [44] Nakatsugawa, I.; Tsukeda, T.; Kitamura, K.: Latest developments in magnesium use for Thixomolding in Asia. In: 59th Annual World Magnesium Conference. Montreal, Kanada, 19.-21. Mai 2002. Proceedings. S. 11-14.
- [45] Fengler, M.: Anforderungen an Fahrzeugguss in der Zukunft. NEWCAST-Forum „Konstruieren mit Gusswerkstoffen“, Düsseldorf, 18.6.2003, Tagungsband. S. 67-72.
- [46] Riley, R. Q.: In: 14th Annual Report 1996, Queensland Metals Corp. Ltd.
- [47] Giesserei-Praxis (1995) Nr. 11/12, S. 206.
- [48] Aluminium 77 (2001) Nr. 1/2, S. 98-103.
- [49] Giesserei-Praxis (1995) Nr. 15/16, S. 291-292.
- [50] Hommes et Fonderie (2003) Nr. 335, S. 38.
- [51] Druckguss-Praxis (2004) Nr. 4, S. 115-121.
- [52] Von Buch, F.; Schumann, S.; Friedrich, H., u. a.: Neue Mg-Druckgusslegierungen MRI153 für Anwendungen im Antriebsstrang. In: 9. Magnesium Abnehmerseminar, 27.-28. Sept. 2001, Aalen. S. 1-41 bis 1-49.
- [53] Livarski Vestnik 49 (2002) Nr. 4, S. 170-183.
- [54] Angenendt, M.; Dworog, A.; Hartmann, D.: Einfluss der Prozessparameter auf die Bauteileigenschaften beim Magnesiumspritzgießen. Barbara-Tagung '98. Gerhard-Mercator-Universität Gesamthochschule Duisburg. Fachbereich Hüttentechnik-Gießereitechnik. Hrsg. Kaesemann, K. Duisburg, 1998. S. 210-213.
- [55] Ingenieur-Werkstoffe 4 (1992) Nr. 1/2, S. 60-61.
- [56] Metall 54 (2000) Nr. 4, S. 183.
- [57] Wie [30]. S. 437.
- [58] Aluminium Praxis (2001) Mai, S. 1-2.
- [59] Gießerei Jahrbuch 1999. Band 1. Hrsg. Verein Deutscher Giessereifachleute, Gießerei-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999.
- [60] Wie [30]. S. 437.
- [61] Wie [30]. S. 436-437.
- [62] Kobe Steel Engineering Reports, Research and Development 42 (1992) Nr. 1, S. 60-63.
- [63] Feikus, F. J.; Tillmann, S.: Magnesium als Leichtbauwerkstoff für Motorblöcke – Potential und Stand der Entwicklung. Karlsruher Arbeitsgespräche 2002, Forschung für die Produktion von Morgen, Tagungsband, Karlsruhe, 14.-15. März 2002. Wissenschaftliche Berichte. Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt 210 (2002), S. 197-204.
- [64] Potzinger, R.: Semi-solid Processing von Mg-Legierungen. In: Vom Werkstoff zum Bauteilsystem. Hrsg. Kaufmann, H.; Uggowitzer, P. J. LKR-Verlag, 2000.
- [65] Wappelhorst, M.; Fuchs, H.: Werkstoffentwicklung für Lichtmetall-Motorblöcke und Zylinderköpfe. NEWCAST-Forum „Konstruieren mit Gusswerkstoffen“, Düsseldorf, 18.6.2003, Tagungsband. S. 89-98.
- [66] Giesserei-Praxis (1993) Nr. 13/14, S. 263-264.
- [67] Luo, A.; Pekgyleryuz, M. O.: Development of cast magnesium matrix composites. 51. IMA Conference, Berlin, 17.-19. Mai 1994, McLean, USA, Proceedings. S. 74-81.
- [68] Fritze, C.; Berek, H.; Keiner, K. U., u. a.: Fibre reinforced magnesium for automotive applications. In: Magnesium Alloys and their Applications. 28.-30. April 1998, Wolfsburg. Werkstoffinformationsgesellschaft, Frankfurt, 1998. Edited: Mordike, B. L.; Keiner, K. U. S. 635-640.
- [69] Foundry Trade Journal 164 (1990) Sept., Nr. 3418, S. 634-635.
- [70] Giesserei-Erfahrungsaustausch (2003) Nr. 11-12, S. 505-511.
- [71] Giesserei-Praxis (1991) Nr. 4, S. 58-65.
- [72] Giesserei-Praxis (2005) Nr. 4, S. 147-155.
- [73] Druckguss-Praxis (2005) Nr. 2, S. 73-76.

Kontaktadresse: Institut für Angewandte Materialtechnik der Universität Duisburg-Essen, Standort Duisburg, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abt. Materialtechnik, Hausadresse: D-47119 Duisburg-Ruhrort, Friedrich-Ebert-Straße 12. Postadresse: D-47057 Duisburg, Forsthausweg 2. Tel.: +49 (0)203 379 3462, Fax: 3464, E-Mail: profmkaugmu@aol.com

Erhöhte mechanische Eigenschaften der Druckgusslegierung Al Si9Cu3(Fe) durch optimierte Ausscheidungsverteilung infolge Kombination von Kalt- und Warmauslagerung

Superior Mechanical Properties for High Pressure Die Casting Alloy Al Si9Cu3(Fe) by optimized Distribution of Precipitations as a Result of the Combination of natural and artificial Ageing



Dipl.-Ing. Thomas Pabel, nach der Maschinenbau-Ingenieurausbildung an der HTL in Kapfenberg Studium der Werkstoffwissenschaften an der Montanuniversität Leoben. Seit 2001 wissenschaftlicher Sachbearbeiter am Österreichischen Gießerei-Institut in Leoben: in der Abteilung Nichteisenguss als Schadensanalytiker, in der Werkstoffentwicklung und als Weiterbildungsbeauftragter.

Dipl.-Ing. Horst Rockenschaub, Absolvent der Montanuniversität Leoben, Fachgebiet Metallurgie, seit 1998 wissenschaftlicher Mitarbeiter am ÖGI. Heute Leiter der Versuchsgießerei des Institutes.



Dipl.-Ing. Georg Geier, studierte an der Montanuniversität Leoben Metallurgie mit den Schwerpunkten Gießereitechnik und Industriewirtschaft. Seit 2003 arbeitet er am Österreichischen Gießerei-Institut als wissenschaftlicher Mitarbeiter.

Dipl.-Ing. Michael Hopfinger, studierte an der Montanuniversität Leoben Gießereiwesen sowie Betriebs- u. Energiewirtschaft. Berufseinstieg bei der Vöcklabrucker Metallgießerei Dambauer, seit 2003 bei KTM Sportmotorcycles GmbH in Mattighofen, seit März 2006 Leiter Einkauf Motorenkomponenten.



unweigerlich zur Blisterbildung beim Lösungsglühen führt. Die gewünschte Festigkeitssteigerung von druckgegossenen Bauteilen erfolgt bei dieser Legierung im Allgemeinen über den Mechanismus der Selbstaushärtung durch längere Lagerung bei Raumtemperatur.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass die nachfolgenden Ergebnisse bzw. ableitenden Schlussfolgerungen ausschließlich für die untersuchte Legierung und damit für die in **Tabelle 1** angeführte chemische Zusammensetzung gelten. Dies ist insofern von Bedeutung, da in der Norm für die Legierung Al Si9Cu3(Fe) die maßgeblich zur Aushärtung beitragenden Legierungselemente, nämlich Kupfer (Cu) und Magnesium (Mg) [1, 2], breite Toleranzfelder bzw. hohe zulässige Maximalwerte aufweisen können. Es wurde daher die Legierung derart gewählt, dass diese eine „typische“ und handelsübliche Zusammensetzung aufweist.

Aushärtung von Aluminiumlegierungen

Als Ausscheidungshärtung bezeichnet man einen Vorgang, durch den es möglich ist, in bestimmten Legierungen allein durch Wärmebehandlungen Eigenschaftsänderungen herbeizuführen. Die Ausscheidungshärtung ist die wichtigste Methode zur Härtung von Legierungen, bei denen keine allotrope Umwandlung wie z.B. bei Stahl möglich ist. Dies sind die meisten Nichteisenmetalllegierungen, insbesondere Aluminiumlegierungen.

Das Phänomen der Aushärtung wurde vor ca. 100 Jahren von A. Wilm an einer AlCuMg-Legierung entdeckt [3] und seitdem für unterschiedlichste Legierungstypen intensiv untersucht. Das Aushärten beruht auf Entmischungsvorgängen, die im übersättigten Mischkristall bei Raumtemperatur oder mäßig erhöhter Temperatur ablaufen [4]. Die Entmischungsvorgänge finden dann statt, wenn der aluminiumreiche α -Mischkristall eine mit der Temperatur abnehmende Löslichkeit für einen bestimmten Legierungsbestandteil aufweist, sie sind diffusionsgesteuert und somit von der Zeit und Temperatur abhängig.

Die festigkeitssteigernde Wirkung beruht auf der Blockade von Gitterbaufehlern, so genannten Versetzungen, die unter Belastung wandern.

Mischkristallverfestigung bei Aluminiumlegierungen

Bei Aluminium ist zur substitutionellen Mischkristallverfestigung Magnesium das effektivste Element, da der Atomradienunterschied groß ist und Aluminium eine relativ große Löslichkeit für Magnesium im festen Zustand besitzt. Auch Kupfer trägt wesentlich zur Mischkristallverfestigung und damit zur Steigerung der 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ bzw. der Zugfestigkeit R_m bei.

Einleitung

Aufgrund des guten Fließ- bzw. Formfüllungsvermögens bei gleichzeitig guten mechanischen Eigenschaften ist die Legierung Al Si9Cu3(Fe) (VDS 226) die meistverwendete Aluminium-Druckgusslegierung. Überwiegend werden die Gussteile ohne Vakuumunterstützung hergestellt und damit ist eine T6-Wärmebehandlung nicht bzw. nur eingeschränkt möglich, da die beim Druckgießen eingeschlossene Luft

Legierungsbezeichnung Probe	Chemische Zusammensetzung in Masseanteilen in %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Aluminium
Zugprobe	9,28	0,86	2,84	0,30	0,34	0,02	0,13	0,46	0,04	<0,01	0,13	Rest
EN AC-Al Si9Cu3 (Fe)	8,0-	max.	2,0-	max.	0,05-	max.	max.	max.	max.	max.	max.	Rest
nach EN 1706:1998	11,0	1,3	4,0	0,55	0,55	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25	

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der verwendeten Legierung Al Si9Cu3(Fe)

Ausscheidungsbildung und -wachstum

Da die Löslichkeit eines Mischkristalls für Fremdatome bei sinkenden Temperaturen abnimmt, müssen diese aus dem dann übersättigten Mischkristall ausgeschieden werden. Der übersättigte Mischkristall entsteht beim Druckgießen durch die rasche Erstarrung oder kann bei Sand- und Kokillenguss durch Abschrecken nach dem Lösungsglühen hergestellt werden. Der Grad der Übersättigung hängt bei Druckgussteilen vor allem von der Entformungstemperatur und der anschließenden Abkühlgeschwindigkeit ab. Der übersättigte Mischkristall ist bestrebt, seinen instabilen Zustand durch das Ausscheiden der im Überschuss gelösten Bestandteile abzubauen.

Da die Legierungsatome im Gitter wandern – d. h. diffundieren – müssen, ist die Ausscheidungsbildung von der Temperatur und der Zeit abhängig und verläuft im Allgemeinen diskontinuierlich. Herrscht zuerst noch eine regellose Verteilung der Legierungsatome vor, so sammeln sie sich bei erhöhter Temperatur an bevorzugten Gitterpositionen, wodurch es zur Bildung lokaler Überstrukturen wie Nahentmischungen, einphasige Entmischungen oder Clusterbildung kommt (**Bild 1**). Dadurch bleibt aber das Gitter weiterhin erhalten und verspannt. Bei ausreichender Zeit und Temperatur können im Aluminium-Mischkristall sogenannte Guinier-Preston-Zonen (GP-Zonen) entstehen, die ähnlich festigkeitssteigernd wie kohärente Ausscheidungen wirken. Bei AlCu-Legierungen wurde beobachtet, dass insbesondere Magnesium die Bildung von GP-Zonen beim Warmauslagern beschleunigt [1]. Bilden sich stattdessen intermediäre Verbindungen, so entstehen zweiphasige Entmischungen, die eine Phasengrenze aufweisen (**Bild 2**).

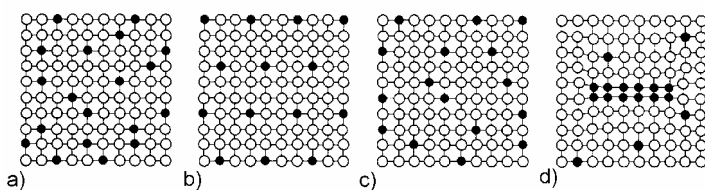


Bild 1. Mögliche Anordnungen von Fremdatomen im Substitutionsmischkristall: a) statistisch verteilt, b) Fern-, c) Nahordnung, d) Zonenbildung, aus [28].

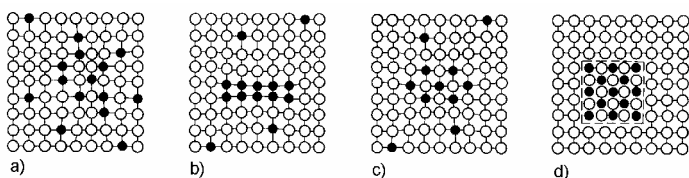


Bild 2. Entmischungsreihe: a) ungeordnete Konzentration (Cluster, einphasige Entmischung), b) geordnete Konzentration (Zone), c) kohärente Ausscheidung (zweiphasige Entmischung), d) inkohärente Ausscheidung (zweiphasige Entmischung), aus [28].

Sind die Unterschiede der Gitterparameter von Wirtsgitter und Entmischung nur gering, so bilden sich kohärente Ausscheidungen, was bedeutet, dass sie weiterhin im Gitterverbund des Wirtsgitters verbleiben und dieses weiterhin verspannen. Ist keine bzw. keine vollständige Verbindung mit dem Wirtsgitter möglich, spricht man von inkohärenten bzw. teilkohärenten Ausscheidungen. Die inkohärente Ausscheidung wirkt nur mehr auf Grund ihrer eigenen Festigkeit und ist somit der wirksamste Ausscheidungstyp, da Eigenfestigkeit und Gitterverspannung zusammenwirken.

Da bei der Bildung einer inkohärenten Ausscheidung eine Phasengrenzfläche gebildet werden muss, benötigt sie mehr Energie, also höhere Temperaturen zu ihrer Bildung, als eine kohärente Ausscheidung. Bei höheren Temperaturen diffundieren auch die Legierungsatome schneller, was zu einer Vergrößerung der Ausscheidungen führt.

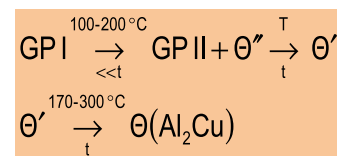
Daraus kann abgeleitet werden, dass sich bei niedrigeren Temperaturen eher fein verteilte, kleine, kohärente Ausscheidungen bilden und

bei höheren Temperaturen eher wenige, dafür grobe, inkohärente Teilchen vorliegen werden [5].

Im binären Zweistoffsystem für Aluminium-Kupfer zeigt sich die Abhängigkeit der Kupferlöslichkeit von der Temperatur. Die maximale Löslichkeit von Kupfer im Aluminium-Mischkristall fällt von 5,65 % bei 548 °C (Al-Cu-Eutektikum) auf unter 1,5 % bei 400 °C ab. Als Gleichgewichtsphase tritt die Al_2Cu -Phase (Θ -Phase) auf. Bereits bei Raumtemperatur bilden sich Guinier-Preston-I-Zonen (GP I). Werden diese einphasigen Entmischungen kurzzeitig auf 100 bis 200 °C erwärmt, so lösen sie sich auf. An ihrer Stelle werden Guinier-Preston-II-Zonen (GP II) und Θ' -Phasen, die kohärente Modifikation der Θ -Phase, gebildet. Beim Übergang zwischen GP I- zu GP II-Zonen kommt es zu einem kurzzeitigen Festigkeitsrückgang, was einen deutlichen Hinweis auf die unterschiedlichen Mechanismen zwischen Warm- und Kaltauslagerung gibt.

Wird die Legierung weiter auf Temperatur gehalten, so gehen die Θ' -Phasen in Θ -Phasen, der teilkohärenten Modifikation von Al_2Cu , über [6]. Während dieses Übergangs wird das Festigkeitsmaximum erreicht. Bei Temperaturen von 170 bis 300 °C und längeren Haltezeiten werden schlussendlich die Gleichgewichtsphasen, die Θ -Phasen, gebildet, wobei diese aber zu keinem weiteren Festigkeitsanstieg führen [7].

Zusammengefasst gilt also:



Sind alle Legierungsatome bereits aus dem übersättigten Mischkristall ausgeschieden, so werden bei entsprechender Temperatur und Zeit die Ausscheidungen nach der Ostwaldreifung weiter wachsen. Dabei kommt es zu einer Vergrößerung der großen Teilchen bei Auflösung der kleineren Ausscheidungen.

Wirkung der Ausscheidungen

Die Wirkung der Ausscheidung auf die Versetzungsbewegung ist im Wesentlichen von deren Festigkeit und Größe abhängig. Die zwei Grenzfälle der Interaktion mit den Versetzungen werden im Friedel-Effekt und im Orowan-Mechanismus beschrieben (**Bild 3**) [8].

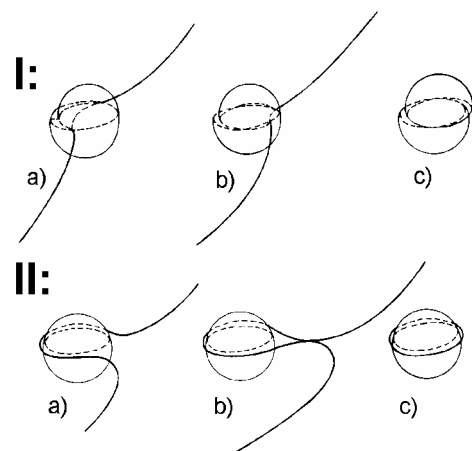


Bild 3. Schematische Darstellung des I: Friedel-Effekts (Abscherung von Ausscheidungen) II: Orowan-Mechanismus (Umgehen von Ausscheidungen) aus [8].

Ist das Teilchen klein und nicht zu hart, so wird es, dem Friedel-Effekt folgend, von der Versetzung unter Bildung einer Antiphasengrenze abgesichert. Im Gegensatz dazu biegt sich, nach dem Orowan-Mechanismus, die Versetzungslinie solange um das Teilchen, bis es völlig

umschlossen ist und sich die Versetzung unter Zurücklassung eines Versetzungsringes um das passierte Teilchen weiterbewegen kann. Dies ist vorwiegend bei großen und härteren Ausscheidungen zu beobachten. Ist ein Teilchen kohärent, so wird es vorwiegend von der Versetzung geschnitten, während inkohärente Teilchen eher nach dem Orowan-Mechanismus umgangen werden, da die Phasengrenze zwischen Wirtsgitter und inkohärenter Ausscheidung für eine Versetzung schwer zu überwinden ist.

Ist das Abscheren der Ausscheidungen gleich wahrscheinlich wie das Umgehen, so wird die stärkste Behinderung der Versetzungsbewegung und damit die höchste Festigkeit durch Ausscheidungsbildung erreicht. Bei gleicher Teilchenart ist dies vom Durchmesser der Ausscheidungen, d. h. der Teilchengröße, abhängig (siehe **Bild 4**).

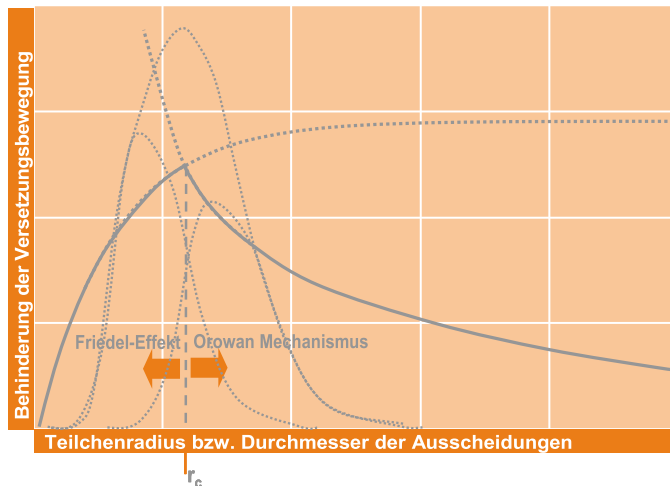


Bild 4. Übergang vom Friedel-Effekt zum Orowan-Mechanismus am kritischen Teilchendurchmesser und Summenkurve der Ausscheidungen nach [29].

Zusammensetzung der untersuchten Legierung Al Si9Cu3(Fe) und Beschreibung der aushärtenden Phasen

Zu den meist verwendeten Elementen in Aluminiumlegierungen, die zur Aushärtung führen, zählen Cu, Mg, Si und Zn. Die Legierung EN AC-Al Si9Cu3(Fe) enthält laut EN 1706 als Legierungselemente 8,0 – 11,0 % Si, 2,0 – 4,0 % Cu, maximal 0,55 % Mn, 0,05 – 0,55 % Mg, ≤ 1,3 % Fe, und als zulässige Zusatzelemente ≤ 0,15 % Cr, ≤ 0,55 % Ni, ≤ 1,2 % Zn, ≤ 0,35 % Pb, ≤ 0,25 % Sn und ≤ 0,25 % Ti [9]. Die für die Untersuchung verwendete Legierung liegt innerhalb dieser Toleranzen bzw. unter den angegebenen Maximalwerten der Norm, die chemische Zusammensetzung ist in **Tabelle 1** angeführt.

Generell beginnt die Erstarrung von untereutektischen Legierungen, zu denen auch die Legierung Al Si9Cu3(Fe) gehört, mit der Bildung eines Dendritennetzwerkes aus α -Aluminium [10]. Bei weiterer Abkühlung bildet sich das (α -Al + Si)-Eutektikum und in weiterer Folge die sekundären Eutektika, in erster Linie ist hier die Bildung von Vorstadien der Al_2Cu -Phase zu nennen. In weiteren Untersuchungen wird – zumindest theoretisch – über das Auftreten der Mg_2Si -Phase berichtet [11]. S. Zafar [12] konnte dagegen selbst bei einem Mg-Gehalt von 1,13 % noch keine Mg_2Si -Phasen im Gefüge nachweisen, dies wird durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse unterstützt. In quaternären AlSiCuMg-Legierungen mit einem Mg-Gehalt von größer 0,2 % Mg bilden sich dagegen mit höherer Wahrscheinlichkeit die Q-Phase $\text{Al}_4\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_5$ bzw. auch die S-Phase Al_2CuMg aus [13, 14].

Neben der Bildung der metastabilen, aushärtenden Phasen aus Cu und Mg scheiden sich bei einer Warmauslagerung – nach einer vorhergehenden raschen Abschreckung – auch die Si-Partikel zahlreicher und schneller aus dem übersättigten Mischkristall aus. Unter diesen Voraussetzungen wird u. a. von Hornbogen [15] berichtet, dass damit ein erheblicher Beitrag zur Aushärtung geleistet wird.

T in °C	Phase	Bildungszeitpunkt
650	$\text{Al}_{15}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}_2$ (primär)	vordendritisch
600	α -Al-Dendriten und $\text{Al}_{15}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}_2$ und/oder Al_5FeSi	dendritisch nachdendritisch voreutektisch
550	(Al+Si)-Eutektikum und Al_5FeSi	eutektisch koeutektisch
540	Mg_2Si (Mg>0,2%)	nacheutektisch
520-540	Al_2Cu	nacheutektisch
480-500	Komplexe Mehrstoffphasen (mit Si, Fe, Mg, Cu und Zn)	nacheutektisch

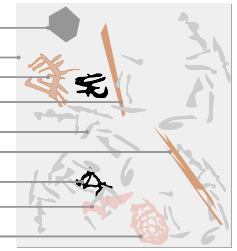


Bild 5. Schematische Darstellung und Bildungszeitpunkt der Phasen in der Legierung Al Si9Cu3(Fe) nach [30, 31].

Einfluss des Begleitelementes Eisen

Zur Verhinderung des Anklebens der Gussteile an der Druckgießform wird der Legierung in der Regel Eisen beigegeben. Die erhöhten Eisengehalte führen einerseits zu polygonalen $\text{Al}_{15}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}_2$ -Phasen, die vordendritisch oder voreutektisch gebildet werden bzw. kommt es auch zur Bildung von plattenförmigen Al_5FeSi -Phasen, die im metallografischen Schliff nadelförmig erscheinen. Der Bildungszeitpunkt dieser Phase ist abhängig von der Erstarrungsgeschwindigkeit, im Allgemeinen entsteht sie aber überwiegend koeutektisch.

Generell reduzieren die Fe-hältigen Phasen die Menge des Kupfers, und damit die Menge der aushärtenden Cu-Phasen. Zudem wurde bereits von Dreyer [2] berichtet, dass der in der Matrix gelöste Anteil von Eisen eine hemmende Wirkung auf die Kaltaushärtung bewirkt. Umso wichtiger erscheint es daher, zur vollen Nutzung des Potentials der Legierung den Eisengehalt auf das notwendige Mindestmaß zu beschränken. In der Regel reichen Eisengehalte um 0,5 bis 0,6 % aus, um eine deutliche Reduktion der Klebeineigung zu erzielen, Maximalgehalte unter 1,0 % sind anzustreben.

Die prinzipiellen Morphologien der in der Legierung Al Si9Cu3(Fe) möglichen Phasen sind in **Bild 5** schematisch dargestellt bzw. ist in **Bild 6** das charakteristische Gefüge der Legierung zum Vergleich angeführt.

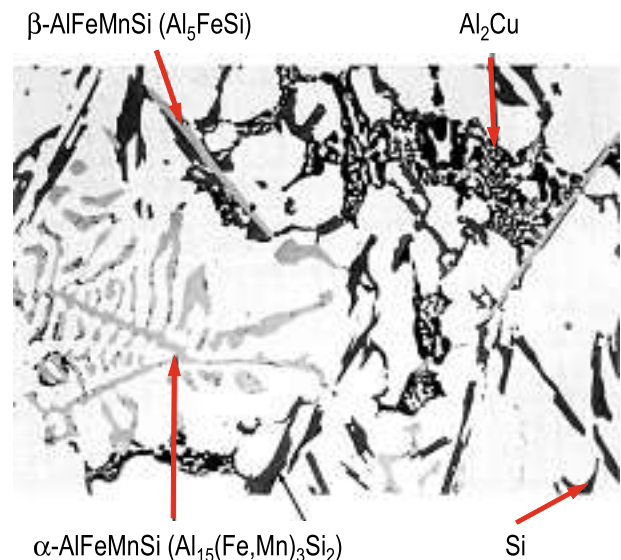


Bild 6. Mikrogefüge einer druckgegossenen Legierung Al Si9Cu3(Fe) mit Bezeichnung der wichtigsten Phasen nach [31].

Selbstaushärtung und resultierende Problematiken für den Gießer

Aluminium-Silizium-Gusslegierungen mit hohem Kupfergehalt (größer als 2 %) und einigen Zehntelprozent Magnesium härten an Raumtemperatur von selbst aus. Aus der Fachliteratur ist auch bekannt, dass die Legierung Al Si9Cu3(Fe) rascher und effektiver selbstaushärtbar ist, wenn sie zwischen 0,30 und 0,55 % Magnesium enthält

[16]. Da der Aushärtungseffekt in erster Linie von der Abkühlgeschwindigkeit nach dem Gießen abhängt, erhält man je nach Wandstärke und Gießparameter unterschiedliche statische mechanische Gussteileigenschaften **[17].**

Selbstaushärtende Legierungen erreichen hohe Festigkeiten durch einfaches Lagern bei Raumtemperatur. In der vormals gültigen Aluminium-Norm DIN 1725 Teil 2 wurde diesem Umstand derart Rechnung getragen, indem eine Festigkeitsprüfung bzw. die mechanische Bearbeitung frühestens nach acht Tagen Lagerung bei Raumtemperatur vorzunehmen sind **[18].** Dagegen sollten alle Richtarbeiten möglichst bald nach dem Abguss, im quasi „duktilen“ Zustand, vorgenommen werden.

In der derzeit gültigen Norm EN 1706:1998 entfiel dieser Hinweis bzw. ist einigen Gießern der Verlauf der Selbstaushärtung bzw. der Einfluss von Legierungs- und Begleitelementen bei der Legierung Al Si9Cu3(Fe) zu wenig bekannt. Dadurch kann bei Unkenntnis eine vorzeitige Prüfung bei noch nicht voll ausgehärtetem Zustand erfolgen und damit werden evtl. zu geringe statische mechanische Eigenschaften nachgewiesen. Bei ungünstiger Geometrie und zu früher mechanischer Bearbeitung können bei unvollständig ausgehärteten Gussteilen Maßinstabilitäten bzw. Maßabweichungen infolge eines Bauteilverzugs auftreten.

Keimbildungsrate von Ausscheidungsklustern

Wie bereits zuvor beschrieben, folgen die Auslagerungskurven einem bestimmten Schema: es treten temperatur- und zeitabhängige Maxima der Härte bzw. Dehngrenze auf, wobei zwischen den Härtewerten und den Werten der Dehngrenzen eine gute Korrelation besteht. Bei längeren Warmauslagerungsdauern fallen die Werte dieser Eigenschaften infolge von Überalterungsvorgängen wieder ab.

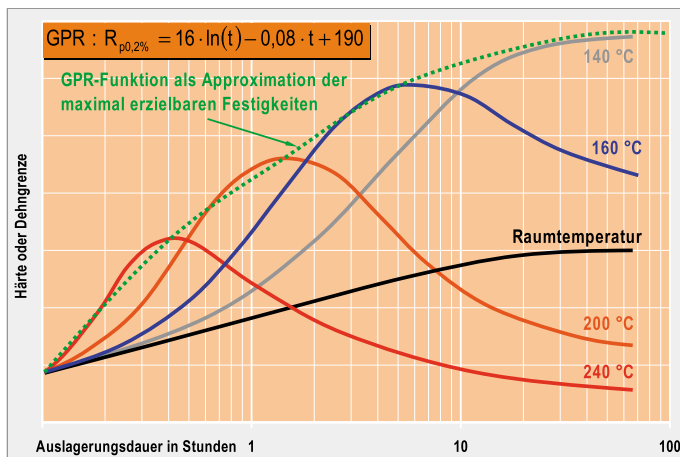


Bild 7. Schematischer Aushärtungsverlauf in Abhängigkeit der Warmauslagerungstemperatur und der Auslagerungsdauer für die Legierung Al Si9Cu3(Fe). Verlauf der maximal erzielbaren Festigkeiten, die durch die GPR-Funktion approximiert werden.

Die charakteristischen Kurvenverläufe bzw. die Hüllkurve der maximal erzielbaren Festigkeiten von druckgegossenen Proben aus der Legierung Al Si9Cu3(Fe) infolge einer Warmauslagerung bei charakteristischen Temperaturen sind schematisch in **Bild 7** beschrieben.

Die fundamentalen Effekte für die Härte bzw. Dehngrenzenverläufe bzw. der Festigkeitsabfall infolge von Überalterungsvorgängen beschreibt M.H. Jacobs **[19]** als Kombination der:

- Legierungszusammensetzung
- Abkühlgeschwindigkeit (Erstarrungsgeschwindigkeit beim Druckgießen)
- Warmauslagerungstemperatur
- Kinetik der homogenen Keimbildung
- Wachstumsgeschwindigkeit von Clustern
- Vergrößerungsreaktionen infolge der Überalterung
- Ausscheidungsreihenfolge bzw. Ausscheidungstransformationen

Für Druckgussteile aus der Legierung Al Si9Cu3(Fe) sind zur Bildung von inkohärenten Ausscheidungen und GP-Zonen ein rasches Abschrecken nach dem Entformen und Magnesiumgehalte von min. 0,2 % notwendig.

Das bedeutet, dass je höher die Temperatur des Gussteiles nach dem Entformen aus der Druckgussform und damit die erzielbare Temperaturdifferenz durch die Abkühlung ist bzw. je schneller die Abkühlung nach dem Ausformen erfolgt, umso größer ist das Ausscheidungspotential und damit die Keimbildungsrate von Ausscheidungsklustern.

Prinzipiell – und vereinfacht formuliert – ist die Keimbildung (Clusterbildung) von Ausscheidungen (N) durch einen doppelten Arrhenius-Ansatz

$$N = A \cdot e^{\left(\frac{Q}{kT}\right)} \cdot e^{\left(\frac{-\Delta G_{\text{Kritisch}}}{kT}\right)}$$

definiert und darstellbar (siehe **Bild 8**). Darin sind die Legierungskonstante A und die Aktivierungsenergie für die Diffusion Θ enthalten. Die Kurve weist je nach Legierungstyp eine temperaturabhängige, maximale Keimbildungsrate auf. Bei Kenntnis der legierungsabhängigen Konstanten und Aktivierungsenergien kann ein optimaler Temperaturbereich für die Warmauslagerung ermittelt und gewählt werden.

Ein weiterer, wichtiger Punkt für die Festigkeitssteigerung ist die Umwandlung der Guinier-Preston-Zonen in die teilkohärenten, metastabilen Phasen Θ'' und Θ' bzw. in geringerem Ausmaß auch in die stabile Gleichgewichtsphase Θ .

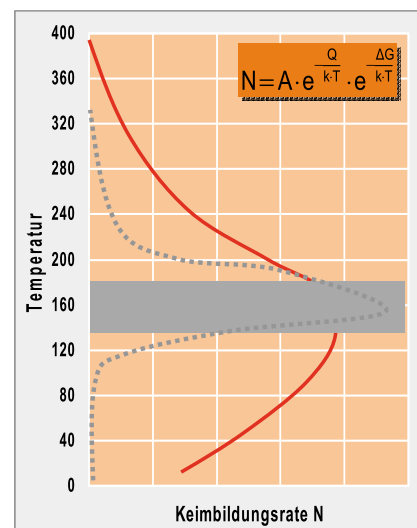


Bild 8. Rote Linie: Prinzipieller Kurvenverlauf der Keimbildungsrate N von Ausscheidungen in Abhängigkeit der Temperatur nach M.H. Jacobs, Unterbrochene, graue Linie: Legierungsspezifische Keimbildungsrate und Temperaturbereich mit maximaler Ausscheidungsrate nach **[19]**.

Untersuchungen am Transmissions-elektronenmikroskop (TEM)

Die Charakterisierung der Ausscheidungen in Nanometerdimensionen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Elektronenmikroskopie der Technischen Universität Graz (zfe-felmi, www.felmi-zfe.at).

Probenausarbeitung mit fokussiertem Ionenstrahl (FIB)

Für die Untersuchungen am TEM wurden aus den Druckgussstäben mittels fokussiertem Ionenstrahl Proben mit einer Querschnittsfläche von ca. 30 μm^2 aus dem Aluminium-Mischkristall, ähnlich wie in **Bild 9** dargestellt, entnommen.

Die zur Untersuchung notwendigen TEM-Lamellen wurden dabei durch Abtragen von Probenmaterial mit einem hochenergetischen Gallium-Ionenstrahl frei geschnitten, wie in **Bild 10** schematisch dargestellt ist. Die frei geschnittenen TEM-Lamellen wurden nachfolgend auf einem Probenträger appliziert und konventionell gedünnt **[20]**.

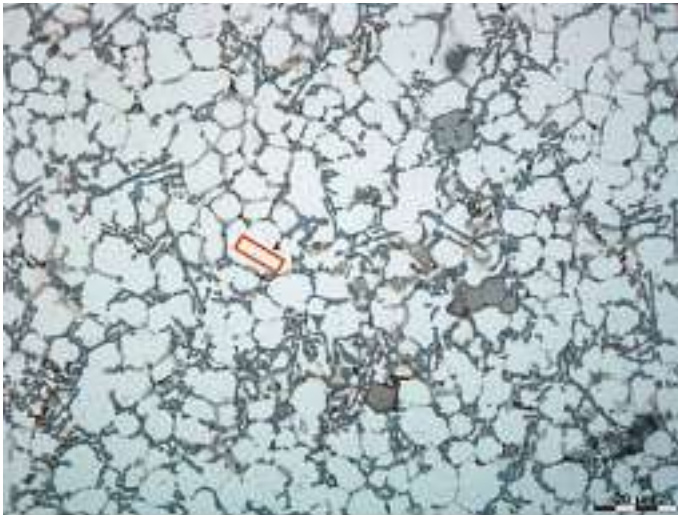


Bild 9. Lichtmikroskopische Gefügeaufnahme eines Probestabes und Bereich der Probenahme (TEM-Lamelle) aus einem α -Aluminium-Mischkristall.

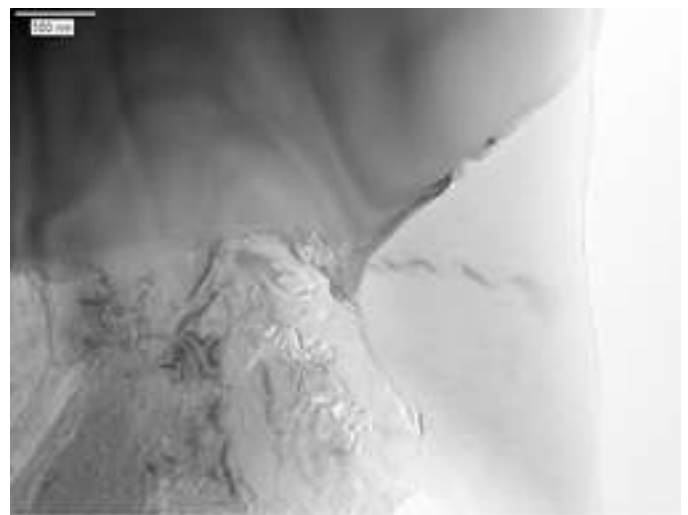


Bild 12. TEM-Aufnahme (Hellfeld) eines nahezu ausscheidungsreichen α -Aluminium-Mischkristalles und (Al + Si)-Eutektikums nach Kaltauslagerung, Korngrenzen und Beugungsstrukturen.

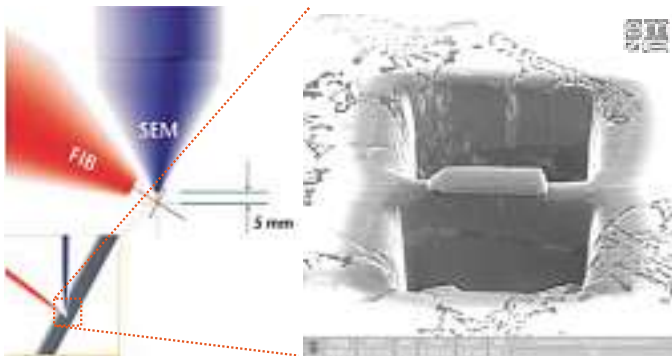


Bild 10. Funktionsprinzip der FIB-Säge und einer aus dem Mischkristall der Druckgussprobe freigeschnittenen TEM-Lamelle nach [20].

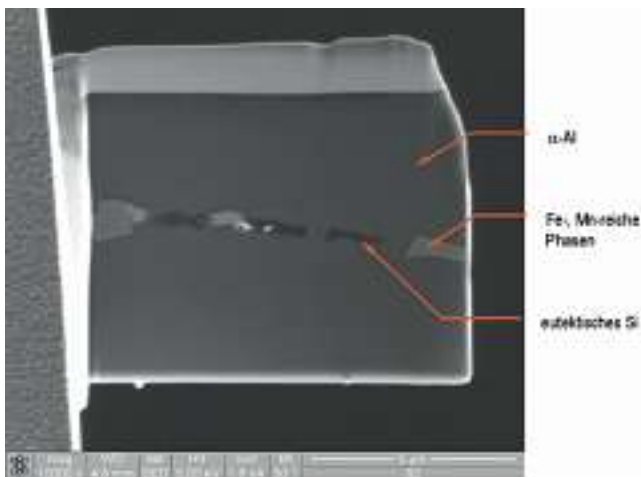


Bild 11. Detail der am Probenträger angehefteten TEM-Lamelle, α -Al-Mischkristall mit quer verlaufendem Eutektikum, letzteres bestehend aus Fe- und Mn-reichen Phasen und den eutektischen Si-Partikeln.

Bild 11 zeigt die auf dem Trägerwerkstoff angeheftete Lamelle, die überwiegend aus dem aluminiumreichen (α -Al)-Mischkristall besteht. Quer durch die Probe verlaufen einige eutektische Siliziumpartikel bzw. auch eisen- und manganreiche Phasen.

Unmittelbar nach dem Gießen liegt ein quasi ausscheidungsreicher, übersättigter α -Al-Mischkristall vor, was auch die Hellfeld-TEM-Auf-

nahme in **Bild 12** zeigt. Im Gegensatz zur Kaltauslagerung werden bei höheren Temperaturen eher größere, inkohärente Ausscheidungen gebildet, da diese für die Ausbildung der Phasengrenzflächen höhere Energien als die kohärenten Ausscheidungen benötigen. Zusätzlich wird bei erhöhten Temperaturen die Diffusion beschleunigt und damit geht eine Vergrößerung der Teilchen einher. Die höchsten Festigkeiten werden daher mit inkohärenten Ausscheidungen in der Größenordnung 10 bis 40 nm erwartet, da dann die Versetzungsbewegung am effektivsten behindert wird: Das Abscheren bzw. Umgehen der Ausscheidungen ist dann gleich wahrscheinlich und zudem ist die Phasengrenze der inkohärenten Ausscheidung von der Versetzung nur schwer zu überwinden – beide Mechanismen führen somit zur Festigkeitssteigerung [21].

In **Bild 13** (Seite 180) ist ein solcher – durch eine Warmauslagerung bei 160 °C an Ausscheidungen reicher – Mischkristall dargestellt. Beispielhaft geht eine ca. 15 nm große, semikohärente Al_2Cu -Ausscheidung aus der hochauflösenden HRTEM-Aufnahme (High Resolution TEM) in **Bild 14** (Seite 180) hervor. Einen signifikanten Beitrag liefern auch die Si-Ausscheidungen aus dem Mischkristall, die in ähnlichen Größenordnungen auftreten.

Die zuvor beschriebene Behinderung der Versetzung an einem Ausscheidungspartikel wird in der TEM-Aufnahme in **Bild 15** (Seite 180) verdeutlicht und verständlich dokumentiert.

Versuchsablauf

Aufgabe der Untersuchung war, eine Korrelation zwischen unterschiedlichen Auslagerungstemperaturen (Raumtemperatur, erhöhte Temperaturen) und den statischen mechanischen Eigenschaften herzustellen. Voraussetzung für die Interpretation der nachfolgenden Ergebnisse ist eine rasche und kontrollierte Abkühlung der Gussteile unmittelbar nach dem Abguss (Abschrecken im Wasserbecken), damit der übersättigte Mischkristall noch weitere, zusätzliche Ausscheidungen bilden kann.

Im vorliegenden Fall wurde die Untersuchung mit Auslagerungstemperaturen RT, 60 °C, 120 °C, 140 °C, 160 °C, 200 °C und 240 °C und Auslagerungsdauern bis zu max. 240 Stunden durchgeführt.

Für die Untersuchung, ob eine Kombination von Kalt- und Warmauslagerung sinnvoll und möglich ist, wurden nachfolgende Auslagerungszeiten und -temperaturen gewählt:

- Warmauslagerung und nachfolgende Kaltauslagerung (200 °C + 14 Tage RT)
- Kaltauslagerung 3, 7, und 14 Tage und nachfolgend Warmauslagerung bei 140, 160, 200 und 240 °C

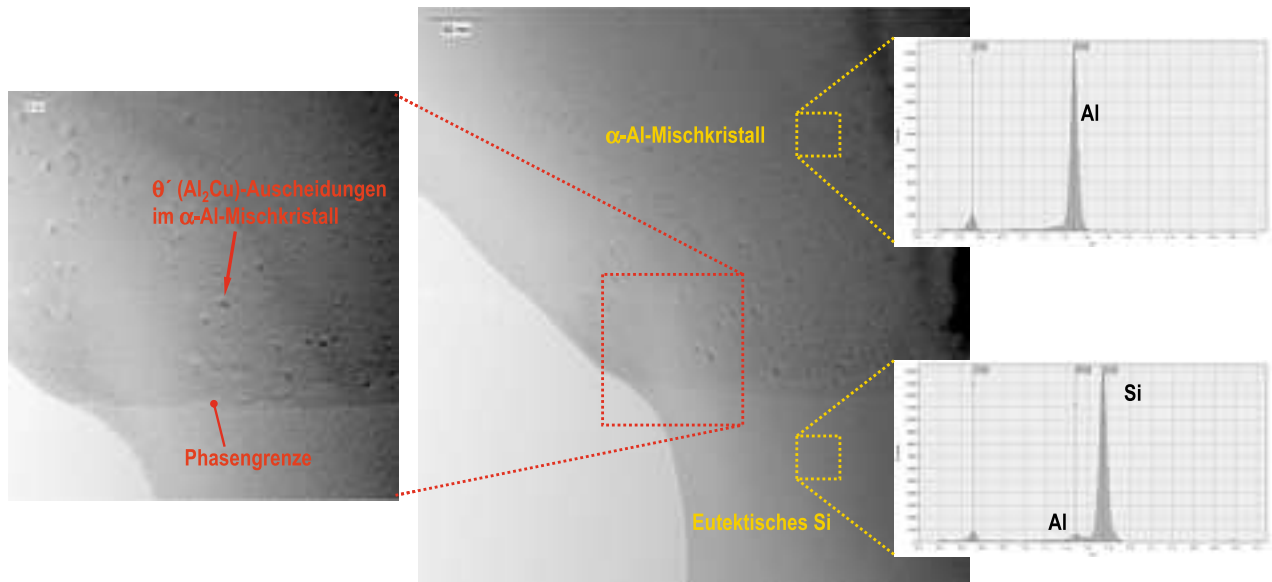


Bild 13. Hellfeld-TEM-Aufnahme des Übergangs vom aluminiumreichen und ausscheidungsreichen Mischkristall (oben) zu einem ausscheidungsreichen, eutektischen Silizium-Partikel (unten) und EDX-Spektren der jeweiligen Bereiche, Bild links zeigt eine Detailvergrößerung der Phasengrenze.

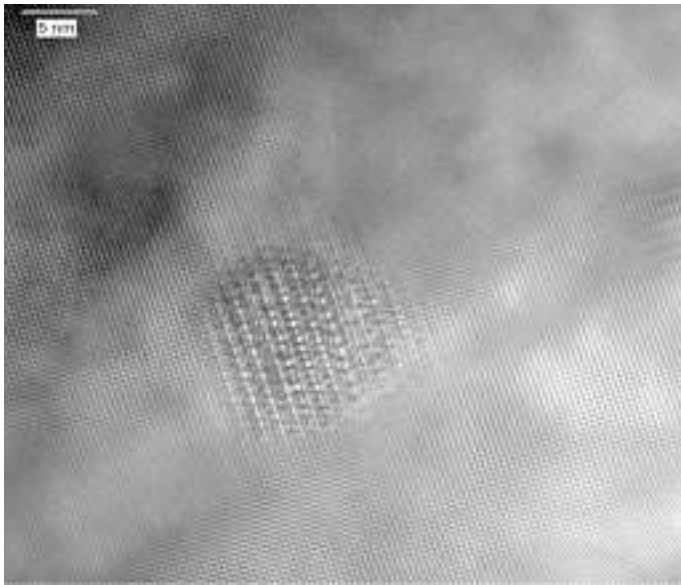


Bild 14. HRTEM-Aufnahme einer rund 15 nm großen, semikohärenten Al_2Cu -Ausscheidung im α -Aluminium-Mischkristall nach Warmauslagerung für 48 Stunden bei einer Temperatur von 160 °C.

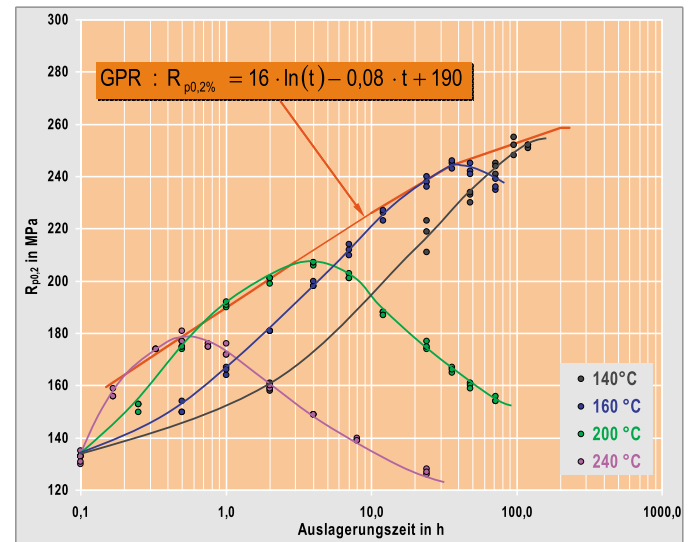


Bild 16. Verlauf der GPR-Funktion als Approximation der maximalen Dehngrenzen bei Auslagerungstemperaturen von 140, 160, 200 bzw. 240 °C im logarithmierten Zeitmaßstab.

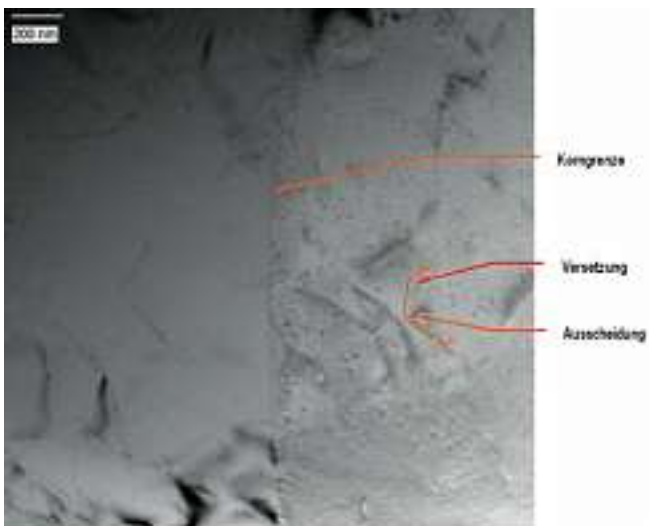


Bild 15. TEM-Aufnahme (Hellfeld), Behinderung der Versetzungsbewegung durch Ausscheidungen im α -Aluminium-Mischkristall und Phasengrenze zu einem ausscheidungsreichen eutektischen Si-Partikel.

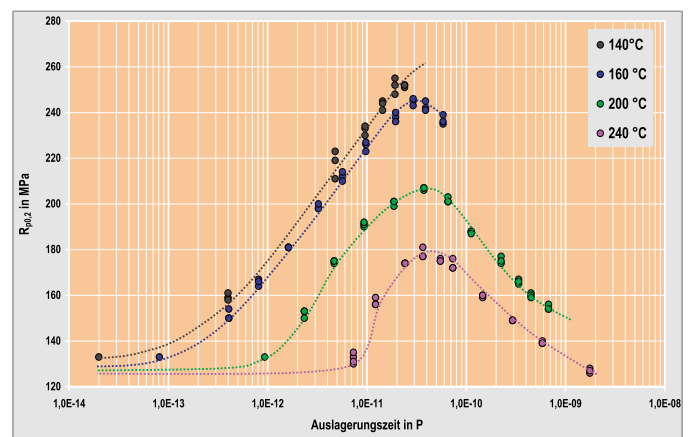


Bild 17. Dehngrenze über Parameter P berechnet nach dem Modell von H.R. Shercliff und M.F. Ashby, alle isothermen Auslagerungskurven weisen einen ähnlichen Verlauf und auf P normierte Festigkeitsmaxima bei unterschiedlichen Festigkeitsniveaus auf.

Mathematische Berechnungen

Die GPR-Funktion: Approximation der Festigkeitsmaxima durch Warmauslagerung unmittelbar nach dem Abguss

Bei Betrachtung der gemessenen Dehngrenzen über der Zeit im logarithmischen Maßstab (**Bild 16**) fällt auf, dass die erreichbaren Festigkeitsmaxima in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit einer stetigen Funktion folgen. Dabei verhalten sich die Festigkeitsmaxima verschiedener Warmauslagerungstemperaturen über der logarithmisch aufgetragenen Zeit in einem weiten Bereich nahezu linear.

Daher kann in Abhängigkeit von Auslagerungszeit die folgende empirische, als GPR-Funktion benannte, Approximation gefunden werden:

$$\text{GPR: } R_{p0,2\%} = 16 \cdot \ln(t) - 0,08 \cdot t + 190$$

Darin ist als einzige Variable die Auslagerungsdauer t in Stunden enthalten und die GPR-Funktion erlaubt somit, eine einfache Abschätzung der maximal erzielbaren Festigkeit vorzunehmen [22].

Für eine exaktere Berechnung müssen die metallkundlichen Grundlagen bemüht werden, in denen mathematische Modelle für die Ausscheidungs- und Mischkristallverfestigung berücksichtigt werden müssen. Ein vereinfachtes aber praktisches Modell lieferten H.R. Shercliff und M.F. Ashby [23], welches das Aushärtungsverhalten bei erhöhten Temperaturen von Aluminiumlegierungen beschreibt.

Mit diesem Modell ist es möglich, die Änderung der Dehngrenze einer isotherm ausgelagerten Legierung zu bestimmen und daraus den Aushärteverlauf über der Zeit abzuleiten. Folgende Einflüsse werden im Modell berücksichtigt:

- Bildung von Ausscheidungen bei gleichzeitiger Abnahme des Anteils gelöster Teilchen in der Anfangsphase der Ausscheidung
- Vergrößerung der Ausscheidung mit fortlaufender Zeit
- Abhängigkeit des Ausscheidungsgleichgewichts von der Auslagerungstemperatur
- Festigkeitsbeitrag der Mischkristallhärtung
- Festigkeitsbeitrag des Abscherens von Ausscheidungen
- Festigkeitsbeitrag durch den Orowan-Mechanismus

Alle diese Einzelkomponenten wurden von H.R. Shercliff und M.F. Ashby modelliert und in das Gesamtmodell unter Anwendung von nahe liegenden Approximationen integriert.

Als zentralen Punkt dieses Modells beschreiben Shercliff und Ashby den Verlauf der Aushärtung unabhängig von Zeit und Temperatur durch den Parameter P :

$$P = \frac{t}{T} \cdot e^{\frac{K}{T}}$$

Dabei sind die Temperatur in Kelvin ($T [K] = T [^{\circ}C] + 273$) und die Zeit in Sekunden ($t [s] = t [h] \cdot 3600$) einzusetzen.

Bei Auftragung der Dehngrenze über dem Parameter P weisen alle isothermen Auslagerungskurven denselben Verlauf auf unterschiedlichen Festigkeitsniveaus auf (**Bild 17**) und werden durch den Parameter P bezüglich der Maxima normiert. Dadurch wird es möglich, denselben Grad an Aushärtung in verschiedene Temperaturen umzurechnen. Beispielsweise lässt sich so, bei bekanntem Festigkeitsmaximum bei $160^{\circ}C$ (z. B. T6-Wärmebehandlung) ermitteln, wann das Festigkeitsmaximum bei $175^{\circ}C$ auftritt.

Zur Ermittlung der Parameter werden für bekannte Wertepaare von Zeit und Temperatur zu einem bestimmten Auslagerungsgrad, am zweckmäßigsten verwendet man die Festigkeitsmaxima, in einem

Diagramm $\frac{1}{T}$ über $\ln \frac{t}{T}$ aufgetragen. Die so erhaltenen Punkte beschreiben eine Gerade, deren Steigung den Parameter K wiedergibt (**Bild 18**). Für die vorliegenden Versuche kann für die Legierung Al Si9Cu3(Fe) somit geschrieben werden:

$$P = \frac{t}{T} \cdot e^{\frac{12972}{T}}$$

Berechnet man nun für die Maxima den P -Parameter, der – wie schon erwähnt – für alle Temperaturen im Maximum denselben Wert annehmen muss, so erhält man für diesen $P_p = 2,98 \cdot 10^{-11}$. Formt man nun die Gleichung in Richtung t_p , der Zeit zur Erreichung des Festigkeitsmaximums, um, so kann man schreiben:

$$t_p = P_p \cdot T \cdot e^{\frac{K}{T}} = 2,98 \cdot 10^{-11} \cdot T \cdot e^{\frac{12972}{T}}$$

Dadurch wird es möglich, die GPR-Funktion von der Zeitbasis in entsprechende Temperaturen umzurechnen.

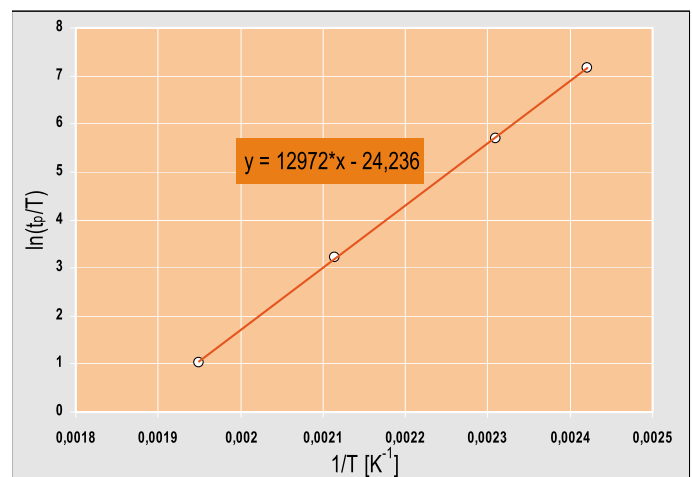


Bild 18. Berechnung des Parameters K bei Auftrag von $\ln(t_p/T)$ gegenüber $1/T$.

Ergebnisse der Werkstoffprüfung

Warmauslagerung unmittelbar nach dem Abguss

Die nach EN 1706:1998 für die Legierung Al Si9Cu3(Fe)DF empfohlene Mindesthärte liegt bei 80 HB 5/250, die Zugfestigkeit wird mit 240 MPa, die Dehngrenze mit 140 MPa und die Dehnung mit kleiner 1 % in der Norm informativ angegeben.

Nach dem Abguss liegt der Werkstoff in einem „quasi“ weichen, duktilen Zustand vor. So beträgt die Härte rd. 85 HBW 5/250, die Dehngrenze beträgt rd. 90 MPa und die Zugfestigkeiten liegen bei 240 MPa. Es können Bruchdehnungen von rd. 2,5 % erwartet werden.

Je nach Magnesium- und Kupfergehalt erfolgt dann mehr oder weniger schnell die Kaltaushärtung bei Raumtemperatur. Bei mittleren Gehalten von ca. 0,3 % Mg und rd. 3 % Cu sind charakteristische Werte von $R_{p0,2} = 160$ MPa, $R_m = 260$ MPa, Oberflächenhärten um 100 HBW 5/250 und Dehnungen rund um $A_{5d} = 1$ % zu erwarten [24].

Die ältere Norm hat den breiten Toleranzen dieser Legierung insofern Folge geleistet, als die in einem breiten Eigenschaftsprofil erzielbaren Dehngrenzen mit 140 bis 240 MPa, die Zugfestigkeiten von 240 bis 310 MPa, die Oberflächenhärten von 80 bis 120 MPa und die Dehnungen von 0,5 bis 3,0 % angegeben wurden (siehe auch **Tabelle 2 auf Seite 182**). D. h. jedoch, dass diese Legierung von duktil bis hochfest – je nach dem Spektrum der Zusammensetzung – vorliegen kann. Eine gezielte Optimierung der Eigenschaften ist daher

Statische mechanische Eigenschaften	R _m in MPa	R _{p0,2} in MPa	A _{5d} in %	HBW 5/25
EN 1706 AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn) Mindestwerte von getrennt geg. Proben	240	140	<1	80
DIN 1725/2 GD-ALSi9Cu3	240 bis 310	140 bis 240	0,5 bis 3,0	80 bis 120
Charakteristische Werte für DG-Proben mit s=5 mm unmittelbar nach dem Abguss	240	90	2,5	85
Charakteristische Werte für DG-Proben mit s=5 mm nach vollst. Kaltauslagerung	260	160	1,0	100

Tabelle 2. Normwerte und charakteristische Werte der statischen mechanischen Eigenschaften der Legierung Al Si9Cu3(Fe)DF.

sinnvoll und notwendig und wird in den Ergebnissen dieser Untersuchung dokumentiert.

Die in den Diagrammen (**Bilder 19 bis 21**) dargestellten Kurven zeigen die Möglichkeit der Beeinflussung der mechanischen Kennwerte über Variation der Auslagerungstemperaturen und -zeiten. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass in den Diagrammen Mittelwerte aus 3 Messungen dargestellt sind und die Streuungen (gekennzeichnet durch vertikale Fehlerbalken) insbesondere für die Härte- und Dehngrenzenmittelwerte sehr klein ausfallen. Es können daher reproduzierbare Verhältnisse bei der Herstellung der Proben bzw. Gießparameter angenommen werden.

Die Auslagerung bei 140 °C führt zu einer relativ langsamen Zunahme der Dehngrenze und Härte mit der Zeit. Wie aus **Bild 21** ersichtlich, kann erst nach 5 Tagen Warmauslagerung bei 140 °C von einer Vollaushärtung ausgegangen werden. In diesem Zeitraum stei-

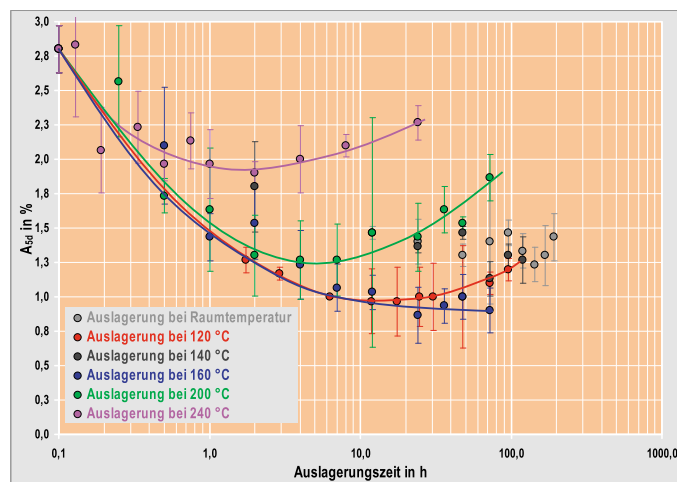


Bild 19. Dehnungen in Abhängigkeit der Auslagerungszeit, logarithmischer Zeitmaßstab.

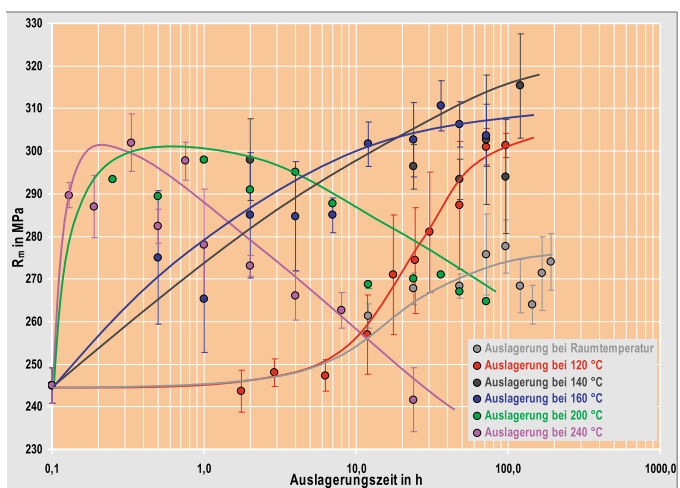


Bild 20. Zugfestigkeiten in Abhängigkeit der Auslagerungszeit, logarithmischer Zeitmaßstab.

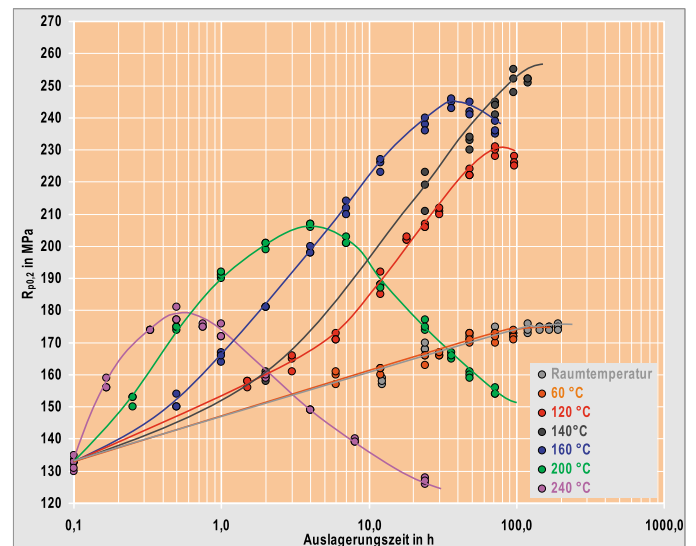


Bild 21. Dehngrenzenverläufe in Abhängigkeit der Auslagerungszeit, logarithmischer Zeitmaßstab.

gen sowohl die Härte von 100 auf 135 HBW 5/250 als auch die Dehngrenze von knapp über 90 auf 254 MPa an, was aber zugleich auch das Optimum der erzielbaren Festigkeit aus allen Versuchen bedeutet. Ein Abfall der Festigkeitswerte durch Überalterungsvorgänge tritt im untersuchten Zeitraum noch nicht auf.

Bei 160 °C werden die Maximalwerte nach 1,5 Tagen respektive 36 Stunden erzielt, wobei gegenüber den Versuchen bei 140 °C mit 134 HB 5/250 und einer maximalen $R_{p0,2}$ von 245 MPa nur marginal geringere Härte- und Dehngrenzen erreicht werden. Zudem tritt kaum ein Absinken der Eigenschaften bei längeren Auslagerungszeiten auf. Werden höchste Festigkeitswerte verlangt, so ist diese Variante aufgrund der deutlich kürzeren Auslagerungsdauer der 140 °C-Variante vorzuziehen.

Bei einer Warmauslagerungstemperatur von 200 °C erkennt man deutlich den Abfall der Eigenschaften nach dem Durchlaufen des Festigkeitsmaximums, welches bei knapp 210 MPa/120 HBW 5/250 und bei einer Zeitdauer von 6 Stunden liegt. Allerdings steigen die Festigkeitswerte in diesem Fall rasch auf ein hohes Niveau, und damit kann bei nicht notwendiger vollständiger Ausnutzung des Festigkeitsmaximums bereits nach 2 Stunden eine Dehngrenze von 200 MPa erreicht werden.

Werden die Gussteile bei 240 °C warm ausgelagert, wird das Maximum bereits nach kürzester Zeit – einer halben Stunde – erreicht. Die 0,2 %-Dehngrenze liegt dabei mit 180 MPa noch immer deutlich über dem Festigkeitswert, der nach 8 Tagen Kaltauslagerung (um 170 MPa) erzielt werden kann. Allerdings ist hier die genaue Kenntnis der Temperaturverteilung im Ofen unabdingbare Voraussetzung, da bereits Abweichungen von ± 5 K zu erheblichen Änderungen führen können. Ebenso gilt es in diesem Fall, die Warmauslagerungsdauer exakt – d. h. im Bereich von einigen Minuten – einzuhalten.

Bei Überschreitung der maximalen Auslagerungsdauer von einer $\frac{1}{2}$ Stunde kommt es unter anderem aufgrund der Ostwald-Reifung zu einem signifikanten und sehr raschen Abfall der Festigkeitseigenschaften und einem sehr engen Prozessfenster der Wärmebehandlung: Das gilt im Allgemeinen auch, wenn man höhere Temperaturen als die Solvustemperatur oder bei Legierungen dieses Typs anhaltensweise Temperaturen von 240 °C oder höher verwendet. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass sich dann die Ausscheidungen im Bereich von Sekunden bis Minuten vergrößern und sich die metastabilen Phasen sehr schnell umwandeln können.

Gegenläufig zu den Härten und Dehngrenzen verhalten sich die Dehnungen (**Bild 19**). Bei 160 °C sind im Festigkeitsmaximum kaum mehr Dehnungen über 0,9 % zu erwarten, während bei 240 °C und langen Auslagerungsdauern die Dehnungen über 2,3 % ansteigen. Es

zeigt sich hier ein ähnliches Verhalten, wie es auch bei Überalterungsbehandlungen des Typs T7 bekannt und charakteristisch ist, d. h. die Dehnungen nehmen bei langen Auslagerungsdauern auf Kosten der Festigkeiten wieder zu. Trotz der größeren Streuungen ist ein eindeutiger Trend zu erkennen:

Bei tiefen Auslagerungstemperaturen bzw. Temperaturen nahe der Aktivierungsenergie (100 – 140 °C) wurde bei Erreichen des Festigkeitsmaximums das Dehnungsminimum bereits durchschritten. Bei 160 °C decken sich die Zeitpunkte der Minima der Dehnungen annähernd mit den Zeitpunkten der Maxima der Festigkeitseigenschaften. Hingegen ist bei Verwendung höherer Auslagerungstemperaturen (größer als 160 °C) noch mit einem späteren Dehnungsminimum gegenüber dem Zeitpunkt des Festigkeitsmaximums zu rechnen. Bei hohen Auslagerungstemperaturen steigen die Dehnungen nach Durchlaufen des Minimums vor allem durch den Mechanismus der Auflösung von inkohärenten Ausscheidungen wieder an.

Ergänzend sind in **Bild 20** die Zugfestigkeitswerte R_m dargestellt. Wie zu erwarten, sind die Streuungen bei Dehnungen und Zugfestigkeiten um Größenordnungen höher als bei den Dehnungen und Härten. Kleinere und nicht zur Gänze vermeidbare Gussfehler wie Oxide und Porositäten setzen die erzielbaren Dehnungen herab, jedoch aufgrund der Elastizität muss und wird kaum ein mindermder Einfluss auf die Dehngrenze $R_{p0,2}$ vorliegen [25].

Aus den Kurvenverläufen der Zugfestigkeiten in **Bild 20** ist deutlich zu entnehmen, dass eine minimal erforderliche Grenztemperatur für eine thermische Aktivierung der Bildung von Ausscheidungsvorgängen für höchste Festigkeitswerte vorliegt. Das geht insbesondere aus dem Kurvenverlauf der Zugfestigkeiten bei 120 °C hervor und wurde auch durch Untersuchungen von Rometsch und Schaffer [26] bestätigt bzw. durch Shercliff und Ashby wurde eine Grenztemperatur von rd. 100 °C angegeben.

Es besteht eine ausgezeichnete Korrelation zwischen den Härtewerten und den Dehngrenzen und diese dokumentiert sich in **Bild 22**.

Aufgrund der guten Korrelation zwischen Härte und Dehngrenze kann über die einfache und schnelle Bestimmung des Härtewertes relativ gut auf die vorliegende Festigkeit bzw. auf das Stadium der Aushärtung geschlossen werden, die Zeitpunkte der Maxima (oder auch die dazu nötigen Temperaturen) lassen sich mit der zuvor vorgestellten GPR-Funktion in guter Näherung berechnen.

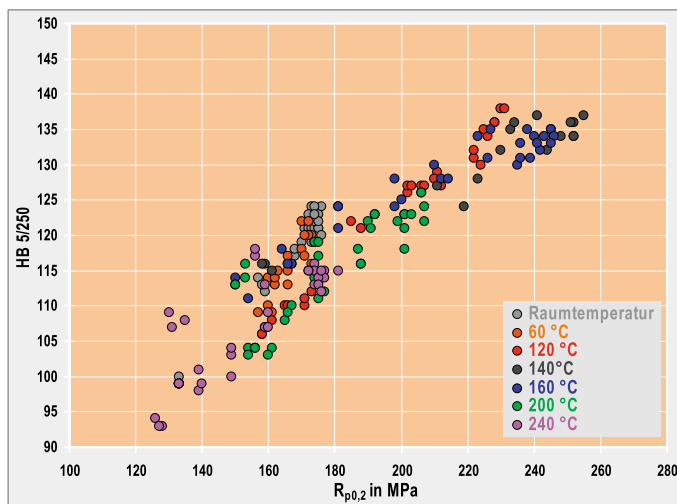


Bild 22. Härte in Abhängigkeit der Dehngrenze, gute Korrelation für alle Auslagerungstemperaturen.

Kombination von Kalt- mit Warmauslagerung

In einer Versuchsreihe wurden die Effekte der Kaltauslagerung mit nachfolgender Warmauslagerung näher untersucht und diese sind in **Bild 23** für eine Warmauslagerungstemperatur von 200 °C dargestellt. Die Proben wurden 3, 7 und 14 Tage an Raumtemperatur gelagert und anschließend wurde die T5-Behandlung bei 200 °C durchgeführt.

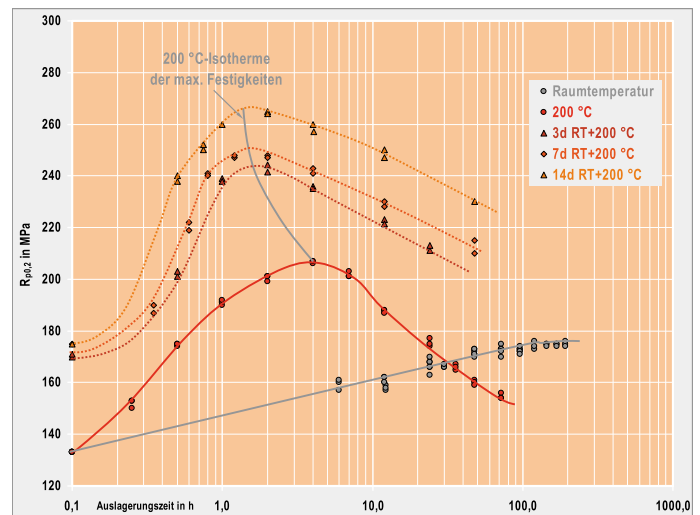


Bild 23. Steigerung der Dehngrenzen durch Kombination von Kalt- und Warmauslagerung bei 200 °C, die Isotherme wird durch die Festigkeitsmaxima bestimmt.

Mit dieser Wärmebehandlung soll auch der Beweis erbracht werden, dass sich – wie bereits zuvor beschrieben – bei niedrigeren Temperaturen eher fein verteilte, kleine, kohärente Ausscheidungen bilden und bei höheren Temperaturen eher wenige, dafür grobe, inkohärente Teilchen vorliegen werden und eine Kombination der beiden Ausscheidungsvarianten zu höchsten Festigkeiten im Gussteil führt [5].

So ist eine deutliche Steigerung der Dehngrenzen durch diese kombinierte Behandlung zu erzielen: Die Dehngrenze steigt zuerst von ursprünglichen 175 MPa (T1) auf 205 MPa durch die sofortige T5-Behandlung an. Durch die 3-tägige Vorauslagerung ist bei nachfolgender T5-Behandlung ($T_{13d}+T_{5200°C}$) eine Steigerung auf 242 MPa zu erzielen. Bei 7 Tagen Vorauslagerung werden 250 MPa erreicht ($T_{17d}+T_{5200°C}$).

Lässt man die Legierung vollständig kalt aushärten und führt erst dann die Wärmebehandlung durch, kann eine maximale Dehngrenze von 265 MPa realisiert werden ($T_{1∞}+T_{5200°C}$). Die Zeitpunkte der Maxima werden dabei gleichzeitig zu kürzeren Auslagerungsdauern verschoben: Während das Maximum bei reiner T5-Auslagerung erst nach 4 h erzielt wird, tritt dieses bei $T_{1∞}+T_{5200°C}$ -Behandlung bereits bei 1,2 h auf – diesen Sachverhalt beschreibt die 200 °C-Isotherme in **Bild 23**. Die Gussteile können somit bei gezielter Kombination von Kalt- und Warmauslagerung noch früher als bei reiner T5-Behandlung aus dem Ofen entnommen werden.

Der Verlauf der Dehngrenzen bei vorangegangener vollständiger Kaltauslagerung in Abhängigkeit der nachfolgenden Warmauslagerungstemperaturen ist durch die Kurven in **Bild 24** beschrieben. Die

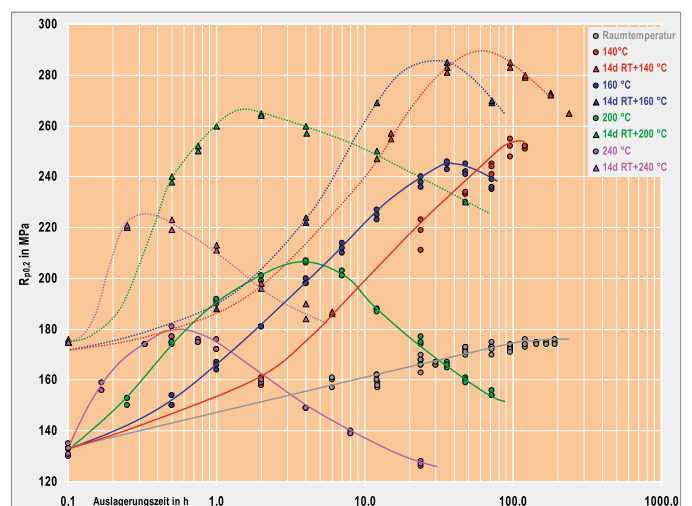


Bild 24. Verlauf der Dehngrenzen bei vorangegangener vollständiger Kaltauslagerung in Abhängigkeit der nachfolgenden Warmauslagerungstemperaturen.

höchsten Dehngrenzen werden durch Kombination von vollständiger Kaltauslagerung und Temperaturen etwas über der Aktivierungsenergie erreicht. Eine Auslagerung bei 140 °C und einer Zeitdauer von 60 h ergibt Werte um 290 MPa. Da eine derart lange Auslagerung aber wirtschaftlich nicht relevant ist, wurden weitere Versuche bei Temperaturen von 240 °C vorgenommen. Es lassen sich dabei Werte um 225 MPa nach 20 Minuten Warmauslagerungszeit realisieren. Das Gefüge wird dabei thermisch stabilisiert und Maßänderungen bzw. Verzug treten bei später im Betrieb auftretenden geringeren Einsatztemperaturen nicht mehr auf, zudem bleibt die Dehnung noch auf hohem Niveau erhalten.

Diese Ergebnisse erlauben es nun, eine GPR-Kurvenschar durch die Maxima der Festigkeiten für die Kombination von Kalt- und Warmauslagerung zu erzeugen (Bild 25) und damit die erzielbaren Werte zu berechnen. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle erwähnt, dass die umgekehrte Vorgehensweise, d. h. zuerst 200 °C-Warmauslagerung und danach Kaltauslagerung, wie zu erwarten, keine weitere Festigkeitssteigerung nach sich zieht.

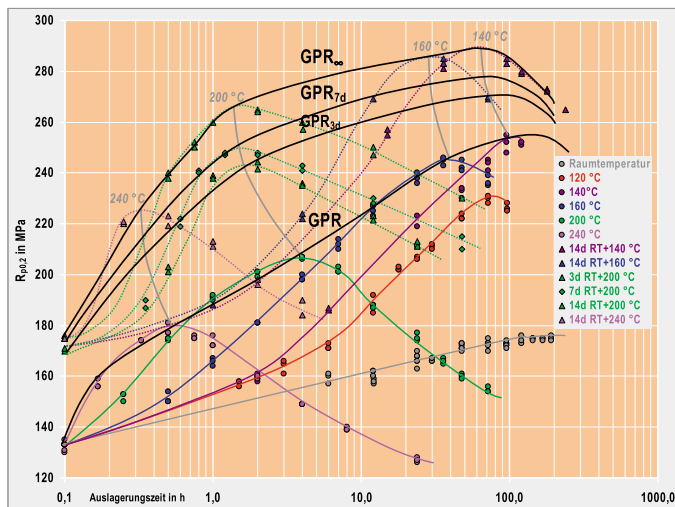


Bild 25. Kombination von Kalt- und Warmauslagerung, Verlauf der GPR-Funktionen in Abhängigkeit der vorangegangenen Kaltauslagerungsdauer.

Erweiterung des Festigkeitsbereiches durch die kombinierte Kalt- und Warmauslagerung

Das Eigenschaftsfeld der Legierung Al Si9Cu3(Fe) wird bei reiner Kaltauslagerung durch das T1-Feld in Bild 26 beschrieben, worin vor al-

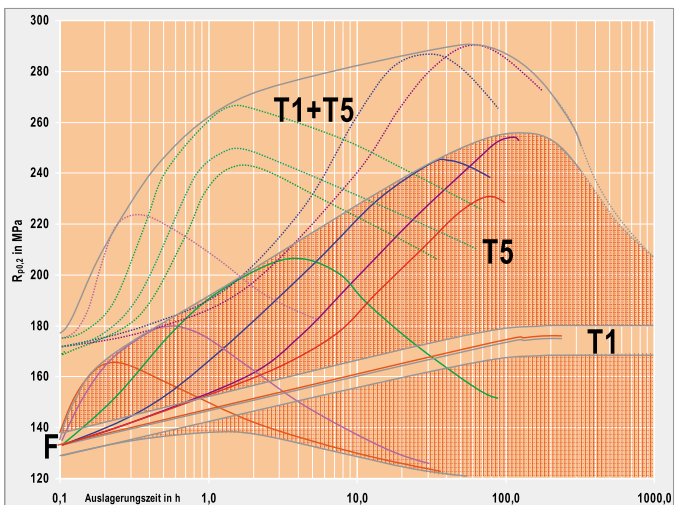


Bild 26. Erweiterung des Festigkeitsbereiches durch Optimierung der Wärmebehandlung:

F: Festigkeit unmittelbar nach dem Abguss
T1: Festigkeitsbereich bei Kaltauslagerung
T5: Festigkeitsbereich bei kontrollierter Abkühlung und nachfolgender Warmauslagerung
T1+T5: Festigkeitsbereich bei Kombination von Kalt- und Warmauslagerung

lem die Cu- und Mg-Gehalte für die Steigung und die Höhe der Dehngrenze verantwortlich sind [27].

Durch eine reine T5-Behandlung (Abschrecken in Wasser unmittelbar nach dem Abguss und sofortige, anschließende Warmauslagerung bei unterschiedlichen Temperaturen) wird ein zusätzliches Eigenschaftsfeld kreiert, das zu signifikant höheren Festigkeiten führt.

Die gezielte Kombination von T1 und T5 erweitert nochmals deutlich den Festigkeitsbereich, wobei bei höheren Temperaturen (200 bis 240 °C) die Maxima bei sehr kurzen Auslagerungszeiten (unter einer Stunde) erreicht werden können.

Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung stellt eine Korrelation zwischen unterschiedlichen Auslagerungstemperaturen und den statischen, mechanischen Eigenschaften her. Insbesondere wurde der Einfluss von variierenden Auslagerungstemperaturen untersucht. Durch die Auslagerung bei erhöhten Temperaturen bis zu 240 °C kann die für die Selbsthärtung benötigte Zeit von einigen Tagen signifikant verkürzt und das erzielbare Niveau der statischen mechanischen Eigenschaften erhöht werden. Durch die Kenntnis der GPR-Funktion kann eine maximale Festigkeit berechnet werden bzw. durch den Parameter P aus dem Shercliff-Ashby Modell kann bei gewählter Zeitbasis die einzustellende Auslagerungstemperatur berechnet werden.

Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeit auf, gezielt und reproduzierbar mechanische Kennwerte von Druckgussteilen aus der Legierung Al Si9Cu3(Fe) durch eine geeignete Temperatur- und Zeitwahl bei der Warmauslagerung einzustellen bzw. zu berechnen. Bei Auslagerungstemperaturen über 200 °C können somit Wärmebehandlungszeiten von 0,5 bis 2 h ausreichen, um gewünschte und hohe Festigkeitseigenschaften einzustellen.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sind auch dann hilfreich, wenn bei Gussteilen im Einsatz Betriebstemperaturen von größer 120 °C erreicht werden. Durch eine vorhergehende, sinnvolle und auf eine spätere Betriebs- oder auch Vollast-Temperaturbelastung abgestimmte Warmauslagerung wird bei gezieltem Überschreiten des Festigkeitsmaximums der Werkstoff stabilisiert und kein Duktilitätsminimum mehr durchfahren.

Das Einsatzgebiet der Legierung Al Si9Cu3(Fe) wird durch eine gezielte Warmauslagerung (T5) deutlich erweitert. Insbesondere gilt das für die hier vorgestellte Kombination von Kalt- und Warmauslagerung (T1+T5):

Alle Vorteile, wie

- kurze Auslagerungsdauer
 - höchste Festigkeiten bei noch hohem Dehnungsniveau
 - stabilisiertes Gefüge
 - Maß- und Verzugsstabilität
 - und somit Einsatztauglichkeit bei höheren Betriebstemperaturen,
- lassen sich bei vollständiger Kaltauslagerung und nachfolgender Wärmebehandlung unter Verwendung von Auslagerungstemperaturen von 180 bis 240 °C realisieren.

Dank

Die Autoren danken der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft für die Unterstützung der vorliegenden Arbeit im Rahmen des Förderprogrammes Prokis.

Literatur

- 1 Silcock, J. M.: J. Inst. Met., Vol. 89, 1960-61, S. 203-210.
- 2 Dreyer, K. L.: Metall, Heft 1/2, September 1947, S. 3-8.
- 3 Altenpohl D.: Aluminium von innen betrachtet, Aluminium-Verlag, Düsseldorf 1979.

- 4 Aluminium-Taschenbuch, Band 2, Aluminium Verlag, Düsseldorf 1999, 15. Auflage.
- 5 Kelly, A.; Nicholson, R. B.: Precipitation Hardening, Progress in Materials Science, Vol. 10, Nr. 3, Pergamon Press, 1963.
- 6 Starink, M. J.; van Mourik, P.: Metall. Transactions A, Vol. 22A, 1991, S. 665 – 674.
- 7 Hornbogen, E.; Warlimont, H.: Metallkunde, Aufbau und Eigenschaften von Metallen und Legierungen; 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991.
- 8 Gerold, V.: Precipitation Hardening; Dislocations in Solids; Vol. 4, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 1979.
- 9 EN 1706:1998: Aluminium und Aluminiumlegierungen, Gussstücke, Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften, Europäisches Normungsinstitut
- 10 Minkoff, I.: Solidification and cast structure, John Wiley and sons Ltd., Chichester, 1986.
- 11 Willig, V.; Heimendahl, M.; Wischnak, W.: Z. Metallkunde, Band 66, Nr. 3, 1975, S. 127 – 131.
- 12 Zafar, S.; Ikram, N.; Shaikh, M. A.; Shoaib, K. A.: J. Mater. Sci., 25, 1990, S. 2595-2597.
- 13 Petzow, G.; Effenberg, G.: Ternary alloys, Volume 5, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1992.
- 14 Pabel, T.; Rockenschaub, H.: Seminar Aluminium-Technologie, Grundlagen, Österreichisches Gießerei-Institut, Leoben, 2004.
- 15 Hornbogen, E.; Mukhopadhyay, A. K.; Starke, E. A.: Z. Metallkunde, Bd. 83, H. 8, 1992, S. 577 – 584.
- 16 Yu, S.: Untersuchung zur Aushärtung der Legierung G-AlSi9Cu3, Wissenschaft und Technik Verlag Gross, Berlin, 1996.
- 17 Czikel, J.; Sabath, G.; Schindlbacher, G.: Studien zur Gießtechnik von Prüfstäben im Druckgießverfahren und zu den Eigenschaften der Legierung GD-AlSi9Cu3, Gießerei-Rundschau, Nr.4, 1987, S. 7 – 21.
- 18 DIN 1725, Teil 2: Aluminiumlegierungen, Gusslegierungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1986.
- 19 Jacobs, M. H.: Precipitation Hardening, Talat Lecture 1204, 1999, EAA – European Aluminium Association.
- 20 Forschungsinstitut für Elektronenmikroskopie, Zentrum für Elektronenmikroskopie Graz: Technische Kurzbeschreibung FIB-Säge, www.felmizfz.tugraz.at, Graz, 2005.
- 21 Rockenschaub, H.; Pabel, T.; Geier, G.; Hopfinger, M.: Beschleunigung der Auslagerungsvorgänge der Druckgusslegierung AlSi9Cu3(Fe) bei gleichzeitiger Erhöhung der statischen mechanischen Eigenschaften – Teil 1, Druckguss-Praxis, Nr. 3, 2005, S. 95–104.
- 22 Pabel, T.; Rockenschaub, H.; Geier, G.; Hopfinger, M.; Kothleitner, G.: Beschleunigung der Auslagerungsvorgänge der Druckgusslegierung AlSi9Cu3(Fe) bei gleichzeitiger Erhöhung der statischen mechanischen Eigenschaften – Teil 2, Druckguss-Praxis, Nr. 4, 2005, S. 137–146.
- 23 Shercliff, H. R.; Ashby, M. F.: Acta Mat. Met., 1990, S. 1789–1803 und P.A.
- 24 Aluminium-Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, Ohio, 1984.
- 25 Schindlbacher, G.: Einfluss unterschiedlicher Porosität auf die mechanischen Eigenschaften der Legierung GD-AlSi9Cu3, Gießerei-Praxis, Nr. 19, 1993, S. 381–392.
- 26 Rometsch; Schaffer, G.B.: Mat. Science Eng., 2002, S. 424–434.
- 27 Franz, H.: Über die Aushärtung von Al-Cu-Legierungen, Aluminium-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1957, S. 9 ff.
- 28 Bargel, H.J.; Schulze, G.: Werkstoffkunde; 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000.
- 29 Rockenschaub, H.; Pabel, T.; Geier, G.; Hopfinger, M.: Beschleunigung der Auslagerungsvorgänge der Druckgusslegierung Al Si9Cu3(Fe)(Zn) bei gleichzeitiger Erhöhung der statischen mechanischen Eigenschaften, Vortrag am 6. Internationalen Deutschen Druckgusstag, Nürnberg, 7. März 2006.
- 30 Bäckerud, L.; Chai, G.; Tamminen, J.: Solidification characteristics of aluminum alloys, Volume 2: Foundry alloys, AFS/Skanaluminium, Stockholm, 1990.
- 31 Centre Technique des Industries de la Fonderie, Metallografic Atlas of Cast Aluminium Alloys, Éditions Techniques des Industries de la Fonderie, 1989.

Kontaktadressen:

Österreichisches Gießerei-Institut, A-8700 Leoben, Parkstraße 21, Tel.: +43(0)3842 431010, Fax: +43 (0)3842 431011, E-Mail: office.ogi@unileoben.ac.at, www.ogi.at bzw. KTM-Sportmotorcycle GmbH, A-5230 Mattighofen, Stallhofnerstraße 3, Tel.: +43 (0)7742 6000 732, Fax: 5732, E-Mail: michael.hopfinger@ktm.at, www.ktm.at

Fehlerberichtigung

Im Beitrag „**Die Feinstaub-Herausforderung für die Stahlindustrie**“ von H. Sigmund in Heft 7/8 der Giesserei Rundschau 53 (2006), S. 146/148 sind die Abbildungen 3, 4 und 5 und deren Beschriftungen bedauerlicherweise vertauscht abgedruckt.

Die richtige Abbildungsreihenfolge ist:

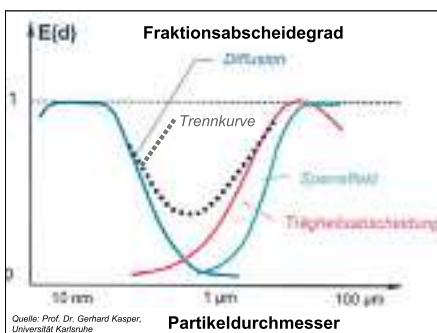


Abb. 3: Typische Trennkurve E(d) für einen Gasparkelfilter



Abb. 4: Sekundärentstaubung 2.2

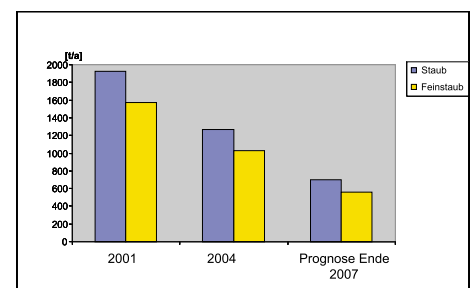


Abb. 5: Staub- und Feinstaub-Emissionen

Der Dieselmotor – technische und werkstoffseitige Aspekte seiner über hundertjährigen Entwicklung

The Diesel-Engine – Technical and Material Aspects of more than hundred Years of Development



Dr.-Ing. Karl-Heinz Caspers. Bis 1997 – seinem Übertritt in den Ruhestand – Hauptabteilungsleiter für die Warmbetriebe Gießerei, Schmiede, Härtereie und den Gesenk- und Modellbau in der MAN Nutzfahrzeuge AG, Nürnberg. Seither als Sachverständiger und beratender Ingenieur für das Gießereiwesen tätig.

Cesare Marchetti beschreibt in seiner Schrift „die magische Entwicklungskurve“ das Wesen der Innovation. Er unterscheidet zwischen Basisinnovation und einer Innovation im Produkt- und Prozessbereich. Als Basisinnovation gelten ausschließlich solche Entwicklungen, die Anlass zum Aufbau neuer Industrien wurden oder werden. Es bleibt festzustellen, Ideen, die zur Unzeit vorgestellt werden und nicht im Takt mit der historischen Gelegenheit stehen, können sich nicht als Innovation durchsetzen. Das Gießen von Metallen und Legierungen ist wahrscheinlich eine der ältesten erfolgreichen Basisinnovationen der Menschheit, aus der sich über die Jahrtausende hinweg eine sich ständig erneuernde und verbessernde Industrie entwickelt hat. Am Beispiel der erfolgreichen Entwicklung des Dieselmotors in den letzten hundert Jahren und den Meilensteinen seiner innovativen Gussteilentwicklung, die eng mit dem Gusswerkstoff Gusseisen verbunden ist, soll dieser Prozess nachfolgend dargestellt werden.



Bild 2: Der von Rudolf Diesel entwickelte gleichnamige Motor

Jahre 1897 nicht möglich gewesen. Seit der ersten Veröffentlichung hat der Dieselmotor entscheidende konstruktive Veränderungen erhalten und zur Ausbreitung der modernen Kraftmaschinen und Kraftfahrzeuge aller Art beigetragen.

Die Entwicklung des Dieselmotors ist bis heute auf das Engste mit der MAN Nutzfahrzeug AG verbunden. Bemerkenswert sei an dieser Stelle, dass der Lastwagen- und Motorenbau der MAN Nürnberg auf das Jahr 1915 zurückgeht und auf einer Lizenz der Schweizer Firma Saurer beruht. Gestützt auf dieses Know-how begannen ab 1923 die Entwicklung und der Bau eigener

Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. Der endgültige Durchbruch des Dieselmotors im Fahrzeugbau geht auf den Erfinder Robert Bosch und seine Einspritzpumpe im Jahr 1927 zurück.

2. Gusswerkstoffentwicklung

Das gute Belastungsverhalten von Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) ist seit langem bekannt und hat dazu beigetragen, dass Nutzfahrzeug-Dieselmotorengehäuse überwiegend aus Gusseisenlegierungen gefertigt wurden und werden. Gusseisen mit Lamellengraphit als Konstruktionswerkstoff unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von anderen metallischen Systemen:

- Die Legierung besteht aus einem metallischen und einem nicht-metallischen Element (Eisen, Kohlenstoff)
- Bei stabiler eutektischer Erstarrung kommt es zur Ausbildung eutektischer Körner,
- Eine schnelle Abkühlung führt zur metastabilen Erstarrung,
- Die Volumenkontraktion kann bei der stabilen Erstarrung ausgeglichen werden (Selbstspeisung)
- Festigkeit und E-Modul werden durch die chemische Zusammensetzung, die eutektische Körnerzahl, die Graphitform und das Grundgefüge bestimmt.

Stellvertretend auch für andere technische Bereiche mag die Entwicklung des Leistungsgewichts von schweren NKW-Dieselmotoren der Bauart MAN stehen. Den Ergebnissen im **Bild 3** sind zum bes-

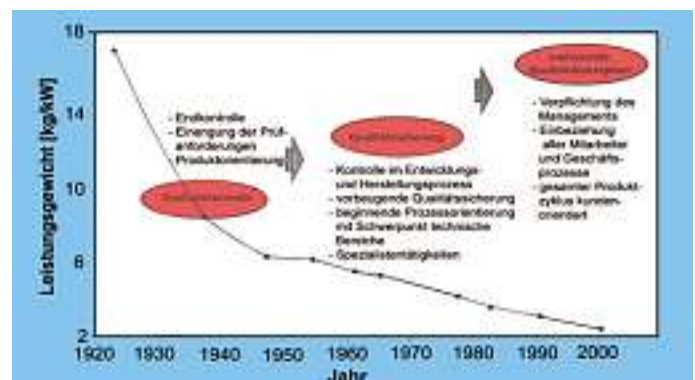


Bild 3: Verringerung des Leistungsgewichts von NKW-Dieselmotoren durch die Entwicklung des Qualitätswesens

1. Vom Dieselpatent zum Dieselmotor

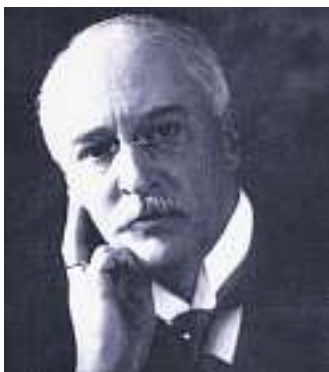


Bild 1: Der Erfinder des gleichnamigen Dieselmotors Rudolf Diesel (1858 – 1913)

Unter den vielen Erfindungen für Kraftmaschinen besitzt das, mit Wirkung vom 28. Februar 1892 erteilte Reichspatent Nr. 67.207 „Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen“, eine herausragende Stellung. Dem Ingenieur Rudolf Diesel (**Bild 1**) wurde zwar das Patent von Stuart aus dem Jahre 1890 entgegengehalten, obwohl Stuart nicht die gleichen Ziele verfolgte wie Diesel. Die verklausulierte Patentschrift besagt, dass bei diesem neuartigen Motorenprinzip zunächst Luft angesaugt und verdichtet

wird, aber erst in die hoch komprimierte Luft Brennstoff oder Kraftstoff dosiert und leicht verzögert, eingebracht wird. Infolge der durch die Verdichtung entstehenden hohen Temperatur soll sich die Selbstzündung ergeben. Danach erfolgt die Verbrennung, die aber nicht so schnell wie bei einer Funkenzündung abläuft, sondern sich nach und nach entwickelt. Der durch das Freiwerden der Verbrennungswärme erzeugte Druckanstieg wird auf einen längeren Zeitraum ausgedehnt und die Druckspitze abgebaut. Das bedeutet insgesamt eine bessere Energieausbeute und, da die Zündkerze wegfällt, kann ein solcher Motor auch geringwertige Brennstoffe verkraften, darf aber nicht veräußert werden. Bekanntlich erreichte Diesel sein Ziel der isothermen Kompression nicht. Im **Bild 2** ist der erste Versuchsmotor von Diesel zu sehen. Es ist das unschätzbare Verdienst des Unternehmers Heinrich Buz von der Maschinenfabrik Augsburg, dass dem Dieselpatent auch die Motorenkonstruktion folgte. Ohne die langjährige, großzügige Unterstützung in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht wäre eine Motorenentwicklung bis zum ersten offiziellen Probelauf mit Zertifikat im

seren Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen Konstruktionserfahrungen, Werkstoff- und Verfahrensentwicklung sowie dem zunehmenden Qualitätsdenken die drei wesentlichen Perioden zugeordnet. Alle Fortschritte in der Frühzeit des Motorenbaus beruhen vorwiegend auf einer detaillierten Qualitätskontrolle der einzelnen Bauteile, Komponenten, Montage und Endabnahme der Motoren beim Probelauf. Bezüglich der Werkstoffoptimierung spielen die verschiedenen Herstellungsverfahren eines so genannten „Perlitgusses“ mit Namen wie Lanz, Krupp, MAN, Sulzer, Maschinenfabrik Esslingen, Thyssen, Corsali und andere eine bedeutende Rolle. Die grundlegenden Kenntnisse über den Einfluss der Gefügemerkmale auf die mechanischen Eigenschaften des Gusseisens waren zu dieser Zeit (1925 bis 1930) bereits bekannt.

Die mechanischen Eigenschaften des Gusseisens nehmen nach wie vor eine dominante Stellung bei der Bewertung ein. In der **Tabelle 1** sind Untersuchungsergebnisse über vier Jahrzehnte zusammengefasst, die verdeutlichen, welche Veränderungen im Schmelzbetrieb durchgeführt werden mussten, um die notwendige Qualität des Werkstoffes zu erzeugen. Schmelzverfahren und Gattierung zeigen stellvertretend auch für andere Technologiebereiche, wie etwa das Formen und Kernherstellen, dass teilweise revolutionierende Prozessänderungen notwendig waren, die große Investitionen erforderlich machten. Das stetige Anheben des Festigkeitsniveaus ist zwar durchaus bemerkenswert, von weit größerer Tragweite ist jedoch das Vermindern der Streuung und die Erhöhung der Treffsicherheit (**Bild 4**). Das Absenken der Streuung „s“ wurde durch eine Flüssigeisenkontrolle (100 % Prüfung) in den vergangenen Jahren erreicht und liegt heute bei einem Wert von etwa 15 N/mm².

Unlegiertes und legiertes GJL hat sich als Werkstoff für Zylinderköpfe, Kurbelgehäuse, Schwungräder, Zylinderlaufbüchsen und andere Teile, über viele Jahrzehnte bewährt. Der hohe Gebrauchswert resul-

Probenzahl N	Mittelwert X [N/mm ²]	Streuung S [N/mm ²]	Variationskoeffizient V [%]	Metallurgische Maßnahme
31	235	40,0	17,0	1952: Diskontinuierlicher Kaltwindofenbetrieb ohne Vorherd mit 45 % Roheisen
42	239	38,0	15,9	1958: Kontinuierlicher Kaltwindkuppelofenbetrieb mit Vorherd und 35 % Roheisen
110	257	30,5	11,9	1964: Kontinuierlicher Heißwindkuppelofenbetrieb mit Vorherd und Einheitsgattierung bei 35 % Roheisen
185	268	29,8	11,12	1970: mit 20 % Roheisen und 50 % Stahlschrott
174	271	29,0	10,7	1976: mit 7 % Roheisen und 60 % Stahlschrott
145	279	24,5	8,8	1982: Mit neuem Behandlungsverfahren für das Flüssigeisen
115	2812	24,0	8,5	1988: mit Mikrolegierung
35	295	23,4	7,9	Induktionstiegelofen zum Schmelzen von CrMo-legiertem Sondergusseisen
?	?	15,0	?	2005: ???

Tabelle 1: Entwicklung von Mittelwert x und Streuung s sowie des Variationskoeffizienten V in der Fertigung von Gusseisenkomponenten für Dieselmotoren [2]

tiert aus der umfassenden Kenntnis, in welcher Weise die Bauteile mechanisch durch statische und dynamische Beanspruchung, physikalisch durch Wärme und Abrieb und chemisch durch Korrosion, belastet werden können. Um die ständig steigenden Anforderungen an die Gussteile zu erfüllen, erwies sich vor allem die thermische Analyse als schnelles, direktes und zuverlässiges Prüfverfahren im Schmelzbetrieb. Sie war für die beginnende Prozessorientierung um 1970 im Rahmen einer präventiven Qualitätssicherung ein entscheidender Fortschritt. Unabhängig vom Schmelzaggregat besteht zwischen der Zugfestigkeit und dem Erstarrungsintervall (LT-ST) eine enge Beziehung (**Bild 5**). Untersuchungsergebnisse belegen eine gute Vorher-

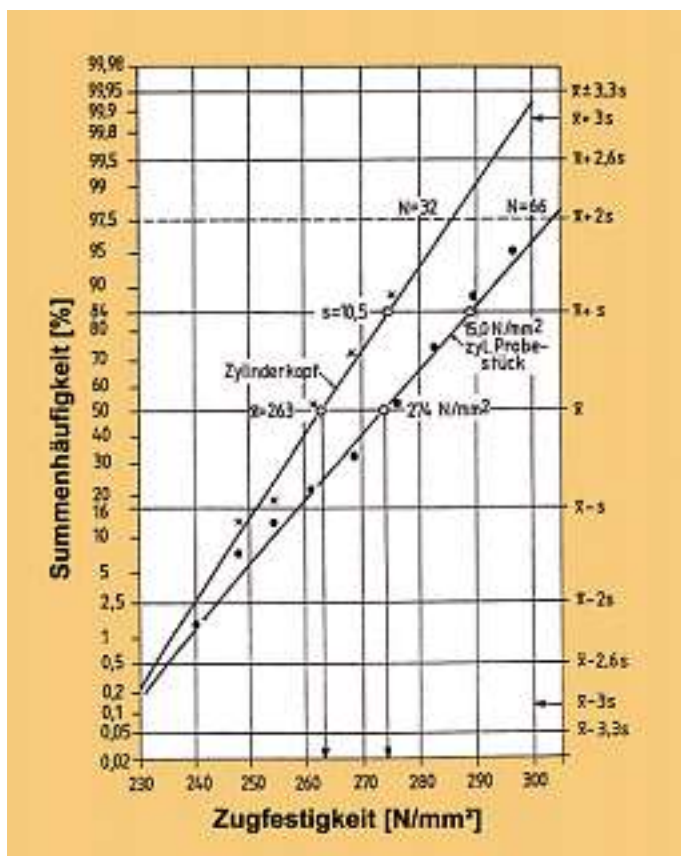


Bild 4: Häufigkeitsverteilung der Zugfestigkeit von synthetischem Gusseisen für Zylinderköpfe

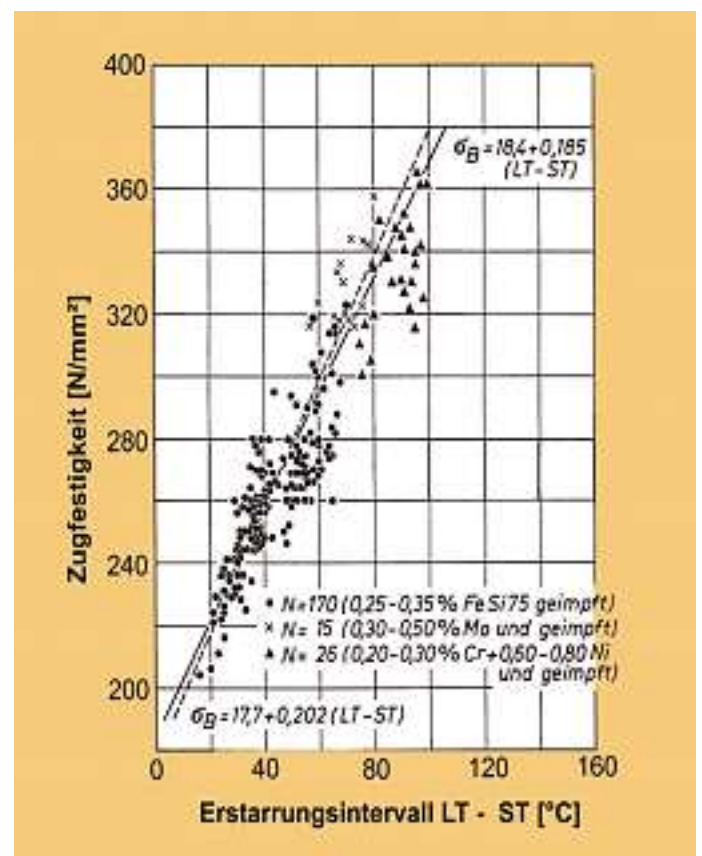


Bild 5: Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Erstarrungsintervall

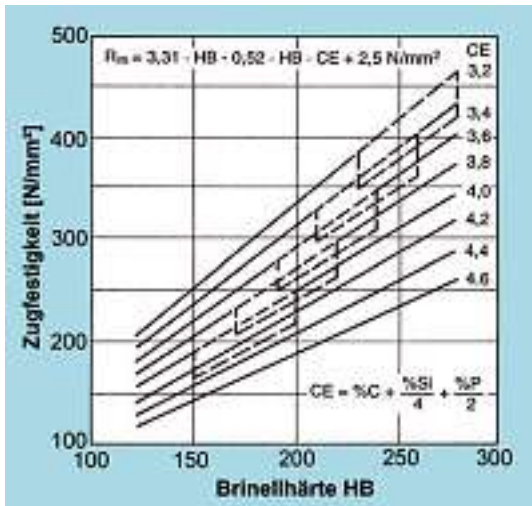


Bild 6: Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Brinellhärte von Gusseisen mit Lamellengraphit

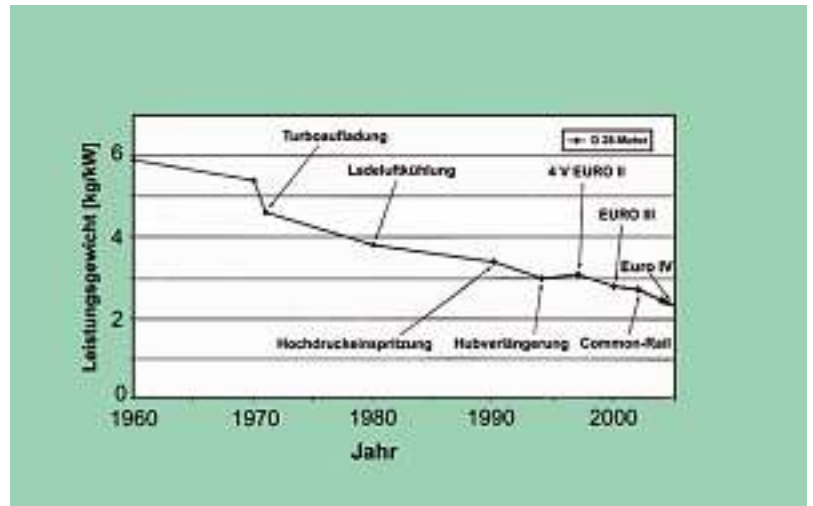


Bild 8: Entwicklung des Leistungsgewichts bei Fahrzeugdieselmotoren der Bauart MAN [1]

sage der zu erwartenden Festigkeit. Aus Streuungsanalysen ist der Wirkungsgrad der chemischen Zusammensetzung auf die Zugfestigkeit von 68 % bekannt.

Eine weitere interessante Eigenschaft ist die Brinellhärte des Werkstoffs, die für bestimmte Sorten fast ausschließlich von der Gefügematrix abhängt. Unterschiede im Gehalt an gebundenem Kohlenstoff und im Abstand der Zementitlamellen zu den Perlitkörnern sowie in der Ausbildung des Phosphitnetzes und der Carbid- und Nitrideinlagerungen zeigen Auswirkungen auf das Niveau und die Streuungen dieses Qualitätsmerkmals. Den Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Brinellhärte für unterschiedliche chemische Zusammensetzungen veranschaulicht **Bild 6**.

Ein besonderer Vorzug des Gusseisens sind die möglichen Eigenschaftskombinationen, die die Entwicklung der Motorenteile seit Einführung des Dieselmotors im Fahrzeugbau maßgeblich beeinflussten. Für die sachgerechte Anwendung ist die Wärmeleitfähigkeit eine Kenngröße von größter Wichtigkeit. Sie wird in erster Linie vom Gehalt an Kohlenstoff und der Graphitform bestimmt. Vor allem Zylinderköpfe unterliegen hohen thermomechanischen Beanspruchungen im Fahrbetrieb. Die Ergebnisse einer frühen Forschungsarbeit um 1970 sind im **Bild 7** dargestellt. Ohne die Kenntnisse dieser Beziehungen in Abhängigkeit von der Prüftemperatur wären technische Fortschritte bei der Motorenauslegung nur begrenzt möglich gewesen. Daraus ist zusammenfassend zu schließen, dass es den besten Werk-

stoff schlechthin nicht gibt, wohl aber den am besten geeigneten für eine bestimmte Anwendung. Ein gutes Beispiel hierfür sind Kurbelgehäuse, bei denen die vielfältigen Eigenschaftskombinationen heute voll ausgeschöpft werden.

3. Die Dieselmotorenentwicklung im Nutzfahrzeugbereich

Am Anfang standen Erfinder und risikobereite Unternehmer, die die guten Möglichkeiten des Formgebungsverfahrens Gießen und des Gusseisens als den geeigneten Werkstoff für den Motorenbau zu nutzen wussten. Aus Sicht des Metallurgen und Gießers ist das Leistungsgewicht eine integrale Kenngröße für die zahlreichen Innovationen aus dem Gesamtbereich der Technik und des Qualitätswesens. Die Ergebnisse der Evolution eines Schwerlastwagenmotors sind im **Bild 8** enthalten. Bewusst wurden nur wenige Meilensteine der technischen Fortschritte eingetragen, denen jedoch auch zu allen Zeiten eine Anzahl konstruktiver und verfahrenstechnischer Verbesserungen vorausgingen.

Außer dem Leistungsgewicht sind vor allem die Verbrauchswerte des Kraftstoffs und der Wirkungsgrad der Motoren von überragender Bedeutung. Hierzu wird in **Bild 9** der Verlauf in Richtung immer sparsamer werdender Motorentypen wiedergegeben. Mit der Einführung einer neuen Motorengeneration und der Turboaufladung in

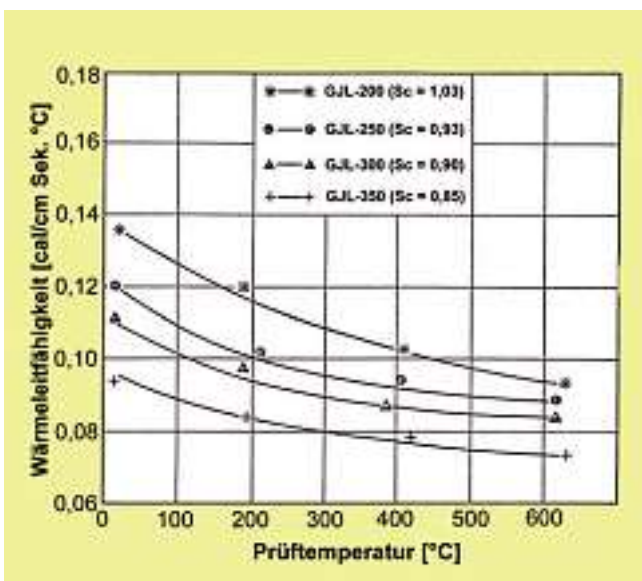


Bild 7: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Gusseisensorten

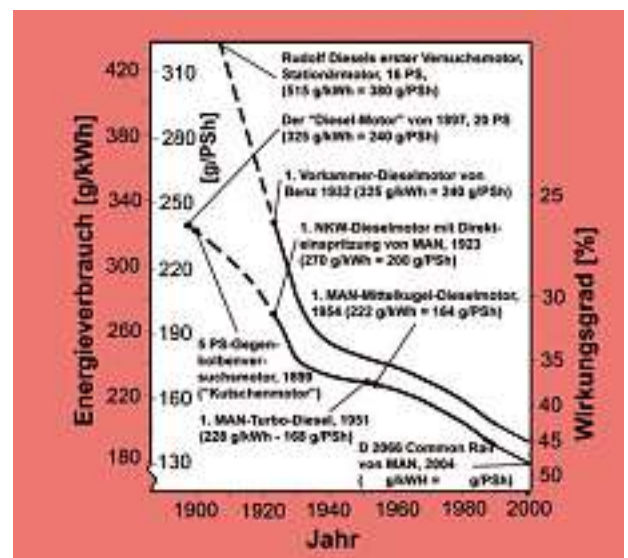


Bild 9: Der Kraftstoffverbrauch in seiner Abhängigkeit von der Dieselmotorenentwicklung [1]

Gewünschte Eigenschaft	Gewünschtes Gefüge		Erfüllungsgrad		
	Gra-phit	Mat-rix	Gusseisen mit Lamellengraphit GJL	Gusseisen mit Vermiculargraphit GJV	Gusseisen mit Kugelgraphit GJS
Hoher E-Modul	K	Zw	X	XXX	XX
Hohe statische Festigkeit	K	Zw	X	XXX	XX
Hohe dynamische Festigkeit	K	Zw	X	XXX	XX
Geringe Kerbempfindlichkeit	L	F	XXX	XX	XX
Hohe Grenzflächenpressung	L	Zw	XXX	XX	XX?
Hohe Wärmeleitfähigkeit	L	F	XXX	X	XX
Hohe Dämpfung	L	F	XXX	X	XX
Tribologische Eigenschaften der Laufbuchse	L	P	XXX	X?	XX?
Gießbarkeit	L	F/P	XXX	X	XX
Geringe Wanddickenabhängigkeit	K	F	X	XXX	X
Bearbeitbarkeit	L	F	XXX	X	XX
Geringe Rohteilkosten	L	F/P	XXX	XX	X

XXX – guter, XX – mittlerer, X - geringer Erfüllungsgrad
 L – Lamellengraphit, K – Kugelgraphit, V – Vermiculargraphit
 F – Ferrit, P – Perlit, Zw – Zwischengefüge
 ? – Annahme, da keine signifikanten Messwerte vorlagen

Tabelle 2: Algorithmus zum relativen Vergleich der mechanischen, physikalischen und technologischen Kennwerte der Guseisensorten GJL, GJV und GJS (nach [3])

den neunziger Jahren des 20. Jhdts. beginnt eine weitere noch nicht abgeschlossene Entwicklungsepoche. Sie wird gekennzeichnet durch kontinuierliche Leistungssteigerung, Kraftstoffminimierung, Wirkungsgradsteigerung sowie Verbesserungen im Laufverhalten und in der Zuverlässigkeit der Aggregate.

Die gemeinsame Betrachtung der **Bilder 8 und 9** verdeutlicht, dass sich in der Dieselmotorentechnik eine faszinierende Evolution abgespielt hat. Die europäischen Abgasnormen Euro I bis Euro IV bewirkten immer kürzere Entwicklungsschübe. Neben der ersten Einspritzpumpe kommen weitere bahnbrechende Innovationen auch heute noch von der Firma Bosch. Dazu zählen zum Beispiel die Hochdruck-Hubschieberpumpe, Radial-Kolbenverteilerpumpe, Pumpe-Düse-Einheit, Pumpe-Leitung-Düse-System und die Speichereinspritzung „Common Rail“. Letztere kennzeichnet den jüngsten Entwicklungsstand verschiedener Baureihen bei MAN.

4. Derzeitiger Stand der NKW-Dieselmotorenentwicklung

Harter Wettbewerb, verschärfter Umwelt- und Klimaschutz, hoher Fahrkomfort, lange Lebensdauer, geringe Wartung und gutes Kosten-/



Bild 10: Der neue Sechszylinder-Dieselmotor D 2066 Common Rail von MAN

Nutzungsverhältnis sind Aspekte, die heute bei einer neuen Motorenkonzeption berücksichtigt werden müssen. Im Nutzfahrzeugbau verlief in den letzten Jahren die Entwicklung zu immer höherer spezifischer Leistung bei verringertem Kraftstoffverbrauch mit dem Ziel, weitere Reduzierungen bei den Abgaswerten und Erhöhungen der Nutzlast zu schaffen. Um dieses Ziel auch unter den verschärften Prämissen der Abgasgrenzwerte von Euro IV und Euro V zu erreichen, sind Spitzen drücke von über 200 bar erforderlich. Das führt zu höheren mechanischen und thermischen Belastungen der Motorenbauteile, vor allem des Zylinderkurbelgehäuses und des Zylinderkopfes. Nach in [3] vorgestellten Untersuchungen erfordern diese Komponenten im NKW- und Schifffahrtssegment sowie bei leistungsstarken stationären Motoren wegen der daraus resultierenden steigenden Anforderungen bezüglich der Dauer- und Warmfestigkeit auch weiterhin den Einsatz der Gusseisenwerkstoffe. Neben dem gegenüber den Leichtmetallen bedeutend höheren Belastungseigenschaften spielt bei dieser Entscheidung nicht zuletzt auch die wirtschaftlichere Fertigung dieser Gusskomponenten – denn der Eisenguss verfügt über das günstigere Preis-/Leistungsverhältnis – eine wichtige Rolle.

Aus dem Algorithmus der **Tabelle 2** geht hervor, dass keine der heute gebräuchlichen Guseisensorten, Gusseisen mit Lamellengraphit (alt: GG, neu: GJL), Gusseisen mit Vermiculargraphit (alt: GGV, neu: GJV) und Gusseisen mit Kugelgraphit (alt: GGG, neu: GJS) allen Anforderungen gerecht wird, aber alle diese Werkstoffe Potenziale besitzen, um im Hochleistungsbereich der Dieselmotoren eingesetzt werden zu können. Hochfestes Gusseisen mit Lamellengraphit eignet sich beispielsweise wegen der guten Ver gießbarkeit,

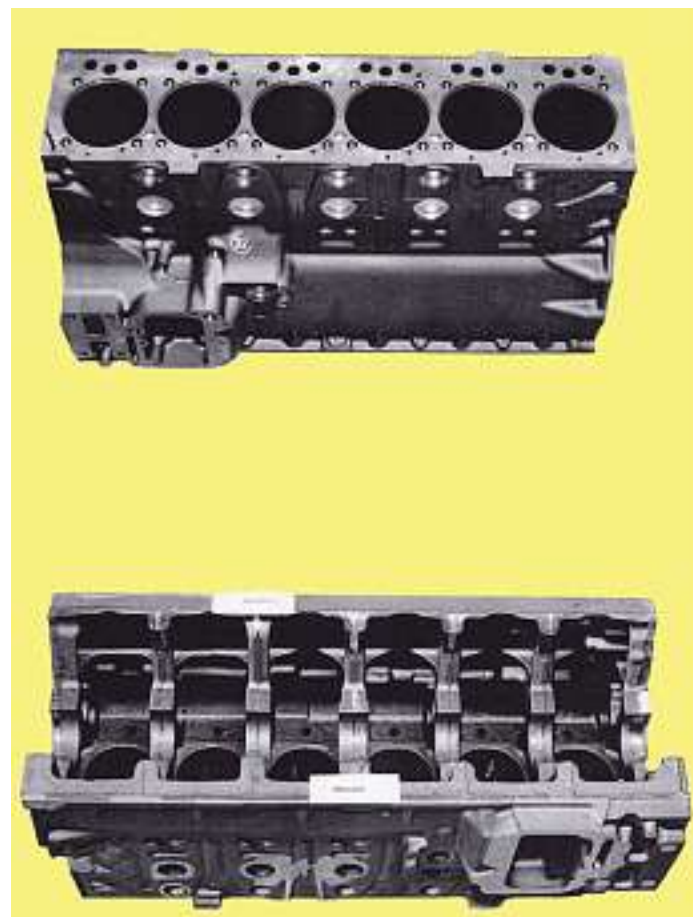


Bild 11: Erstes serienmäßiges Kurbelgehäuse aus Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV) von MAN

Bearbeitbarkeit und seines Rohstoffpreises für NKW-Zylinderköpfe. Im höher belastbaren Bereich besitzt das Gusseisen mit Vermiculargraphit gute Anwendungseigenschaften [3]. Gusseisen mit Kugelgraphit hat zwar die höchsten Festigkeitseigenschaften, lässt sich aber schlechter gießen und ist deshalb für solch komplizierte Motorenkomponenten nicht günstig. Für die Entwicklung der neuen Dieselmotorgeneration von MAN fiel deshalb die Entscheidung auf den Werkstoff GJV.

In nur vierjähriger Entwicklungszeit entstand im Werk Nürnberg der MAN Nutzfahrzeuge das völlig neue Aggregat „D 2066 Common Rail“. Abgesehen von Zylinderzahl und Hub bestehen zu dem Vorgängertyp kaum noch Gemeinsamkeiten. Ob Einspritzung, Kühlung, Schmierung, Lagerung, Motorblock und Zylinderkopf, alles ist bei dieser Konstruktion neu durchdacht. In einigen Bereichen wurde mit diesem Motor Neuland betreten. Kaum vorstellbar sind auch für den Fachmann die im Vergleich zu früheren Motoren erreichten Gewichtseinsparungen von 100 kg und die Senkung des Bauteilanteils um 25 % sowie die Beherrschung der Verbrennungsdrücke bis 200 bar. Eine entscheidende Voraussetzung für diesen Fortschritt sind ein sicheres Herstellungsverfahren der Gussteile und die serienmäßige Verwendung von Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV). Der kompakte Leichtbau, beruhend auf Erfahrungswissen, kreativen Ingenieurleistungen und optimaler Werkstoffausnutzung bei der neuen Motorenregeneration ist im **Bild 10** zu sehen.

Als Schlüsselbauteil der neuen Motorenbaureihe gilt das Kurbelgehäuse (**Bild 11**). Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV-450) ist eine hochfeste Werkstoffvariante, die im Vergleich zur reinen lamellaren Ausbildung des Kohlenstoffs beim GJL größere Steifigkeit und Dauerfestigkeit bewirkt. Nur durch Verwendung dieses innovativen Werkstoffes boten sich die Möglichkeiten der hohen Gewichtsreduzierung und der Integralbauweise, bei der die Kurbelwellenlagerdeckel am Gusstück gleich angegossen werden konnten. Die Hauptlager des Kurbelgehäuses werden gecracked. Cracken ist das kontrollierte Trennen durch Bruch. Es entstehen lagefixierte und formschlüssige Fügestellen, die hohe Querbelastrungen ertragen können.

Werkstoffentwicklung und -prüfung und der anwendungsbezogene Einsatz haben bei der MAN seit ihrer Gründung 1840 eine lange Tradition. Sie trugen maßgeblich zum Erfolg des Dieselmotorenbaus sowohl in Augsburg als auch insbesondere in Nürnberg bei.

5. Zusammenfassung

Seit der Erfindung des Dieselmotors sind Ingenieure mit den Problemen der Werkstoffwahl, der Herstellungs- und Verfahrenstechnik sowie der Gusserzeugung befasst. Gusseisen hat sich dabei über einhundert Jahre bewährt und innovative Lösungen in der Dieselmotorenteknik ermöglicht. Die vielseitigen Gebrauchseigenschaften wurden systematisch den Erfordernissen des Motorenbaues – insbesondere der Nutzfahrzeug-Dieselmotoren – angeglichen.

Herausragendes Ereignis in früheren Jahrzehnten war stets die Einführung neuartiger Motorenregenerationen, die sich bei der MAN Nutzfahrzeuge auf das Jahr 1915 zurückführen lässt. Die jüngste Motorenentwicklung D 2066 Common Rail besitzt mit den Vorgängertypen kaum noch Gemeinsamkeiten und die erzielten Verbesserungen sind auf das Engste mit dem Fortschritt der Gießereitechnik verknüpft. Hierbei ist der innovative Sprung vom Gusseisen mit Lamellengraphit zum Gusseisen mit Vermiculargraphit als Meilenstein in der Produktions- und Bearbeitungstechnologie zu sehen. Damit ist für diesen Werkstoff der serienmäßige Einsatz und der endgültige Durchbruch gelungen. Die besseren mechanischen Eigenschaften bieten ein großes Potential zur weiteren Evolution im Dieselmotorbau. Schlussendlich bleibt so festzustellen, dass Gusseisen auch im 21. Jhdt. seinen hohen Stellenwert als Konstruktionswerkstoff zu behaupten vermag.

6. Schrifttum

- [1] Informationen des MAN Archivs.
- [2] Caspers, K.-H.: Tagungsband Gießereihistorisches Kolloquium, Düsseldorf 2005.
- [3] Müller, H., u. F. Schönfeld: Gusseisenwerkstoffe mit Lamellen- und Vermiculargraphit für Kurbelgehäuse und Zylinderköpfe in Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. In konstruieren + gießen 28 (2003) H. 3, S. 5–11.

Kontaktadresse:

Dr.-Ing. Karl-Heinz Caspers,
D-90571 Schwaig, Steingartenweg 1,
Tel.: +49 (0)911 505001, www.man-mn.com

+GF+

GEORG FISCHER
PIPING SYSTEMS

Tempergussfittings
mit dem doppelten Plus

Georg Fischer Fittings GmbH
3160 Traisen / Österreich
www.fittings.at

Adding Quality to People's Lives.



Mit neuen anorganischen Formstoffbindern auf dem Weg zur Serienreife im Aluminiumguss*)

New inorganic Core Binders – On the Way to Serial Production in Aluminium Casting



Dr.-Ing. Uwe Bischoff, nach Studium der Gießereitechnik an der TU Freiberg mit Abschluss 1988 Berufseinstieg im Metallgusswerk Leipzig. Danach 1990 – 1998 bei Kloth-Senking Metallgießerei Hildesheim als Qualitäts- und technischer Werksleiter tätig. Seit 1998 Gießereileiter bei Volkswagen Nutzfahrzeuge. 2003 Promotion an der TU Freiberg



Dipl.-Ing. Patrick Voigt, Studium Maschinenbau an der Universität Hannover mit Abschluss 2005.

Seither Doktorand der Fachrichtung Gießereitechnik bei Volkswagen Nutzfahrzeuge Hannover.

Auf der WFO/VDG-Konferenz „Emissionsreduzierte Binder in der Kern- und Formherstellung“ im November 2005 in Hannover stellte die Volkswagen Gießerei Hannover in Zusammenarbeit mit Hüttenes-Albertus den erfolgreichen Einsatz des anorganischen Formstoffbinders Cordis vor. Es wurden mehrere Beispiele zu laufenden Formstoffuntersuchungen präsentiert [1], die sich mit den Anforderungen der Gießer an die neuen anorganischen Kernbindersysteme, insbesondere mit den physikalischen und emissionsreduzierenden Eigenschaften, beschäftigen.

Anforderungen an neue anorganische Kernbinder:

- Emissionsreduzierung am Arbeitsplatz und in der Umwelt
- Prozessorientierte Bearbeitungszeiten der Formstoffmischung
- Hohe Lagerstabilität der Kerne unter Einbehaltung der geometrischen Bedürfnisse bei gegebenen Umweltbedingungen
- Qualm- und Emissionsreduzierung beim Gießen
- Keine Kondensatbildung in der Kokille
- Hohe Gussteilqualität bei gleichzeitiger Steigerung der Oberflächenstruktur
- Hohe Prozesssicherheit bei der Kernfertigung und Verarbeitung
- Regeneration des Kernaltsandes
- Hohe Produktivität für den wirtschaftlichen Einsatz in der Großserie

Um die Einführung des anorganischen Systems in der Großserie zu realisieren, wurde Anfang 2005 mit dem Aufbau einer Pilotanlage zur Kernherstellung in der Leichtmetallgießerei Hannover begonnen. Es erfolgte der Aufbau einer Laempe LFB 20 Kernschießmaschine, für die ein für anorganische Bindersysteme optimiertes Kernwerkzeug zur Produktion von Saugrohrkernen angefertigt wurde. Mit den dabei gewonnenen Ergebnissen und Erfahrungen ist die Pilotanlage um eine Laempe Kernschießmaschine LBB 25 erweitert worden, um den Einsatz der anorganisch gebundenen Kerne im Zylinderkopfguss zu untersuchen.

Die folgenden vorgestellten Untersuchungen basieren auf dem Einsatz des Cordis-Bindersystems. Charakteristisch für dieses System ist der Aufbau aus zwei Komponenten. Der Binder baut sich aus einer

modifizierten Silikatlösung, mit Wasser als alleinigem Lösungsmittel, und einem rein anorganischen Additiv, das sich aus mehreren synthetischen und mineralischen Komponenten zusammensetzt, auf.

Durch den Einsatz des Additivs können wichtige Funktionen und Eigenschaften des Kernes gezielt eingestellt und gesteuert werden. Dazu zählen die Fließfähigkeit, die Reaktivität der Formstoffmischung sowie die Benetzung des Kernes durch die Aluminiumschmelze.

Die Morphologie der Binderbrücken lässt sich sehr gut mit Hilfe rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen (REM) untersuchen. In **Abb.1** ist die charakteristische Ausbildung des Kornverbundes im Formstoff gut zu erkennen.

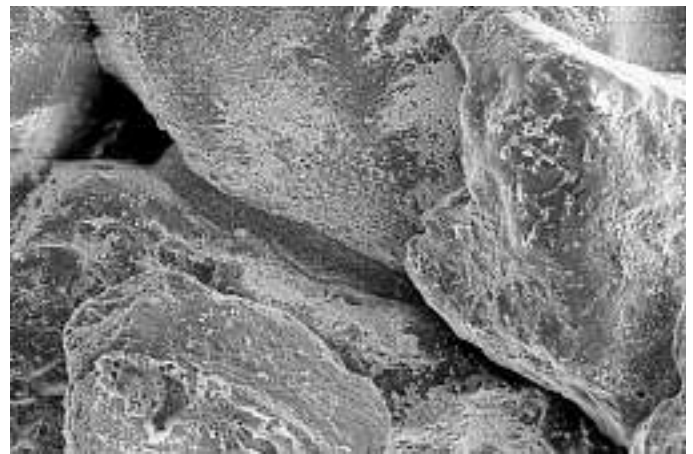


Abb.1: REM Aufnahme einer Cordis-Binderbrücke bei 296-facher Vergrößerung [2]

Die sich ausbildenden Binderbrücken ergeben den Vorteil einer hohen mechanischen Festigkeit mit der erforderlichen Gasdurchlässigkeit im Formstoff. Untersuchungen im Formstofflabor belegen diese charakteristische Eigenschaft [1].

Die folgende Aufstellung beschreibt die Eigenschaften des Cordis-Systems und bildet die Grundlage für die Auslegung der Maschinen- und Werkzeugtechnik:

- | | |
|--------------------|---|
| ● Aushärtung | kombinierte physikalisch/ chemische Verfestigung im warmen Werkzeug mit Einsatz warmer Spülluft |
| ● Sofortfestigkeit | Vergleichbar mit organischen Systemen [1] |
| ● Bindermenge | Abhängig von Kerngeometrie und Volumen 2 – 3% |
| ● Aushärtezeiten | Abhängig von Kerngeometrie und Volumen 25-40 s |
| ● Schießdüsen | durch gezielte Befeuchtung keine Reinigung erforderlich |
| ● Heizsystem | elektr. Heizstäbe im Kernwerkzeug, beheizbares Begasungssystem |
| ● Trennmittel | nicht notwendig |

Die zur Formstoffaufbereitung notwendigen Mischer und Dosieranlagen sind gängiger Bauart und sind aus bestehenden Systemen übernommen worden. Die Entkernung der Gussbauteile erfolgt mittels einer mechanischen Rüttlereinheit in der Gießerei.

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit anorganischer Systeme wurden 3 Produkte aus der Serienproduktion in Hannover ausgewählt. Anhand eines Saugrohres und von zwei Zylinderköpfen sollen im Folgenden einige Erfahrungen beim Einsatz unter Serienbedingungen veranschaulicht werden.

*) Der Beitrag basiert auf einem Vortrag, der auf der internationalen WFO/VDG-Tagung „Emissionsreduzierte Binder in der Kern- und Formherstellung“ am 23. November 2005 in Hannover gehalten wurde.

Für den Einsatz des anorganischen Cordis-Binders im Kokillenguss wurde der Zylinderkopf des 1.9 l R4 TDI ausgewählt. Die Kernwerkzeuge entsprachen dem Serienstand und sind für das WarmBox-Verfahren optimiert. Die in diesen Versuchen gesammelten Ergebnisse und Erfahrungen sind die Basis für die Konstruktion der Werkzeuge zur Kernfertigung für den 3.6 l VR6 FSI Zylinderkopf (**Abb.2**). Dies betraf besonders die Auslegung der Werkzeuge auf einen anderen Temperaturbereich sowie die optimierte Schussentlüftung in den Kerngravuren. Zusätzlich wurde das Schussbild der Werkzeuge gegenüber der Serie verändert, da sich die Fließigenschaften des anorganischen Formstoffes von denen des organischen Formstoffes unterscheiden.

Das Kernpaket des Zylinderkopfes 3.6 l VR6 FSI 4V setzt sich aus einem Wasserraumkern, einem Ölraumkern, einem Deckkern sowie mehreren Ein- und Auslasskanalkernen zusammen (**Abb.3**).

Besonders die komplexe Geometrie des Wasserraumkernes stellt hohe Anforderungen an die Formstoffmischung. So muss sowohl eine ausgezeichnete Fließfähigkeit als auch eine hohe Sofortfestigkeit erzielt werden, um eine hohe Verdichtung des Kernes gepaart mit einer hohen mechanischen Festigkeit sicherzustellen.

Der Zylinderkopf wird im Schwerkraftkokillenguss unter Serienbedingungen gegossen. Dies bedeutet die Einhaltung der Taktzeiten sowie eine hohe Schmelztemperatur und das normale Handling der Kerne durch den Gießer auf dem Weg an die Kokille. Beim Vergießen des

1.9l R4 TDI PD 2V



Wasserraumkern, Ölraumkern und Einsatzkern Anorganik, Kanalkerne Serie

Untersuchungen:

- Entkernbarkeit
- Überprüfung der Oberflächenqualität
- Prüfstandlauf erfolgreich abgeschlossen

3.6l VR6 FSI 4V



Komplettes Kernpaket in Anorganik

Untersuchungen:

- Entkernbarkeit
- Überprüfung der Oberflächenrauigkeit
- Nachweis der Prozessstabilität
- Prüfstandlauf geplant

Abb.2: Für die Untersuchung ausgewählte Zylinderköpfe



Einlasskanalkerne

- Sand: BO 60
- Gewicht: 0,4 – 0,55 kg

Wasserraumkern

- Sand: H 31



Auslasskanalkerne

- Sand: BO 60
- Gewicht: 0,3 – 0,42 kg

Deckkern

- Sand: H 31
- Gewicht: 12,1 kg



Ölraumkern

- Sand: H 31
- Gewicht: 4 kg



Abb.3: Kernpaket ZK VR6 FSI

- Umfassende Qualitätsanalyse:
 - CT-Scans
 - Endoskopuntersuchungen
 - Schnitte
- weder Penetration noch Sandanhaftungen
- keine Gasblasen oder andere Gussfehler
- vollständige maßliche Übereinstimmung

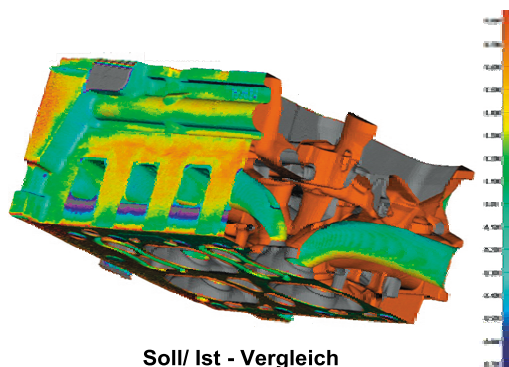


Abb.4: Soll/ Ist Vergleich

anorganischen Kernpaketes sind keine Emissionen, wie Qualm- oder Geruchsentwicklung, festzustellen.

Zudem wird in den Kokillen auch nach einer Vielzahl von Abgüssen keine Verunreinigung durch Bildung von Kondensaten oder durch einen frühzeitigen Kernzerfall beobachtet. Diese Beobachtung wird auch durch quantitative Untersuchungen mit Hilfe einer Spezialmessapparatur zur Bestimmung der Kondensatbildung bei organischen und anorganischen Bindersystemen eindrucksvoll belegt [2].

Die gegossenen Zylinderköpfe wurden einer umfangreichen Qualitätsüberprüfung unterzogen. Unter Einsatz zerstörungsfreier Prüfmethoden (CT- und Endoskopuntersuchungen) sowie von Sägeschnitten konnten keine Qualitätsmängel festgestellt werden. Auch die maßliche Übereinstimmung der mit anorganisch gebundenen Kernen

gefertigten Gussteile ist im Vergleich mit der Serie gewährleistet (Abb.4).

Literatur

[1] Gießerei 93 (2006) Nr. 3, S. 44-49

[2] Gießerei 92 (2005) Nr. 3, S. 68-71

Kontaktadresse:

Gießerei VWN, Patrick Voigt, Brieffach 2150,
Postfach 210580, D-30405 Hannover
Tel.: ++49 (0)511 798 3307, Fax: ++49 (0)511 798 3312,
E-Mail: patrick.voigt@volkswagen.de

voestalpine
GIESSEREI LINZ GMBH



Mitteilungen der WFO World Foundrymen Organization

www.thewfo.com

WFO TECHNICAL FORUM 2007

„Innovative Prozesstechnik“ Düsseldorf, 12. bis 16. Juni 2007

Call for Papers

Der VDG – Verein Deutscher Giessereifachleute – veranstaltet in Zusammenarbeit mit der World Foundrymen Organization das WFO-Technical Forum auf der GIFA 2007. Das Technical Forum umfasst thematisch alle Bereiche der Prozesstechnologie für Gießereien und informiert Management, Wissenschaftler und Gießereifachleute aus aller Welt über die neuesten Entwicklungen. Die Themengebiete der Vortragsreihen umfassen:

- Gießverfahren
- Form- und Kernherstellung
- Gussnachbehandlung und mechanische Bearbeitung
- Prozesssimulation, Automation und Prozesssteuerung
- Informationsmanagement

Die technischen Fortschritte in der Prozesstechnologie entscheiden im Wesentlichen über die Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit der Gießereien. Neue Prozesse und Einsatzstoffe erweitern kontinuierlich die Machbarkeitsgrenzen, Prozessoptimierungen tragen wesentlich zur Prozessbeherrschung bei. Prozesssteuerungen und Automation beeinflussen die technologische Entwicklung entscheidend und prägen den heutigen technologischen Stand der Produktionsanlagen.

In den Präsentationen und Diskussionen des Forums werden die wesentlichen und zukunftsbestimmenden Entwicklungen präsentiert und diskutiert. **Das WFO Technical Forum findet auf der GIFA in Halle 10 statt**, eine Teilnahmegebühr wird nicht erhoben. Die Vorträge werden in Englisch

oder Deutsch präsentiert und simultan übersetzt werden.

Es wird um Übersendung von Vortragsvorschlägen mit einer kurzen Zusammenfassung bis spätestens zum 30.11.2006 gebeten.

Das WFO-Technical Forum wird organisiert von:

VDG Verein Deutscher Giessereifachleute,
D-40237 Düsseldorf, Sohnstraße 70 bzw.
D-40042 Düsseldorf, Postfach 10 51 44, Tel.:
+49 (0)211 6871 331, Internet: www.vdg.de

Kontaktperson:

Dr.-Ing. Gotthard Wolf, E-Mail: wolf@vdg.de
Weitere Informationen: www.wfo-technical-forum.de



Mitteilungen der CAEF The European Foundry Association

Die wirtschaftliche Situation der europäischen Gießerei-Industrie und ihre nähere Zukunft*)

Economic Status of the European Foundry Industry and Short Term Outlook



Dr. Klaus Urbat, Generalsekretär des CAEF – The European Foundry Association und Hauptgeschäftsführer und Mitglied des Präsidiums des Deutschen Gießereiverbandes DGV, Düsseldorf

Einleitung

Es kann nicht bezweifelt werden, dass die europäische Gießerei-Industrie ein wesentlicher Mitspieler der globalen Gießerei-Industrie ist. Da gegenwärtig sowohl China als auch Indien große Aufmerksamkeit entgegengebracht wird, laufen die europäischen Gießereien Gefahr, unterschätzt zu werden. Es ist eine allzu bekannte Tatsache, dass wir Dinge, mit denen wir vertraut sind, als gegeben annehmen, während andere, die von außen auf uns schauen, die Überlegenheit der europäischen Gießerei-Industrie viel deutlicher wahrnehmen. Sie könnten daraus schließen, dass die europäische Gießerei-Industrie wesentlich stärker ist als auf den ersten Blick zu erwarten wäre.

*) In Englisch vorgetragen auf der 46. Slowenischen Gießereitagung in Portoroz am 14. September 2006. Deutsche Bearbeitung: E. Nechtelberger.

Die wirtschaftliche Situation der europäischen Gießerei-Industrie kann prinzipiell aus zwei Blickwinkeln gesehen werden:

eingeschränkt auf die aktuellen zyklischen Entwicklungen einerseits oder durch Aufzeigen der Strukturen und Trends andererseits.

Auf letzteres ist der vorliegende Beitrag ausgerichtet.

Wie **Abb. 1** erkennen lässt, besetzt die europäische Gießerei-Industrie bei Eisenguss Platz 2 nach China, während sie bei NE-Metallguss auf Platz 1 (**Abb. 2**) rangiert, gefolgt von den Vereinigten Staaten von Amerika und China. Europa muss seine Position halten oder sogar verbessern.

Unter der Voraussetzung, dass die chinesischen Gießerei-Statistiken auch verlässlich sind, ist es durchaus vorstellbar, dass China mittelfristig auch bei NE-Metallguss an die erste Stelle aufrückt. Das vergrößerte Europa könnte dann den 2. Platz, die USA oder Russland den 3. Platz einnehmen.

Eisen-, Stahl- und Temperguss

Von einigen Zukunftsvisionen nun zurück zu den Fakten der Gegenwart:

Gegenwärtig beträgt die Gesamtproduktionsmenge an Eisen-, Stahl- und Tempergussstücken aller Gießereien in den CAEF-Mitgliedsländern rd. 13,4 Mio t jährlich. Aus **Abb. 3** sind drei Ländergruppen erkennbar. Die Produktion wird von Deutschland, Frankreich und Italien mit zusammen 58,8% angeführt. In der zweiten Gruppe mittlerer Produzenten befinden sich Spanien, Türkei, Großbritannien, Polen und die Tschechische Republik. Die Länder der dritten Gruppe, der kleineren Produzenten, liegen in ihrem Produktionsvolumen jeweils unter 280.000 t.

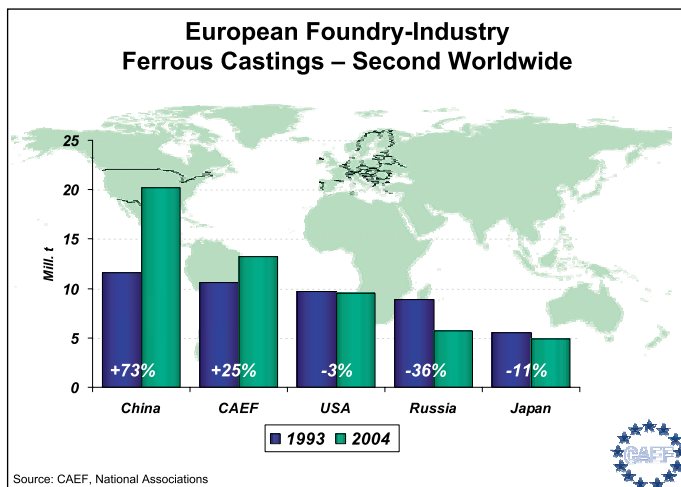


Abb. 1

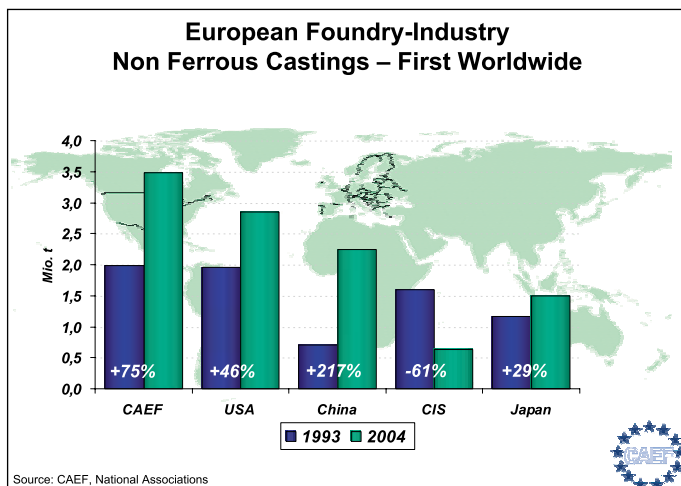


Abb. 2

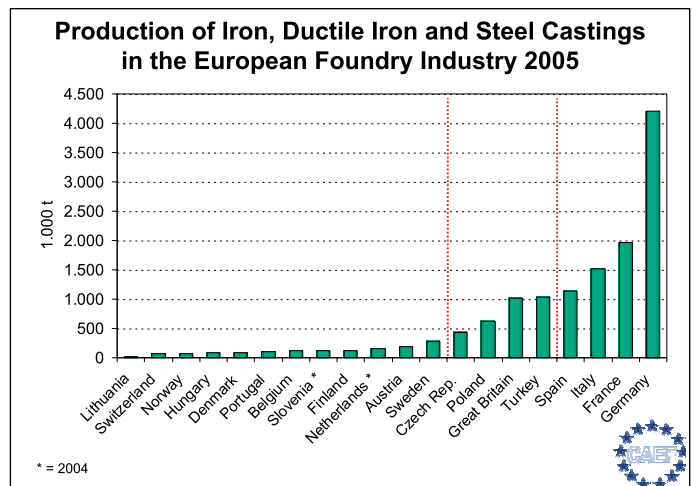


Abb. 3

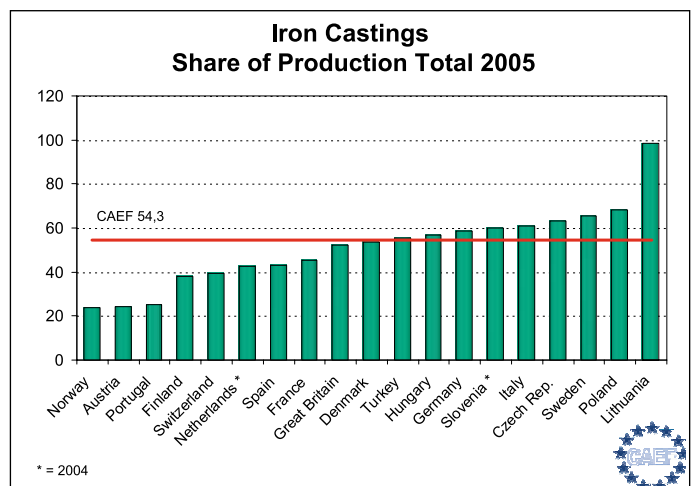


Abb. 4

Diese Struktur hat sich in der letzten Dekade nicht wesentlich verändert. Ausnahmen waren Polen und Großbritannien, die im Laufe der 90er Jahre anhaltende unverhältnismäßige Produktionsverluste verzeichneten, während Spanien und die Türkei in der Reihung kontinuierlich aufwärts strebten und heute zu den „Großen Sechs“ in Europa gehören.

Die nächste Veränderung in der Rangfolge steht unmittelbar bevor. Es ist zu erwarten, dass die Gießereiproduktion der Türkei im Jahr 2006 diejenige Spaniens erreichen oder wahrscheinlich sogar übertreffen wird. Es kann mit großer Sicherheit angenommen werden, dass die Türkei in der Eisengussproduktion innerhalb der nächsten fünf Jahre zu den „Großen Drei“ gehören wird.

Die sich dem zukünftigen Bedarf anpassenden Gusswerkstoffe könnten ein weiterer Indikator für die gesunde strukturelle Basis der europäischen Gießerei-Industrie sein. Ungeachtet der laufenden Werkstoffsubstitutionen hat bei den Eisengusswerkstoffen der **Grauguss** mit im Mittel 54,3% den größten Anteil (**Abb. 4**). Noch höher liegt dieser Anteil in 7 von 20 Ländern, nämlich in Ungarn, Deutschland, Slowenien, Italien, der Tschechischen Republik, Schweden und Polen, wo er 65 bis 75% beträgt. In den meisten anderen Ländern bewegt sich der Graugussanteil zwischen 38 und 54%. Niedrigere Anteile werden für Portugal, Österreich und Norwegen erwartet.

Dies lässt erkennen, dass kleinere Länder ihre Gussproduktion schneller an geänderte Marktbedürfnisse anpassen können als größere.

In den letzten Jahren hat der Wettbewerb zwischen Grauguss und **Gusseisen mit Kugelgraphit** zu höheren Marktanteilen des duktilen Gusseisens geführt.

Im Jahr 2005 lag der mittlere Produktionsanteil bei 38% (**Abb. 5**). In 9 Ländern, in Norwegen, Österreich, Portugal, Schweiz, den Nieder-

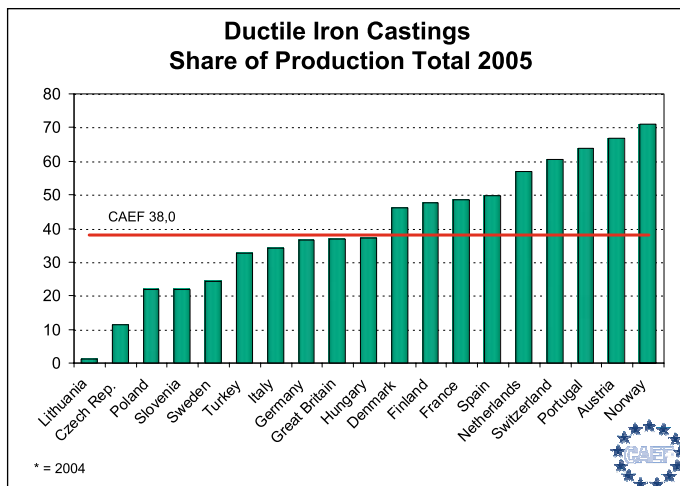


Abb. 5

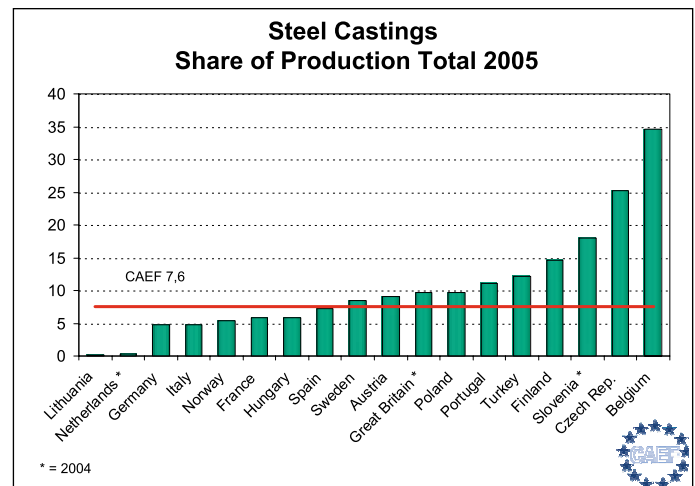


Abb. 6

landen, Spanien, Frankreich, Finnland und Dänemark liegen die Anteile erheblich höher. Dagegen haben Schweden, Slowenien, Polen, die Tschechische Republik und Lettland noch Aufholbedarf.

Es besteht kein Zweifel, dass Gusseisen mit Kugelgraphit der Eisengusswerkstoff ist, der in den nächsten Jahren eine stürmische Weiterentwicklung erfahren wird. Mittelfristig ist ein Anstieg auf 45% wahrscheinlich. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass Modifikationen dieses Werkstoffes neue Anwendungsgebiete erschließen und damit neue Märkte öffnen werden. Ein Anfang mit ADI (Austempered Ductile Iron) und GGV (Gusseisen mit Vermiculargrafit) ist bereits gemacht und weitere Entwicklungsstufen werden folgen.

ADI substituiert heute teilweise schon Stahlguss und GGV steht im Wettbewerb mit Aluminium für Anwendungen im automotiven Bereich und verzeichnet ein rasches Wachstum.

Mit einem Anteil von nur rd. 1% am Eisenguss handelt es sich bei **Temperguss** um ein eindeutiges Nischenprodukt. Der Produktionsanteil wird wahrscheinlich weiter zurückgehen. Einige Anwendungsgebiete werden sich auch weiterhin behaupten, besonders solche, wo ein Härtegradient im Gussteil angestrebt wird. Schweißbare Qualitäten werden im Vorteil sein, obwohl auch schweißbares Gusseisen mit Kugelgraphit an Bedeutung zunimmt. Die hohen Energiepreise werden sich auf die Tempergussproduktion jedoch einschränkend auswirken.

Die **Stahlgussproduktion** hat sich in Europa auf ein mittleres Niveau von etwas unter 8% eingependelt. In den Ländern mit mengenmäßig höchster Stahlgussproduktion wie Deutschland und Frankreich liegt allerdings der Stahlgussanteil an der Gesamtproduktion näher an 5% als an 6%. Für die Zukunft ist ein Anteil zwischen 4% und 5% zu

erwarten. Das heißt, Stahlguss hat seine Nische gefunden und größere Anwendungsverluste sind nicht zu erwarten.

Gemessen an der Gesamtproduktion ist die höchst dynamische türkische Gießerei-Industrie der zweitgrößte Stahlgussproduzent in Europa. 2003 hat die Türkei Frankreich von Platz 2 verdrängt und seither um 12% zugelegt. In Zentraleuropa unternimmt die Tschechische Republik derzeit starke Anstrengungen und könnte die französische Stahlgussproduktion innerhalb der nächsten zwei Jahre überholt haben.

Der hohe Stahlgussanteil Belgiens mag auf den ersten Blick überraschen. Die Antwort ist: es handelt sich um konkurrenzlose Spezialprodukte.

Produktivität

Der Produktivität wird – neben anderen Faktoren – im Wettbewerb um Marktanteile eine Schlüsselstellung zukommen. Wo steht die europäische Gießerei-Industrie?

Abb. 7 zeigt eine Analyse der Produktionsmengen und der erzielten Produktivität der europäischen Länder und lässt die Bereiche erkennen, innerhalb derer mittelfristige Anpassungsmaßnahmen notwendig sein werden. Hinsichtlich Produktion pro Mitarbeiter rangieren Deutschland, Frankreich, Italien und Spanien mit 80 bis 100 t an der Spitze, während andere bei deutlich niedrigeren Werten liegen. Besonders Polen, Ungarn und die Tschechische Republik besitzen noch eine Gießerei-Industrie mit im Vergleich zum Rest Europas deutlich mehr Mitarbeitern und niedrigerer Produktivität.

Die Türkei ist stark hinsichtlich Produktionsmengen und Marktaktivität, liegt jedoch in Bezug auf Produktivität noch deutlich zurück. Die

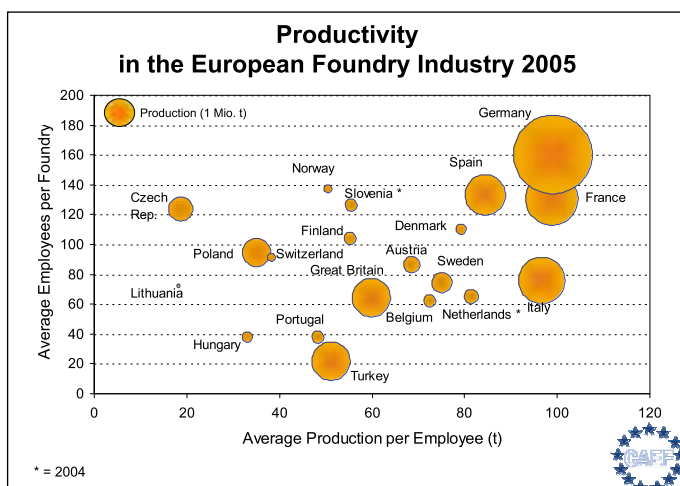


Abb. 7

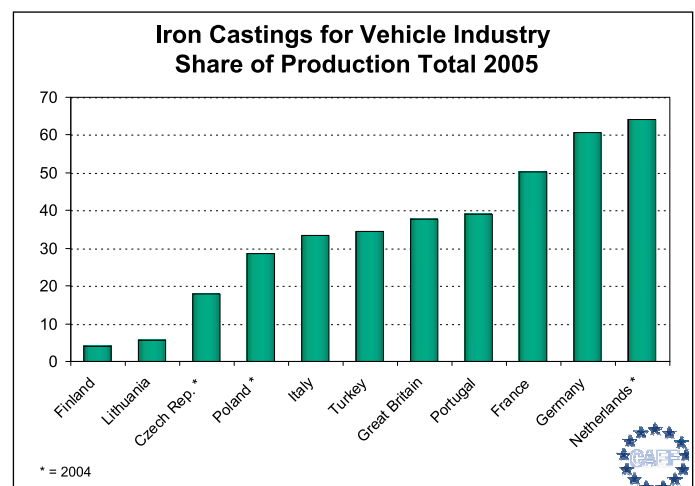


Abb. 8

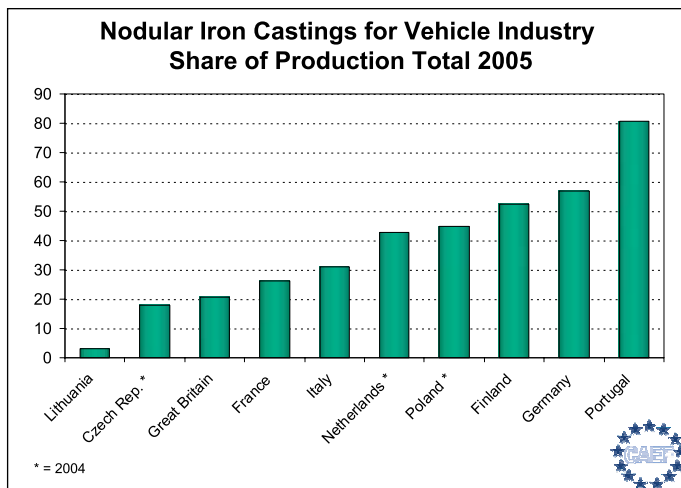


Abb. 9

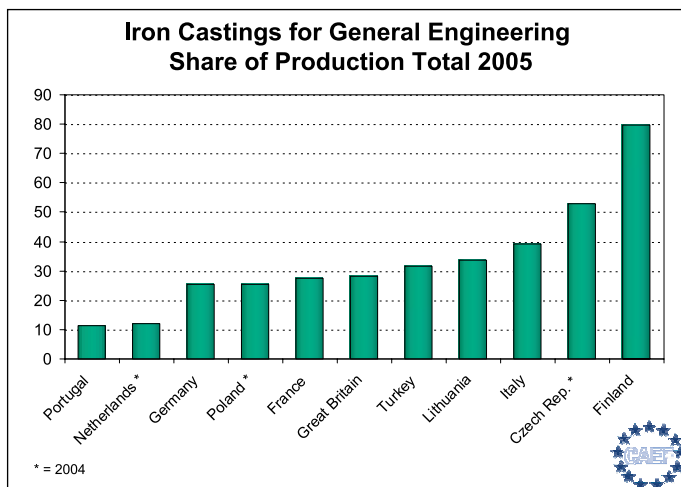


Abb. 10

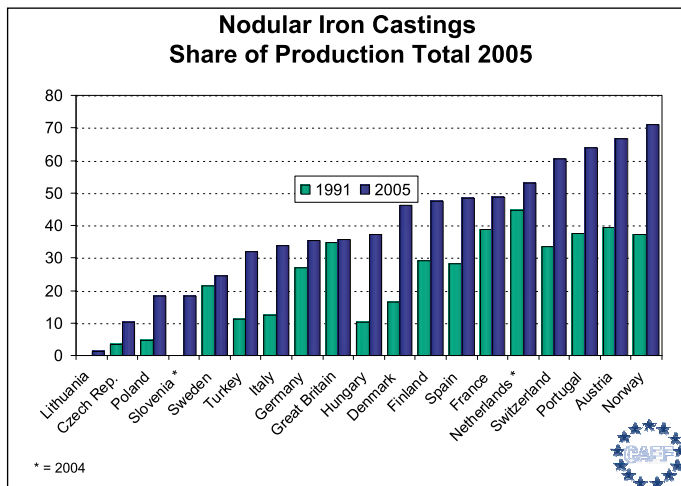


Abb. 11

Mehrheit ihrer Gießereien sind kleine Betriebe und nur wenige große Unternehmen sind auf europäischer Ebene voll konkurrenzfähig.

Zukunftstrends und Märkte

Man braucht kein Prophet zu sein um vorauszusagen, dass in vielen europäischen Ländern schmerzhaft Rationalisierungsmaßnahmen bei den Mitarbeitern bevorstehen.

Die Zukunft der europäischen Gießereien wird von der Entwicklung der Gussabnehmermärkte bestimmt werden. Da die Gießereien vor allem in Märkte auf dem Gebiet Verkehr und Industrialisierung zu-

fern, können wir für die Zukunft durchaus optimistisch sein. Als Folge der Globalisierung weisen beide dieser Märkte kontinuierliches Wachstum auf.

Der automotive und der Maschinenbaubereich nehmen schon heute 70 bis 90% der Gießereiproduktion ab.

Der Graugussanteil in der Fahrzeugproduktion ist, wie **Abb. 8** erkennen lässt, in den Niederlanden am höchsten, gefolgt von Deutschland und Frankreich mit über 50%. Es folgen Portugal, Großbritannien, die Türkei und Italien mit einem Anteil um 30%. Deutschland, Frankreich und Italien sind die Hauptzulieferer zur Fahrzeugindustrie.

Etwas anders ist die Situation für duktiles Gusseisen (**Abb. 9**). Mit 81% liegt der Sphärogussanteil für den Fahrzeugbereich in Portugal am höchsten. Mit deutlich niedrigerem Anteil zwischen 42 und 58% folgen Deutschland, Finnland, Polen und die Niederlande. Zwischen 18 bis 26% liefern Großbritannien, die Tschechische Republik und Frankreich in den Fahrzeugbereich. Es kann angenommen werden, dass sich der Anteil an duktilem Gusseisen für den Fahrzeugbereich in Deutschland weiter steigern wird.

Deutschland ist derzeit das europäische Zentrum für Fahrzeugguss. Zu weiteren Zentren werden sich Spanien und in naher Zukunft auch die Türkei entwickeln, während Frankreich an Gewicht verlieren wird.

Der Maschinenbaubereich, der zweite Hauptabnehmer der Gießerei-Industrie, nimmt einen Löwenanteil von rd. 80% der produzierten Graugussmenge Finnlands ab (**Abb. 10**). Die übrigen Länder liegen im Bereich zwischen 25 und 53%. Lediglich die Niederlande und Portugal liegen wegen ihrer stärkeren Bindung an die Fahrzeugindustrie hier etwas niedriger.

Die Produktionsentwicklung von Gusseisen mit Kugelgraphit in der letzten Dekade zeigt **Abb. 11** auf. Der dynamische Markteinstieg ist deutlich erkennbar. Diese Dynamik wird für Schweden und Großbritannien vermisst. In allen anderen europäischen Ländern sind die Markterfolge signifikant.

NE-Metallguss

Ein lebhaft wachsender Sektor der Gießerei-Industrie mit guten Zukunftsaussichten ist der NE-Metallguss, angeführt von Aluminium. Ein neuer Spitzenreiter in diesem Bereich ist zur Zeit der Werkstoff Magnesium.

Gegenwärtig werden in den Gießereien der CAEF-Länder jährlich rd. 3,5 Mio t Leicht- und Schwermetallguss produziert (**Abb. 12**). Wie am Eisenguss-Sektor, ist auch dieser Markt in drei Produzentengruppen unterteilt. Italien und Deutschland zusammen teilen 55% des Marktes unter sich auf. Die zweite Gruppe, bestehend aus Frankreich, Großbritannien, Polen und Spanien, hat etwas weniger als 28% der Marktanteile, und von den verbleibenden kleineren Produzentenländern überschreitet keines die 100.000 t Grenze.

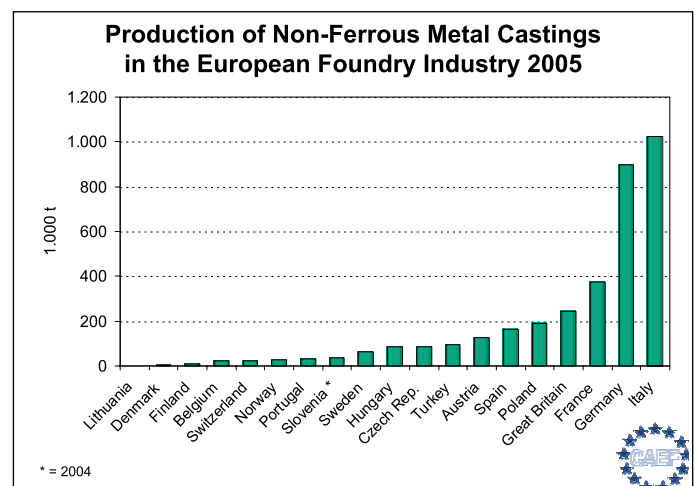


Abb. 12

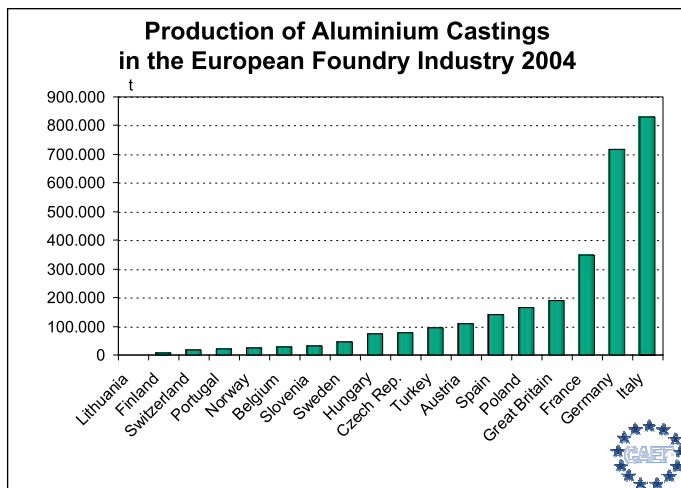


Abb. 13

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf den Aluminiumguss.

Wie der Markt für NE-Metallguss insgesamt so wird auch der Markt für Aluminiumguss in Europa von Italien und Deutschland angeführt (**Abb. 13**), wobei Italien infolge struktureller Veränderungen der letzten Jahre mittlerweile einen bemerkenswerten Vorsprung erreicht hat. Es folgt Frankreich mit einigem Abstand und einem Produktionsvolumen von 350.000 t. Mit größerem Abstand folgen weiter Großbritannien, Polen, Spanien und Österreich mit einem Produktionsvolumen zwischen 100.000 und 190.000 t Aluminiumguss. Während die Leichtmetallgussproduktion in Großbritannien und Polen, aber auch in Ungarn und der Türkei sich dynamisch entwickelt, sind die Produktionszahlen für Spanien und Österreich eher stagnierend.

Wenn wir auf die letzte Dekade zurückblicken, dann ist die Entwicklungsdynamik auf dem NE-Metallgusssektor doch sehr deutlich erkennbar (**Abb. 14**). Alle Produzenten haben in den zurückliegenden 10 Jahren ihre Kapazitäten erhöht und Italien führt das Feld an.

Es ist nur allzu wahrscheinlich, dass der Ausstoß an Leichtmetallguss in den nächsten Jahren weiter zunehmen wird. Dabei muss man feststellen, dass Aluminium als Substitutionswerkstoff im Fahrzeugbau hauptsächlich auf den Chassis-Bereich und nicht auf den Antriebsstrang abzielen wird. Der Anteil an Diesel-Motoren wird zunehmen und neue Motorengenerationen mit direkter Kraftstoffeinspritzung erfordern höhere Arbeitstemperaturen mit höheren Verbrennungsdrücken. Dies wird zu einer „technischen Renaissance“ von Gusseisen führen, insbesondere zu modifizierten Grauguss-Werkstoffen und zu duktilen Gusseisen wie Gusseisen mit Vermiculargrafit. Daneben sind auch wirtschaftliche Vorteile zu erwarten.

Auch der Magnesiumguss wird sich einer Renaissance erfreuen, z.B. für Spezialanwendungen, wo die Kosten nicht im Vordergrund stehen. Der Anteil an der NE-Metall-Gesamtproduktion wird sich jedoch in Grenzen halten.

Schlussfolgerungen

Die europäische Gießerei-Industrie wird sich in den kommenden Jahren manchen Veränderungen unterziehen müssen. Unsere Werkstoffe und unsere Produktionsverfahren, aber auch unsere Märkte und die Erfordernisse unserer Kunden sowie die Art und Weise unserer Unternehmensführung unterliegen heute kontinuierlichen Veränderungen.

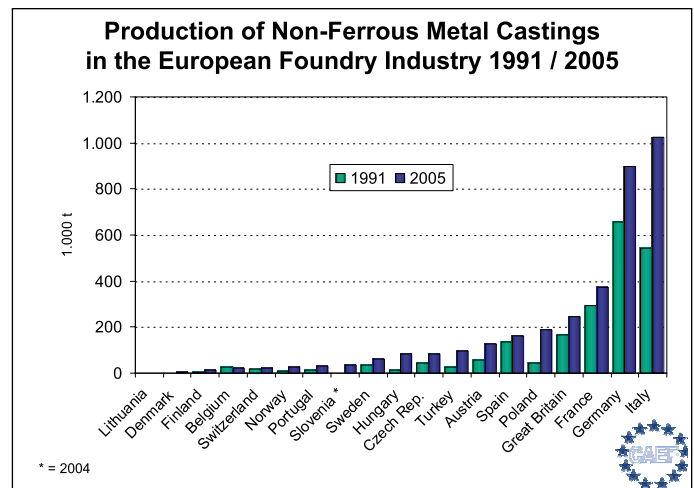


Abb. 14

Während sich die Gießereien diesen Aufgaben auf verschiedenen Wegen stellen müssen, möchte der Autor dieses Beitrages drei wesentliche Punkte herausstellen, die seiner Meinung für die Zukunft führender Gießereien wichtig sind:

- 1) Wir müssen den Gießprozess noch besser verstehen und beherrschen lernen. Dies wird durch die Vielfalt der Werkstoffe erschwert, besonders dann, wenn wir gefordert sind, sich widersprechende Werkstoffeigenschaften in einem Gussteil in Einklang zu bringen. Dieses Konzept nenne ich „custom made castings – cmc“ (Gussstücke nach Kundenwunsch).

Ein gutes Beispiel ist die Entwicklung von ADI (Austempered Ductile Iron) und anderer Sonderwerkstoffe.

- 2) Gießerei-Erfahrung allein wird zur bleibenden Erfolgssicherung auf dem Markt nicht ausreichen. Unsere traditionellen Produktionsverfahren, wie z.B. Schmelzen, Formen und Gießen haben nicht mehr als eine Brückenfunktion zu Konstruktion, Entwicklung, Engineering und virtuellen Prüfverfahren einerseits sowie Bearbeitung, Zusammenbau, Logistik und Kundenservice andererseits.

Ich nenne das das „Casting-plus“-Konzept. Dies bedeutet, dass Gussteile und Service gemeinsam den Kundennutzen bewirken, der letztendlich entscheidend ist.

- 3) Wir werden unsere Unternehmen auf die sich verändernden Märkte vorbereiten und dynamisch und proaktiv führen müssen. Wir werden gestaltend eingreifen und nicht nur verwalten müssen.

Nach Ansicht des Autors werden drei Kennzahlen der Schlüssel für ein gemeinsames dynamisches Management sein: ein jährliches Wachstum von 5%, jährliche Investitionen in Höhe von 5% des Umsatzes sowie ein jährlicher Produktivitätszuwachs von 5%. Ich nenne dieses Konzept das „Triple-5-Konzept“.

Der Autor glaubt sicher zu sein, dass viele europäische Gießereien diese drei Aktionsfelder schon beherrschen, sodass Europa eines der zwei größeren Gießerei-Zentren bleiben wird. Das andere Zentrum befindet sich in China und Indien, während die USA den dritten Platz belegen.

Ohne Frage liegen alle unsere Möglichkeiten in der Einheit Europas und in der globalen Präsenz unserer Unternehmen.

Kontaktadresse: CAEF-Generalsekretariat, c/o. Deutscher Gießereiverband, Büro Hauptgeschäftsführung, D-40010 Düsseldorf, Postfach 10 19 61, Tel.: +49 (0)211 6871 208, Fax: 205, E-Mail: klaus.urbat@caef.org, www.dgv.de

In diesem Heft finden Sie eine Beilage der Fa. Bühler!!

Die weltweite Produktion am Eisen- u. Metall-Gusssektor wird bis zum Jahr 2008 an die 90 Mio t erreichen*)

China, Brasilien, Mexiko und Korea werden ihre Marktanteile erhöhen

Ken Kirgin, Gießereispezialist mit 50jähriger Praxiserfahrung, gründete die Fa. Stratecasts Inc., Ft. Myers, Florida/USA in den frühen 80er Jahren als Dienstleistungsunternehmen für nationale und internationale Prognosen, Trendanalysen und für strategische Planung.

Dieser Beitrag ist Teil I einer zweiteiligen Serie zur Untersuchung der weltweiten Trends in der Gießerei-Industrie. Teil I widmet sich einer globalen Analyse und Vorschau bis 2008, Teil 2 wird die Gussimporte in die USA aufzeigen.

Table 1. Forecast of Total Worldwide Metal Casting Shipments (000 metric tons)

Metal	2004	2006	2008
Gray Iron	40,319	41,480	42,530
Ductile Iron	19,760	21,482	22,584
Malleable Iron	1,190	1,160	1,100
Steel	6,920	7,154	7,230
Aluminum	10,208	11,203	12,423
Other Nonferrous	2,450	2,580	2,700
Investment	1,007	1,960	1,100
TOTAL	81,854	86,119	90,067

Tafel 1

In den Jahren 2004 bis 2008 wird dem weltweiten Gusshandel eine jährliche Steigerungsrate von im Mittel 2,4% auf 90 Mio t vorausgesagt (**Tafel 1**). Dabei haben Aluminiumgussteile mit 5% das höchste Wachstum, gefolgt von Gusseisen mit Kugelgrafit mit 3,8%. Das mit 1,3% niedrige Wachstum von Gusseisen mit Lamellengrafit geht auf die Umstellung von Automobilguss auf Aluminium und von Gussrohren auf duktilen Gusseisen zurück, sowie auf den Verlust von Stahlwerkstoff und metallurgischen Walzen mit der Zunahme der Ministahlwerke weltweit.

Tafel 2 gibt einen Überblick über die Produktion der 11 Länder und Regionen, die über 97% der weltweiten Gussproduktion liefern. Während China, Brasilien, Mexiko und Korea ständig Marktanteile gewinnen, verlieren andere Länder und Regionen.

China hält mit einer Steigerung auf 26,6 Mio t bis 2008 Platz 1 und deckt damit 29,5% der globalen Gusslieferungen ab. Westeuropa wird Platz 2 halten, aber auf 18,5% Marktanteil zurückfallen. Auch für die USA wird mit 13,3 Mio t ein Rückgang auf 14,8% Marktanteil erwartet.

Tafel 3 vermittelt die erwarteten Kennzahlen für die Gusswerkstoffe Grauguss, Gusseisen mit Kugelgrafit und Aluminium.

Westeuropa

Die **Tafeln 4 und 5** zeigen Wachstum bzw. Rückgang der Graugussproduktion aller Länder und Marktsegmente im westlichen Europa.

Dem Graugussbedarf in Motorfahrzeugen wird ein jährlicher Verlust von 1,2% auf 2 Mio t im Jahr 2008 vorausgesagt, unabhängig vom jährlichen 2%igen Wachstum der Fahrzeugproduktion. Die Al-Zylinderkopfproduktion liegt schon über 90%, Motorblöcke aus Grauguss liegen unter 50% und werden bis 2008 auf rd. 30% fallen.

Table 2. Forecast of Shipments of All Metal Castings (000 metric tons) with Estimated Market Share of Major Countries & Regions

Country	2004 (%)	2006 (%)	2008 (%)
China	23,154 (28,3)	24,630 (28,6)	26,630 (29,4)
Western Europe	15,390 (18,8)	16,190 (18,8)	16,660 (18,5)
United States	12,340 (15,1)	12,995 (15,1)	13,316 (14,8)
Japan	6,790 (8,3)	7,100 (8,2)	7,140 (7,9)
Russia	6,548 (8,0)	6,550 (7,6)	6,460 (7,2)
India	4,830 (5,9)	5,090 (6,0)	5,390 (6,0)
Brazil	2,950 (3,6)	3,195 (3,7)	3,520 (3,9)
Mexico	2,752 (3,4)	2,520 (2,9)	2,780 (3,1)
Eastern Europe	2,046 (2,5)	2,325 (2,7)	2,612 (2,9)
Korea	1,965 (2,4)	2,100 (2,4)	2,390 (2,7)
Canada	982 (1,2)	1,000 (1,2)	1,000 (1,1)
Other	2,167 (3,1)	2,424 (2,8)	2,549 (2,8)
TOTAL	81,854 (100)	86,119 (100)	90,067 (100)

Tafel 2

Table 3. Forecast of Worldwide Shipments of Iron & Aluminum Castings (000 metric tons)

	2004			2006			2008		
	GI	DI	AI	GI	DI	AI	GI	DI	AI
Asia									
China	11,267	5,503	1,850	13,050	6,100	1,830	13,750	6,700	2,000
Japan	2,660	1,895	1,310	2,160	2,150	1,450	2,150	2,180	1,580
India	3,180	447	900	3,225	480	950	3,350	520	410
Korea	957	517	115	1,000	800	140	1,100	700	160
Taiwan	792	215	261	800	226	290	820	240	350
Europe									
Germany	2,421	1,428	718	2,150	1,474	720	2,226	1,520	763
France	943	980	330	891	1,058	385	867	1,119	466
Italy	943	485	828	945	520	890	940	550	930
UK	572	362	180	550	390	205	525	420	225
Spain	500	532	130	554	570	205	563	530	220
Turkey	475	328	62	540	320	62	720	350	70
Russia	4,200	340	500	4,100	400	150	4,000	440	600
North America									
United States	4,265	4,023	1,868	4,311	4,266	2,134	4,288	4,403	2,251
Mexico	1,100	370	340	1,150	310	600	1,200	350	700
Canada	833	150	240	820	170	260	800	180	300
South America									
Brazil	1,730	597	180	1,850	620	180	1,800	650	200
Other	3,575	1,572	928	4,234	1,799	1,036	4,533	2,032	1,254
TOTAL	49,313	18,780	10,208	41,480	21,482	11,203	42,530	22,584	12,423

Tafel 3

Table 4. Forecast of Gray Iron Casting Shipments in Western Europe by Country (000 metric tons)

Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Austria	63	60	50	48	50	55	55	58	60
Belgium	81	80	78	81	71	80	75	78	80
Finland	54	57	56	50	38	40	42	43	44
France	1,085	922	904	910	943	890	891	879	867
Germany	2,180	2,303	2,253	2,298	2,421	2,399	2,250	2,234	2,238
Italy	1,119	966	933	907	913	933	945	955	943
Netherlands	58	66	60	61	63	70	70	70	70
Norway	29	24	20	17	15	18	18	20	20
Portugal	44	34	35	35	29	32	34	38	40
Spain	480	576	592	496	506	540	564	566	563
Sweden	194	199	157	158	178	178	180	187	180
Switzerland	40	40	29	37	29	30	35	30	30
Turkey	690	513	620	592	478	610	640	700	720
UK	710	519	545	537	572	586	590	612	526
Other	200	250	100	129	140	150	170	200	190
TOTAL	7,012	6,645	6,454	6,343	6,473	6,507	6,558	6,665	6,578

Tafel 4

*) Mit Zustimmung der AFS aus MODERN CASTING 96(2006) Nr. 5, S. 25/30 übernommener Beitrag „Global Shipments of Metal Castings to reach 90 Mio tons in 2008“ von Ken Kirgin. Deutsche Bearbeitung E. Nechtelberger.

Table 5. Forecast of Gray Iron Casting Shipments in Western Europe by Industry (000 metric tons)

Industry	1999	2001	2002	2006	2008	02/08AGR (%)
Vehicle	2.132	2.148	2.156	2.124	2.009	-1.2
Municipal/Bldg	841	870	862	848	845	+0.9
Pipe Fittings	546	533	575	494	475	-3.1
Mach. Pnt. Engr.	1.278	1.257	1.224	1.263	1.424	+2.6
Farm Equipment	449	406	415	363	356	-2.5
Steel, IM, Rols	185	174	156	117	84	-9.8
Valves	259	251	213	290	260	+0.5
Construction/Mining	249	244	240	284	275	+2.5
Appliances	138	130	122	109	62	-10.7
Engines	346	353	349	334	430	+3.5
Other	420	371	359	326	376	-0.2
TOTAL	6.943	6.643	6.811	6.559	6.576	-0.1

Tafel 5

Der Einsatz von Dieselmotoren in Personenkraftwagen liegt bei 80% in Frankreich und nahe 50% in Deutschland und verhindert damit die totale Substitution von Grauguss durch Aluminium.

Obwohl in **Tafel 5** eine Zunahme für Grauguss in verschiedenen Sektoren erkennbar ist, wird für Westeuropa eine jährliche Abnahme von 0,1% vorausgesagt.

Ausgehend vom kontinuierlichen Wachstum der LKW und PKW Produktion wird beim Bedarf an Gussteilen für Dieselmotoren eine jährliche Steigerung von 3,5% erwartet. Ebenso werden im Konstruktions- und Anlagenbau Steigerungen bis 2008 vorausgesagt.

Tafel 6 zeigt die Sphärogussproduktion Westeuropas nach Ländern geordnet.

Table 6. Forecast of Ductile Iron Casting Shipments in Western Europe by Country (000 metric tons)

Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Austria	110	100	110	100	110	118	122	124	124
Belgium	28	19	19	15	16	17	18	20	20
Finland	46	44	43	39	30	30	34	36	60
France	1.069	1.080	1.232	1.160	900	1.051	1.098	1.118	1.119
Germany	1.270	1.269	1.277	1.342	1.428	1.440	1.474	1.560	1.520
Italy	407	379	444	458	486	500	520	565	590
Netherlands	70	60	60	60	78	80	80	85	90
Norway	39	45	44	37	42	48	48	50	50
Portugal	45	52	52	53	53	60	60	80	80
Spain	600	617	643	410	512	550	570	590	630
Sweden	55	57	57	56	60	56	62	70	75
Switzerland	74	63	51	46	51	56	56	60	60
Turkey	130	132	139	187	308	310	320	330	350
UK	540	316	326	342	362	376	390	400	420
Other	260	260	130	170	220	220	220	240	250
TOTAL	4.769	4.493	4.627	4.474	4.798	4.932	5.102	5.258	5.338

Tafel 6

Table 7. Forecast of Ductile Iron Shipments in Western Europe by Industry (000 metric tons)

Industry	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2008	02/08AGR (%)
Vehicle	1.349	1.471	1.448	1.450	1.480	1.578	1.593	1.606	+1.7
Construction	493	455	492	450	480	520	571	609	+3.5
Mach. Plant Engineering	479	429	406	425	455	484	525	559	+6.5
Farm Equipment	241	237	256	230	280	278	323	337	+4.7
Pipe/Fittings	1.464	1.430	1.091	1.500	1.500	1.609	1.632	1.709	+1.2
Steel/Pipes	123	192	104	100	80	331	70	66	-7.3
Other	617	369	331	304	536	362	478	512	+7.5
TOTAL	4.596	4.493	4.827	4.474	4.798	4.932	5.102	5.338	+2.6

Table 8. Forecast of Aluminum Casting Shipments (000 Metric Tons) in Western Europe by Country

Country	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Germany	598	548	620	661	670	716	718	720	740	768
Italy	939	680	751	777	790	828	840	850	910	930
France	281	342	340	370	329	330	350	365	392	420
UK	183	158	180	170	180	189	190	205	210	225
Spain	120	120	253	266	135	130	160	200	210	220
Austria	75	90	90	90	104	109	110	110	115	120
Sweden	40	42	42	42	37	45	50	51	55	58
Netherlands	18	18	17	18	18	18	19	20	21	22
Other	60	70	80	80	80	180	180	185	187	190
TOTAL	1.986	2.382	2.368	2.487	2.357	2.553	2.637	2.788	2.863	2.965

Tafeln 7 und 8

Wie aus **Tafel 7** zu sehen ist, wird in Westeuropa mit einer Steigerung der Sphärogussproduktion von 2,6% jährlich gerechnet, ausgelöst durch einen 1,7%igen Mehrbedarf bei Kraftfahrzeugen sowie im Konstruktions- u. Anlagenbau und in der Landwirtschaft.

Aus **Tafel 8** lässt sich entnehmen, dass beim Aluminium-Gussbedarf mit einer jährlichen Zunahme von 2,9% auf 2,97 Mio t bis zum Jahr 2008 gerechnet wird.

Für Al-Druckguss wird 2006 mit 1,6 Mio t und einem weiteren Anstieg auf 1,7 Mio t bis 2008 gerechnet. Der vorherrschende Endverbraucher ist der Fahrzeugbereich mit 70%. Infolge des zunehmenden Einsatzes von Aluminium für Zylinderköpfe, Motorblöcke und andere Gussteile wird eine Steigerung des Fahrzeugmarktanteils auf 2 Mio t erwartet.

Deutschland

Die deutsche Fahrzeugproduktion ging im Jahr 2002 auf 5,14 Mio Einheiten zurück, stieg 2003 wieder geringfügig an und erhöhte sich um 1,1% im Jahr 2004 auf 5,57 Mio Fahrzeuge. In den vergangenen 3 Jahren ist die deutsche Wirtschaft nur minimal gewachsen. Für 2006 wird eine Zunahme des BIP von 1,8% erwartet, für 2008 werden 2,5% vorausgesagt. Die Arbeitslosigkeit bleibt ein Hauptproblem; ein leichter Rückgang auf 8% wird erwartet. Obwohl ein starker EURO die Exporte behindert, wird ein Anstieg der Inlandsnachfrage für 2006, 2007 und 2008 nach nunmehr 5 schlechten Jahren angenommen. Der private und der öffentliche Konsum sollen 2008 einen Höhepunkt erreichen.

Für die Produktion von Grauguss wird ein Rückgang von 2,4 Mio t in 2004 auf 2,2 Mio t in 2008 prognostiziert; das entspricht einem Abfall von 2% pro Jahr. Grund sind die Umstellungen von Motorblöcken und Zylinderköpfen auf Aluminium (**Tafel 4**). Für Gusseisen mit Kugelgraphit wird ein jährlicher Anstieg um 1,7% von 1,4 Mio t auf 1,5 Mio t (**Tafel 6**) vorausgesagt. Infolge von Werkstoffumstellungen wird jedoch der Sphärogusseinsatz im Fahrzeugbereich zurückgehen.

Nach den Vorausschätzungen (**Tafel 8**) wird der Aluminium-Guss von 716.000 t (2004) auf 768.000 t (2008) zunehmen.

Vereinigtes Königreich

Die Gießerei-Industrie Großbritanniens steht vor schwer lösbarer Aufgaben. Obwohl die Arbeitslosigkeit in den letzten Jahren zurückgegangen ist, wurden nur wenige Gießereiunternehmen zur Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeit modernisiert. Es gibt weder Importbeschränkungen noch Exportförderungen. Wegen der sinkenden Gussnachfrage wurden die Kapazitäten in den letzten 5 Jahren drastisch reduziert. Infolge der niedrigen Exporte und wegen der Materialumstellungen auf Aluminium und duktilen Gusseisen wird ein weiterer Rückgang der Grauguss-Produktion erwartet. Für Gusseisen mit Kugelgraphit wird ein Anstieg von 375.000 t (2005) auf 420.000 t (2008) prognostiziert, für Aluminiumguss von 189.000 t auf 225.000 t. Die gegenüber dem EURO starke Währung schwächt das Exportpotential. Bei zunehmendem Inlandsbedarf wird ein Anstieg des BIP um 2,8% vorausgesagt.

Italien

Die italienische Wirtschaftsleistung ist in den letzten 5 Jahren zurückgegangen. Für 2006 wird eine mäßige Verbesserung des BIP um

1,1% bzw. um 2% bis 2008 erwartet – ausgelöst durch eine Belebung der Inlandsnachfrage.

In den vergangenen 20 Jahren ist die Anzahl der Gießerei-Unternehmen von 700 auf 280 drastisch gefallen. Die Eisengießereien leiden unter hohen Schrottpreisen, die die Materialkosten um über 200% erhöht haben.

Italien führt weiterhin in der Produktion von Aluminiumguss und hält, angeführt von Fiat und Teksid, Platz 1 der Weltrangliste.

Durch den Druckgussbedarf des Fahrzeugsektors wird für 2008 ein Wachstum auf 930.000 t vorausgesagt – den höchsten Wert Europas. Für die nächsten drei Jahre wird eine Wiederankurbelung der Autoherstellung erwartet. Die auf 1,1 Mio Einheiten gefallene Produktion soll bis 2008 wieder auf 1,4 Mio ansteigen.

Frankreich

In 5 aufeinanderfolgenden Jahren ist das BIP in Frankreich gesunken und die Arbeitslosigkeit auf heute 10% angestiegen. Während das BIP für 2006 eine Steigerung von 2% und für 2008 eine von 2,5% erfahren soll, wird für die Arbeitslosigkeit ein Rückgang auf 9,2% prognostiziert. Die französischen Kraftfahrzeughersteller erwarten für ihre Produktion eine Zunahme von 3,35 Mio Einheiten 2004 auf 3,98 Mio in 2008. Trotz des hohen Anteils von Dieselmotoren wird ein Rückgang der Graugussproduktion auf einen Tiefstwert von 867.000 t erwartet. Bei duktilem Gusseisen wird ein Anstieg vom derzeitigen Tief auf 1,1 Mio t im Jahr 2008 angenommen. Frankreich ist das führende Land der EU in der Produktion duktilen Gusseisens – dies infolge seiner Dominanz am Sektor gusseiserner Rohre durch die Fa. Pont-a-Mousson.

Für Aluminium-Guss wird eine Steigerung auf 400.000 t bis zum Jahr 2008 vorausgesagt.

Spanien

Die spanische Wirtschaft begann in den Jahren 2001/2002 zu schwächeln. Für das BIP wird ein Wachstum von 3,2% im Jahr 2006 bzw. 3,5% im Jahr 2008 erwartet. Die Arbeitslosigkeit ist weiterhin eine der höchsten in Europa; für 2008 wird ein leichter Abfall auf 9,5% erwartet. Die spanische Fahrzeugindustrie ist weiterhin auf Expansionskurs. Für 2008 wird mit einem Anstieg von 3,1 Mio (2004) auf 3,3 Mio Einheiten gerechnet. Wegen der erwarteten fortschreitenden Umstel-

Table 9. Forecast of Iron & Aluminum Shipments in China in 2006 & 2008 (000 metric tons)**

Market	Gray Iron		Ductile Iron		Aluminum	
	2006	2008	2006	2008	2006	2008
Automotive	3,560	3,760	1,400	1,540	1,450	1,620
Locomotive	260	275				
Farm & Machinery	1,550	1,640	400	440		
Machine Tool	920	975				
Valves & Spec. Machines	260	280	150	160		
Construction & Mining Machinery	730	780	150	170		
Electrical Power Machinery	250	270				
Ingot Mold	900	930				
Pipe & Fittings	2,580	2,740	2,300	2,525		
Others					150	160
Other	1,050	1,100	1,700	1,865	200	220
TOTAL	12,050	12,750	6,100	6,700	1,800*	2,000

*1.15 million tons of die castings
**4.7 million tons of steel, malleable iron, bronze and other nonferrous castings in 2006; 5.2 million tons in 2008

Tafel 9

lung auf Aluminium wird mit Rückgängen bei Grau- und Sphäroguss mit 0,1 bzw. 0,5% gerechnet. Trotzdem wird für Gusseisen mit Kugelgrafit für das Jahr 2008 ein Anstieg auf 630.000 t erwartet.

Da die Exporte zunehmen, wird für Aluminiumguss ein Wert von über 200.000 t vorausgesagt.

Portugal

Nach 4 schlechten Jahren wird dem BIP ein mäßiges Wachstum von 2,1% vorausgesagt. Mangels Gießereikapazität wird die Gussproduktion niedrig bleiben. Trotzdem wird ein Anstieg der Produktion von Gusseisen mit Kugelgrafit auf 80.000 t bis 2008 erwartet.

Türkei

Weiter steigende Gießereikapazitäten und zunehmende Wettbewerbsfähigkeit bei der Produktion von Eisen- und Aluminium-Guss stärken die Türkei auf ihrem Weg zu einem wesentlichen Mitbewerber auf dem europäischen Gussmarkt. Für Grauguss wird eine Zunahme von 475.000 t in 2004 auf 720.000 t in 2008 angenommen, duktilen Gusseisen soll auf 350.000 t ansteigen. Für Aluminium wird ein Anstieg auf 70.000 t vorausgesagt.

China

China setzt seine Bestrebungen, seinen Anteil am globalen Gussmarkt zu erhöhen, erfolgreich fort und es wird erwartet, dass China bis 2008 etwa 30% des Marktes erreichen wird.

Für Grauguss wird eine Steigerung von 11,27 Mio t in 2004 auf 12 Mio 2006 und 12,75 Mio t in 2008 prognostiziert. Infolge steigender Exporte und fortschreitender Substitution bei Rohren und Konstruktionsguss wird für duktilen Gusseisen eine Steigerung von 5,5 Mio 2004 auf 6,7 Mio t in 2008 erwartet. Zufolge des Einsatzes von Aluminium im Fahrzeugbau wird ein Anstieg auf 2 Mio t bis 2008 erwartet. Wie aus **Tafel 9** erkennbar, ist der automotiv Bereich das Haupteinsatzgebiet für Eisen- und Aluminium-Guss. In Zusammenhang mit dem Betrieb von Hochöfen und Walzwerken werden auch noch Stahlwerkskokillen aus Grauguss produziert.

Japan

Der unterdurchschnittliche private Konsum der letzten 8 Jahre hatte ein niedriges BIP zur Folge und entsprechend den **Tafeln 10** bis **13** war auch die Gussproduktion gering. Eine Umkehr in der Wirtschaftsentwicklung und

Table 10. Forecast of Gray Iron Production in Japan (000 Metric Tons)

Industry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Industrial Mach. & Eng. Material	490	465	450	480	520	505	510	500	500
Machinery for Mining & Const.	65	59	58	60	70	70	80	80	55
Mechanical Mach. & Machine Tool	120	105	100	110	130	130	125	130	130
Pipe & Ingot Molds	50	55	50	55	60	50	40	30	30
Other Machinery	120	110	105	110	130	130	140	145	150
Electric Machinery & Telecommunications	80	70	70	85	90	80	80	60	50
Automotive Parts & Components	1,480	1,370	1,388	1,388	1,440	1,400	1,350	1,300	1,250
Other Vehicles	90	80	70	75	100	90	90	100	100
Other	130	85	68	85	120	150	145	155	155
TOTAL	2,840	2,396	2,351	2,458	2,680	2,600	2,560	2,500	2,450

Table 11. Forecast of Ductile Iron Production in Japan (000 metric tons)

Industry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Industrial Mach. & Eng. Material	100	147	135	140	152	160	172	174	151
Machinery for Mining & Const.	110	95	90	95	100	105	110	115	121
Machine Tool	10	10	10	10	10	11	11	11	11
Pipe & Ingot Molds	20	17	18	19	20	21	22	20	20
Other Machinery	8	8	8	8	9	9	9	9	9
Electric Machinery	18	15	15	16	17	18	18	18	18
Automotive	800	780	800	890	900	890	990	980	970
Other Vehicles	40	38	30	30	32	34	35	40	40
Other	94	77	55	62	70	70	73	75	77
Pipe	680	620	560	600	580	680	710	720	720
TOTAL	1,838	1,897	1,742	1,831	1,890	2,060	2,150	2,180	2,180

Tafeln 10 und 11

Industry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Industrial Machine & Eng. Material	55	50	50	57	63	67	71	74	89
Electrical Machinery	45	40	42	43	47	50	53	58	60
Automotive	500	500	521	535	593	625	660	680	728
Motorcycles	55	50	52	54	59	62	65	68	70
Other	135	120	125	127	140	148	155	160	165
TOTAL	790	760	792	823	881	952	1,004	1,038	1,095

Industry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Industrial Machine	16	15	16	17	15	20	21	21	22
Electric Machinery	8	8	8	9	8	9	9	9	9
Automotive	304	280	293	301	331	348	360	380	400
Other Motor Vehicle	10	10	10	10	11	12	13	14	15
Other	76	97	100	104	114	120	125	150	163
TOTAL	414	410	423	440	483	509	528	554	586

Tafeln 12 und 13

damit auch eine Zunahme der Gussproduktion wird für die nächsten drei Jahre erwartet. Trotz Zunahme der Autoproduktion wird wegen der Umstellung von Eisen- auf Aluminium-Guss ein Rückgang bei Grauguss auf 2,45 Mio t vorausgesagt. Obwohl auch die Verwendung von duktilem Gusseisen im Fahrzeugbau rückläufig ist, wird die Produktion dieses Werkstoffes insgesamt auf 2,18 Mio t in 2008 ansteigen. Bis zum Jahr 2008 wird für Aluminium-Druckguss ein Anstieg auf 1,1 Mio t, für Sand- und Kokillen-Guss auf 586.000 t vorausgesagt.

Taiwan

Nach drei schlechten Jahren wird durch Verbesserung der Wirtschaftssituation und der Exporte ein BIP-Wachstum von 4% erwartet. Während Grauguss nur wenig zunehmen wird, erwartet man für Sphäroguss ein Wachstum auf 240.000 t bis 2008. Für Aluminium wird eine Steigerung von 261.000 t in 2004 auf 350.000 t in 2008 vorausgesagt.

Korea

Ungeachtet einer Stärkung des Won nehmen die Gussexporte zu. Dieser Trend wird sich, wie in **Tafel 3** zum Ausdruck kommt, in den nächsten drei Jahren fortsetzen.

Indien

Die Prognosen für die indische Fahrzeugindustrie lassen eine Verdoppelung in den nächsten 7 Jahren erwarten, was zu einem Wirtschaftswachstum beitragen wird. Die Subventionierung der Metall-Gussunternehmen trägt zur Förderung der Gussexporte bei. Wie aus **Tafel 3** hervorgeht, wird die Gussproduktion weiter wachsen und Indiens Weltmarktanteil auf 6% anheben.

Ost-Europa

Das prognostizierte Wachstum bei PKW's von 2,8 Mio in 2004 auf 3,3 Mio Einheiten in 2008 wird die Gussproduktion auf 2,6 Mio t hoch-

treiben und damit 2,9% Weltmarktanteil erreichen. Angeführt von Polens Produktion an 120.000 t Grauguss und 40.000 t Sphäroguss und Russlands 600.000 t Grauguss, wird die Gussproduktion in 2006 1,1 Mio t erreichen.

Infolge des Rückganges bei Stahlwerkskokillen und der Substitution durch Aluminium wird der Weltmarktanteil Russlands von 8 auf 7,2% zurückfallen.

Brasilien

Brasilien verfügt über eine große Anzahl mäßig ausgebildeter Arbeitnehmer mit relativ niedriger Produktivität, aber sehr niedriger Entlohnung. Besonders in der Aluminiumguss-Produktion verfügt das Land über Spitzentechnologie. Ausreichend natürliche Ressourcen machen Brasilien auf allen Gussbereichen wettbewerbsfähig.

Der Erzreichtum macht das Land zum weltweit größten Roheisen-Produzenten. Brasilien verfügt auch über Bauxitlager zur Rohaluminium-Produktion. Darüber hinaus ist bekannt, dass Brasilien die Eisenguss-Produktion subventioniert und überführt worden ist, Guss zu Dumpingpreisen in den US-Markt zu liefern.

Die **Tafeln 12** und **13** weisen auf steigende Prognosen und auf einen Weltmarktanteil von 3,9% hin.

Mexiko

Wie Brasilien verfügt auch Mexiko über viele mäßig ausgebildete Arbeitnehmer mit sehr niedrigem Lohnniveau. Diese billigen Arbeitskräfte zusammen mit einer stark expandierenden Automobilindustrie kommen der Gießerei-Industrie zu gute. Mangel besteht allerdings an Rohstoffen für die Industrie. Mexiko besitzt die Fähigkeit zur Produktion hochwertigen Motorengusses, sowohl aus Eisen als auch aus Aluminium und es wird erwartet, dass das Land diese Kenntnisse zum Wachstum seiner Gießerei-Industrie einsetzt. Die Voraussagen bis 2008 belaufen sich auf 700.000 t für Aluminiumguss und auf 350.000 t für Gusseisen mit Kugelgraphit.

Kanada

Die Gießerei-Industrie Kanadas ist dank der schwachen kanadischen Währung und der produktiven Arbeitskräfte des Landes äußerst wettbewerbsfähig. Die Voraussagen bis 2008 nennen eine Steigerung auf 300.000 t für Aluminiumguss, vorwiegend Motorenteile für Ford. Trotz eines Rückganges bei Grauguss wird ein Anstieg für duktilen Gusseisen auf 180.000 t erwartet.

Kontaktadresse:

MODERN CASTING/Engineered Casting Solutions, Shannon Kruse, Associate Editor, 1695 N. Penny Lane, Schaumburg, IL 60173-4555, Tel.: 800/537-4237 ext. 266, E-Mail: skruse@afsinc.org

voestalpine
GIESSEREI TRAISEN GMBH

Bestandsaufnahme der Guss-Importe in die USA*)

2006 werden die Guss-Importe 2,3 Mio t erreichen – 48% kommen aus Asien

Ken Kirgin, Gießereispezialist mit 50jähriger Praxiserfahrung, gründete die Fa. Stratecasts Inc., Ft. Myers, Florida/USA in den frühen 80er Jahren als Dienstleistungsunternehmen für nationale und internationale Prognosen, Trendanalysen und für strategische Planung.

Dieser Beitrag ist Teil 2 der zweiteiligen Artikelserie über weltweite Trends auf dem Gießereisektor.

Für 2006 wird für die USA ein 8%iges Importwachstum für Gussprodukte auf 3,2 Mio t vorausgesagt, das sind 20,4% des Gussbedarfes. Bei den Importen von Grauguss wird ein Anstieg auf 27,7% des Bedarfes bzw. auf über 1.582.000 t erwartet, bei Aluminium-Druckguss auf 22,6%. Dieser Anstieg wird vorwiegend durch die Marktsegmente Armaturen und Fittings, Dieselmotoren, Kommunal- u. Straßenbau, Maschinenbau und Anlagen sowie Kraftfahrzeuge getragen.

Der anhaltend schwache US-Dollar sollte den Guss-Export begünstigen, wobei für 2006 1,7 Mio t entsprechend 10,8% des Bedarfes angepeilt werden. Ausgelöst wird dieser Bedarf durch den Export von landwirtschaftlichen Maschinen und Anlagen des Maschinenbaues, Sektoren mit großem Gussverbrauch.

Importe und Exporte

Tab. 1 gibt einen Überblick über Gussbedarf, Gussproduktion sowie Import und Export der USA für 2006 hinsichtlich der wesentlichen Gusswerkstoffe.

Duktiles Gusseisen hat mit 0,85 das höchste Export/Import-Verhältnis (E/I), Grauguss liegt mit einem Wert von 0,38 sehr niedrig. Infolge der niedrigen E/I-Werte und der hohen Import/Bedarf-Werte (Import/Demand), ist der Verhältniswert Produktion/Bedarf (Ship-

ment/Demand) der gesamten Gießerei-Industrie auf ein neues Tief von 0,90 gefallen.

Für 2006 wird ein Gussimport von 3,2 Mio t durch ausländische Wettbewerber prognostiziert. Diese Importe decken viele Marktsegmente ab. Die Bereiche mit dem höchsten Bedarf sind Verbrennungsmotoren inkl. Dieselmotoren; Motorfahrzeuge inkl. PKW's, leichte, mittlere und schwere Nutzfahrzeuge; Gussteile für den Kommunalbedarf inkl. Kanalguss wie Rahmen, Gitter und Deckel; Armaturen und Fittings.

Tab. 2 stellt eine Vorausschau für 2006 der Gussimporte der wichtigsten Guss-Bedarfssparten der USA dar.

Kommunalbedarf

Laut Bedarfsprognose werden 122.000 t Mannlochdeckel, Rahmen, Gitter und anderer Kommunalbedarf vorwiegend aus Indien importiert werden, und zwar überwiegend in küstennahe Regionen der USA. Viele Gießereien in diesen Regionen des Landes sind geschlossen worden – einige handeln nur mehr mit Guss aus Indien. Weitere Importe im Umfang von 173.000 t beziehen sich auf Gussrohre, Hydranten, Fittings und anderen Bauguss. Das E/I-Verhältnis ist mit 0,04 in diesem Bereich am niedrigsten. Zusätzlich zum Grauguss werden auch rd. 5.000 t duktilen Gusseisen aus dem Ausland importiert.

Armaturen und Fittings

Die Importprognosen für 2006 für diesen Anwendungsbereich belaufen sich auf 128.000 t Grauguss, 94.000 t duktilen Gusseisen, 24.000 t Kohlenstoffstahl u. niedrig legierten Stahl sowie auf 31.000 t Kupferbasis-Legierungen. Zusätzlich werden 17.000 t Temperguss-Rohrfittings mit Gewinde aus Thailand, Taiwan und von anderen asiatischen und brasilianischen Gießereien bezogen werden. Viele dieser Gussteile werden als einbaufertige Teile importiert und sind oft in den staatlichen Gussstatistiken gar nicht enthalten. Schätzungsweise betragen die Importe für Armaturenguss und Fittings etwa 34% des gesamten Bedarfes der USA. Das E/I-Verhältnis für Grauguss liegt mit 0,50 sehr niedrig.

Verbrennungsmotoren

Importe von Motorblöcken und Zylinderköpfen aus brasilianischen und mexikanischen Gießereien zu Dumping-Preisen haben zur Schließung vieler US-Gießereien geführt und die Abhängigkeit von ausländischen Zulieferern verstärkt. Für 2006 werden daher Importe von 359.000 t Motoren-Grauguss, rd. 50% des Bedarfes, vorausgesagt. Kostenuntersuchungen der größeren Fahrzeughersteller an Motorblöcken haben ergeben, dass die Kosten der Importware niedriger als die Produktionskosten im eigenen Land sind und dadurch die geltenden Dumping-Gesetze verletzt werden. Trotzdem sind keine Maßnahmen gegen diese ausländischen Exporteure ergriffen worden. Das niedrige E/I-Verhältnis hat den Pro-

Table 1. Forecast of Metal Casting Demand, Shipment, Imports and Exports in the U.S. for 2006 (000 tons)

Metal	Demand	Shipments	Imports	Exports
Gray iron	5.720	4.742	1.582	604
Ductile iron	4.743	4.658	570	485
Carbon/LA steel	1.182	1.060	244	122
Aluminum die castings	1.491	1.340	337	186
Aluminum permanent mold/and	1.120	1.011	255	146
Copper-base	350	326	66	42
Other	1.205	1.158	169	122
Total	19.811	14.295	3.223	1.705

Tabelle 1

Table 2. Forecast of Casting Imports into the U.S. by Major Market Sectors for 2006 (000 tons)

Market sector	Gray iron	Ductile iron	C&LA Steel	Al Diecast	Al PM/Sand	Bronze	Other
Municipal total	295						
(Frames, covers, grates, etc.)	122						
Valves & fittings	128	94	24			31	23
Internal combustion engines	359	19	1	16	4		
Farm equipment	75	25					
Construction/mining/oil field	50	35	68				
Machine tool, dies, power tool	18	5	2	7	7		
Pumps/compressors	44	11	2				2
Special industry machine	26	7	2				2
Refrigeration/AC	34	5		11	2		
Light vehicle	355	266		248	204		11
Medium/heavy truck	62	65	8				
Railroad			138				
Other	136	38	1	55	43	35	131
Total	1.582	570	244	337	255	66	169

Tabelle 2

*) Mit Zustimmung der AFS aus MODERN CASTING 96(2006) Nr. 6, S. 30/33 übernommener Beitrag „Taking Stock of Casting Imports“ von Ken Kirgin. Deutsche Bearbeitung E. Nechtelberger.

Metal	Export/Import	Shipments/Demand
Gray iron	0.45	0.84
Ductile iron	0.5	0.88
Aluminum diecast	0.5	0.86
Aluminum permanent mold & sand	0.5	0.86

Tabelle 3

duktions-/Bedarfs-Faktor (Shipments/Demand) auf 0,60 herabgedrückt.

Landwirtschaftliche Maschinen und Anlagen

Für diesen Anwendungsbereich werden – Motorenteile ausgenommen – rd. 75.000 t Grauguss und 25.000 t duktiles Gusseisen vorwiegend aus China und anderen asiatischen Ländern eingeführt werden. Der E/I-Faktor für landwirtschaftlichen Eisenguss liegt bei 0,70 und drückt den Produktions-/Bedarfs-Faktor auf 0,93.

Maschinenbau, Bergwerks- und Ölfeldanlagen

Für in den USA produzierte Maschinen und Anlagen werden 2006 etwa 153.000 t Eisenguss, das sind 15% des Bedarfes an Eisen- und Stahlguss, eingeführt werden. Das E/I-Verhältnis für Eisenguss beträgt 0,70 und der Produktions-/Bedarfs-Faktor 0,94.

Pumpen- und Kompressorenteile

Etwa 44.000 t Grauguss und 11.000 t duktiles Gusseisen werden als Rohguss oder teilweise bearbeiteter Guss aus dem Ausland zugekauft. Der E/I-Faktor beträgt 0,90, der P/B-Faktor 0,98.

Guss für Kühlaggregate und Klimaanlage

Die amerikanischen Hersteller solcher Anlagen werden 2006 rd. 34.000 t Grauguss und 11.000 t Aluminium-Druckguss von ausländischen Zulieferern beziehen.

Leichte Fahrzeuge

Angeführt von Motorengussteilen aus Kanada und Mexiko werden etwa 355.000 t Grauguss eingeführt werden. Dazu duktiles Gusseisen im Ausmaß von 266.000 t, insbesondere Auspuffkrümmer aus Kanada und eine Vielfalt an Gussteilen aus Korea, China, Japan und anderen asiatischen Ländern. Die Einfuhren von Aluminium-Druckguss werden etwa 248.000 t betragen, neben rd. 204.000 t Al-Sand- und Kokillenguss, einschließlich Motorblöcke und Zylinderköpfe aus

Mexiko, Brasilien, Kanada, Japan, Deutschland und anderen europäischen Ländern. **Tab. 3** zeigt die Verhältniszahlen für Export/Import und Produktion/Bedarf.

Guss für Schienenfahrzeuge

Aus China und anderen Ländern werden 138.000 t an Kohlenstoffstahl und niedrig legiertem Stahl bezogen werden.

Import/Bedarfs-Faktoren für die wichtigsten Marktsektoren und Gusswerkstoffe sind in **Fig. 1** dargestellt.

Key Players – die Spitzenreiter

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse der Fa. Stratecasts wird in **Fig. 2** eine Aufschlüsselung der Gussimporte in die USA nach Herkunftsländern vorgenommen.

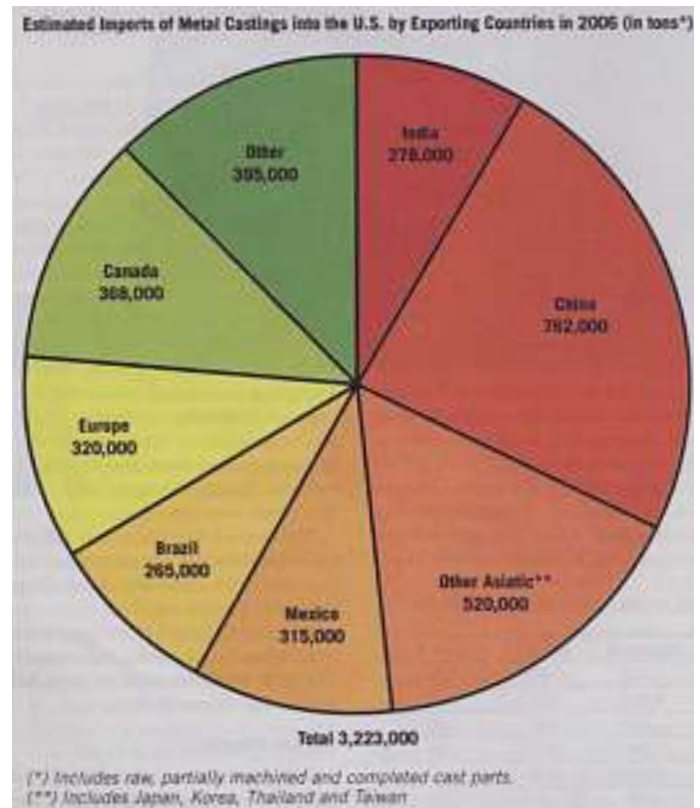


Fig. 2

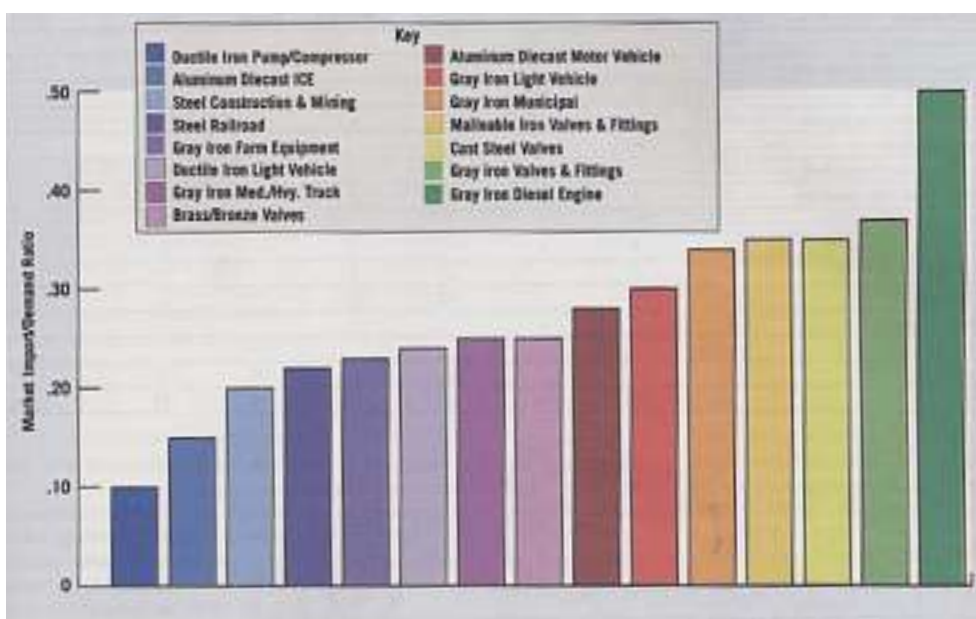


Fig. 1

Dabei wurde versucht, auch teil- und fertig bearbeitete Gussteile miteinzubeziehen.

China

Chinas Wechselkurs ist an den US-Dollar gebunden und mit 8,01 Yuan-Dollar bewertet.

Für 2006 wird der Export von unbearbeitetem, teil- und fertig bearbeitetem Guss in die USA mit 762.000 t angegeben. Der gesamte Gussexport Chinas einschließlich bereits bearbeiteter Teile liegt nahe 3,2 Mio t und beträgt 13% der Guss-Gesamtproduktion.

Obwohl, wie berichtet wird, die Arbeitskosten in den Gießereien im Mittel bei 1 US-\$/h liegen, haben Kostenuntersuchungen an in die USA exportierten Gussteilen ergeben, dass deren Preise unter den Gestehungskosten lagen und daher dem Dumping-Bereich

zuzuordnen waren. In den letzten Jahren wurden daher Armaturengussimporte mit Antidumping-Zöllen belegt.

Die wesentlichen Importe in die USA aus China umfassen Aluminium-Druckguss für Kraftfahrzeuge und Verbrennungsmotoren, Feinguss für Golferbedarf und für Armaturen, Stahlguss für Eisenbahnbedarf, Eisen-guss für landwirtschaftliche Maschinen und die Bauindustrie sowie Fittings und Armaturenguss aus Eisen- und NE-Metall-Werkstoffen.

Indien

Der Wechselkurs der indischen Rupie zum US-\$ wird mit 45 Rupien/\$ angegeben. Die Gussimporte in die USA 2006 werden mit 278.000 t prognostiziert.

Die vorherrschenden Importgusswaren liegen im nichtkommunalen Bereich, zB Graugussteile für Pumpen und für Kraftwerke. Die Kommunalguss produzierenden Unternehmen in den USA haben sich gegen die Dumping-Methoden indischer Gießereien zur Wehr gesetzt und Antidumping Zölle durchgesetzt. Auf diese Weise konnten Importe in diesem Bereich auf niedrigem Niveau gehalten werden. Trotzdem wird nach wie vor Guss zu niedrigen Preisen an die öffentliche Verwaltung geliefert.

Korea

Koreas Wechselkurs beläuft sich zur Zeit auf rd. 960 Won/\$. Die Gussexporte in die USA werden 2006 nahe 190.000 t liegen. Die Arbeitskosten einschließlich Sozialaufwendungen werden mit 11 \$/h angegeben. Der relativ schwache Kurs hat dafür gesorgt, dass Koreas Exporte in die USA und nach Europa wettbewerbsfähig sind.

Hauptabnehmer für koreanischen Eisen-Guss sind der Fahrzeugsektor sowie der landwirtschaftliche Bereich und die Maschinenbauindustrie.

Japan

Der Yen hat gegenüber dem Dollar auf 118 abgewertet und wird sich weiter auf 120 abschwächen. Die Gussexporte in die USA werden zwischen 175.000 und 195.000 t liegen.

Die Arbeitskosten japanischer Gießereien liegen bei den obigen Wechselkursen bei 23,30 \$/h. Die wesentlichen Marktsegmente für die Importe aus Japan sind Aluminium-Druckgussteile für Kraftfahrzeuge und Verbrennungsmotoren sowie LKW-Teile und Armaturen.

Andere asiatische Länder

Taiwan und Thailand lieferten Gusseisenarmaturen und Fittings sowie andere Teile in die USA. Temperguss-Fittings aus Thailand wurden mit Antidumping-Zöllen belegt.

Mexiko

Der Wechselkurs gegenüber dem mexikanischen Peso beträgt 11,1 Pesos/\$. Für 2006 wird mit einem Gussexport von 315.000 t in die USA gerechnet. Die Arbeitskosten in mexikanischen Gießereien liegen bei 2,50 \$/h.

Die aus Mexiko bezogenen vorrangigen Gussprodukte sind Motorblöcke und Zylinderköpfe aus Grauguss zu besonders niedrigen Prei-

sen. Das hat letztlich dazu geführt, dass viele Gießereien in den Staaten schließen mussten. Weitere wichtige Exportwaren sind Gussteile nach Schaumstoffmodellen für Kühlaggregate und Bremsenteile für Kraftfahrzeuge.

Brasilien

Die brasilianische Währung Real hat auf 2,1 /\$ angezogen. Die Gussexporte in die USA werden mit 265.000 t veranschlagt. Die Arbeitskosten liegen derzeit im Mittel bei 4,50 \$/h. Die wesentlichen Exportträger in die USA sind Motorblöcke und Zylinderköpfe für Dieselmotoren, wobei die brasilianischen Gießereien mit Mexiko im starken Wettbewerb stehen. Von Dumpingpreisen wird vielfach berichtet. Dumping gibt es auch bei Temperguss-Fittings. Antidumpingmaßnahmen haben den Export verringert.

Europa

Der Euro liegt mit 1,21 \$ auf hohem Niveau und es ist zu erwarten, dass er weiterhin stark bleibt. Für 2006 werden die Guss-Exporte in die USA mit 320.000 t veranschlagt.

Tab. 4 gibt eine Zusammenstellung der heutigen mittleren Arbeitskosten europäischer Länder.

Der wesentliche Gussimport aus Europa konzentriert sich auf Guss für Dieselmotoren aus Deutschland, Aluminium-Guss aus Italien und Frankreich sowie Kommunalguss und Guss für den Maschinenbau.

Country	\$/hr.
Germany	25.60
Austria	21.20
France	19.50
Italy	19.30
United Kingdom	17.50
Spain	16.10
Portugal	9.60

Kanada

Der Wechselkurs steht bei 1,15 Can-\$ / US-\$. Die Ex-

porte aus Kanada in die USA werden mit 368.000 t veranschlagt. Die mittleren Arbeitskosten liegen bei 16,20 US-\$/h. Aus Kanada beziehen die USA hauptsächlich Aluminium-Motorblöcke und Zylinderköpfe, Bremsenteile aus Grauguss und Auspuffkrümmer aus duktilem Gusseisen.

Exporte der USA

Unter den zu Grunde gelegten Wechselkursen der Währungen in anderen Regionen der Welt wird der Export von Rohguss und bearbeiteten Gussteilen, wie in **Tab. 1** angegeben, für 2006 mit 1,71 Mio t prognostiziert. Die amerikanischen Gießereien gehen davon aus, mit den europäischen Unternehmen am Weltmarkt im Wettbewerb mithalten zu können.

Kontaktadresse:

MODERN CASTING/Engineered Casting Solutions, Shannon Kruse, Associate Editor, 1695 N. Penny Lane, Schaumburg, IL 60173-4555, Tel.: 800/537-4237 ext. 266, E-Mail: skruse@afsinc.org

Besuchen Sie uns im Internet:

www.verlag-lorenz.at



Deutscher Giessereitag Bremen – 3. und 4. April 2006

Rückschau in Kurzberichten – Teil 2

(Teil I erschien in Heft 5/6 der Giesserei Rundschau 53 (2006), S. 108/115)



ERA – Einführung bei der Firma M. Busch – Erfahrung aus einem Pilotbetrieb

Eduard Daners, M. Busch GmbH & Co. KG, Bestwig

Als mittelständisches Unternehmen standen wir vor der Entscheidung, unsere gesamte Lohn- und Gehaltsstruktur zu überarbeiten und ein zeitgemäßes Entlohnungssystem zu installieren. Nach Gesprächen zwischen der Geschäftsführung und dem Betriebsrat haben wir uns im Jahre 2003 entschlossen, mit Zustimmung der Tarifvertragsparteien, als Pilotbetrieb den neuen Tarifvertrag Entgeltrahmenabkommen (ERA) Metall für das Land NRW einzuführen.

Was waren die Gründe für die frühe Umstellung?

Besondere Gründe für die Überarbeitung der Entgelte waren

- Gestaltung einer modernen, zeitgemäßen Entlohnung
- Beseitigung der firmeneigenen Lohngruppentabelle mit Zwischenlohngruppen aus den sechziger Jahren
- Begonnene Veränderung der Leistungsentgelte von Akkord in Prämie fortzusetzen und abzuschließen
- Überführung der Analytik in die Summarik
- Unterschiedliche Bezahlung bei gleichwertiger Tätigkeit von Angestellten und gewerblichen Beschäftigten abschaffen
- Angleichung der Bezahlung von einfachen Tätigkeiten, die in der Vergangenheit zu hoch bewertet wurden
- Überführung von freiwilligen, übertariflichen Bestandteilen in das Tarifentgelt mit der Möglichkeit einer späteren Verrechnung
- Durch eine Angleichung des Entgelts eine Kostenminimierung zu erzielen

Unser Ziel war es, diese Punkte mit dem Betriebsrat einvernehmlich zu regeln und die Beschäftigten von der Notwendigkeit der Maßnahme zu überzeugen.

Wer hat bei der Einführung mitgewirkt und wie sind wir dabei vorgegangen?

In einer Projektgruppe mit Vertretern des Betriebsrates und Unterstützung durch die örtlichen und überörtlichen Vertreter der Tarifvertragsparteien haben wir mit der Erstellung der ERA-Aufgabenbeschreibungen begonnen. Dabei mussten wir die Tätigkeiten nach den 4 Anforderungsmerkmalen 1. Können (mit a) Arbeitskenntnisse, b) Fachkenntnisse, c) Berufserfahrungen, 2. Handlungs- und Entscheidungsspielraum, 3. Kooperation und 4. Mitarbeiterführung mit einem differenzierten Punktesystem neu einstufen. Die Beschreibung und Einstufung der Arbeitsaufgaben erfolgt hierbei unabhängig von den Beschäftigten und deren Qualifikation auf einem Formblatt.

Nach der Zustimmung des Betriebsrates zu den Arbeitsaufgaben und deren Eingruppierung haben wir dann die Übertragung der Arbeitsaufgaben auf die Beschäftigten vorgenommen. Wir waren somit in der Lage, eine Gegenüberstellung der alten Entgelte mit den neuen Entgelten vorzunehmen. Dazu haben wir die Entgelte nach den Einzelbestandteilen aufgeschlüsselt. Durch die Gegenüberstellung bekamen wir eine Übersicht der Unter- und Überschreiter sowie über die Höhe der Differenzbeträge. Mit dieser Übersicht konnten wir nun eine Kostenprognose für unser Unternehmen abgeben und feststellen, ob die Kostenneutralität gewahrt bleibt. Hierbei haben wir das von den Tarifvertragsparteien in NRW abgestimmte Kostenprognoseprogramm zur Anwendung gebracht.

Durch dieses Programm waren wir in der Lage, die Kostenentwicklung für die nächsten 5 Jahre zu ermitteln.

Was haben wir parallel zur Einführung von ERA noch verändert?

Die Zusammensetzung unserer Leistungsentgelte, die Einführung einer individuellen Leistungsbeurteilung für alle Beschäftigten und die bestehenden Betriebsvereinbarungen mussten wir überarbeiten und anpassen.

Wie haben unsere Beschäftigten von der Einführung erfahren?

Unsere Beschäftigten haben wir in einer Betriebsversammlung und per Aushang über die Umstellung der Entgelte gemeinsam mit dem Betriebsrat informiert. Darüber hinaus bekamen die Beschäftigten ein Infoblatt.

In Einzelgesprächen haben wir gemäß Tarifvertrag spätestens 1 Monat vor Einführung von ERA persönlich die schriftliche Mitteilung über die Zusammensetzung des Entgeltes und die Arbeitsaufgabenbeschreibungen übergeben und erläutert.

Welche Arbeiten waren mit der Einführung von ERA noch zu leisten?

Bei der Umsetzung des Entgeltrahmenabkommens im Abrechnungsprogramm mussten wir Lohnarten unter Beteiligung der Abteilungen EDV, Finanzbuchhaltung und Controlling anpassen. In diesem Zusammenhang war der Auszahlungstermin, bisher unterschiedlich bei Gehalt und Lohn, anzugleichen.

Wie sind wir mit Einsprüchen der Beschäftigten umgegangen?

Die vom Betriebsrat gesammelten und gewichteten Einsprüche haben wir mit dem Betriebsrat, mit dem Beschäftigten und mit Beschäftigtengruppen besprochen und die erzielten Einigungen bekannt gegeben. Alle Einsprüche konnten so auf dem Verhandlungswege beseitigt werden.

Welche Erfahrung haben wir als Betrieb/Pilotbetrieb gemacht?

Durch die zielgerichtete Erarbeitung und Umsetzung aller Beteiligten der Projektgruppe haben wir das Ziel der ERA-Einführung zum 01. 01. 2005 erreicht.

Dabei war die frühzeitige Einbindung des Betriebsrates von Vorteil. Durch die frühe Umsetzung parallel zur Verhandlung über den ERA-Tarifvertrag der Tarifvertragsparteien hatten wir einen hohen administrativen Aufwand, da die jetzt vorliegenden Unterlagen des Arbeitgeberverbandes uns nur teilweise vorlagen. Wir haben jedoch durch die intensive Betreuung der örtlichen und überregionalen Vertreter des Arbeitgeberverbandes und der IG Metall sehr gute Hilfestellungen erhalten.

Zu den Gewinnern der Umstellung zählen bei uns überwiegend die Facharbeiter. Verlierer dagegen sind die Angestellten mit den Gehaltsgruppen K/T 4 .. 6 und die Beschäftigten mit den einfachen Arbeitsaufgaben. Die erhoffte Kostenreduzierung konnten wir im Kostenprognoseprogramm ablesen. Wir bleiben in den nächsten 5 Jahren bei der Kostenneutralität unter dem festgestellten Prozentsatz von 2,79 %.

Metallschrott im Fokus der Rohstoffpolitik

Günter Kirchner, VAR Verband der Aluminiumrecycling-Industrie, Düsseldorf

Für Aluminium gibt es in der EU praktisch keine natürlichen metallischen Rohstoffquellen. Allerdings verfügt die EU über einen kontinuierlich wachsenden Bestand an Aluminiumschrott. Die Aluminiumrecycling-Industrie nimmt diese sekundären Vorstoffe auf und verarbeitet sie zu hochwertigen Legierungen, aus denen wiederum von den Gießern Gussteile hergestellt werden.

Der steigende Bedarf Chinas und Indiens an Metallschrotten könnte Europa austrocknen mit fatalen Folgen für die in der Wertschöpfungskette nachfolgenden Industrien. Gegenwärtig findet sich in Deutschland und anderen Regionen der EU eine ideale geographische und wirtschaftliche Konstellation der Produzenten von Fertigprodukten, der Teile- und der Rohstoffproduzenten. Dies gilt insbesondere für die Zusammenarbeit der Automobilindustrie, der Gießereien und der Sekundäraluminiumhütten. Obwohl das Aufkommen an Aluminiumschrott ständig steigt, ist dieses „goldene Dreieck“, wie im Einzelnen dargestellt wird, zunehmend gefährdet.

Der Vortrag wird zunächst am Beispiel des Werkstoffs Aluminium die aktuelle Rohstoffversorgung in Deutschland und in der EU darstellen. Herausgestellt wird insbesondere die große Bedeutung der sekundären Rohstoffe für die Versorgung der Industrie. Um zu zeigen, dass ohne geeignete Vorsorgemaßnahmen die Schrottversorgung in der EU langfristig gefährdet ist, wird zunächst der aktuelle Aluminiumschrottbedarf Chinas erläutert. Anhand eines Szenarios wird gezeigt, wie sich der Bedarf bis zum Jahr 2020 in China und Indien entwickeln kann. Dabei wird deutlich, dass es beiden Ländern nicht möglich sein wird, ihren Bedarf an sekundären Vorstoffen auf ihren heimischen Märkten zu decken. Die Gefahr, dass durch steigende Schrottexporte nach China und Indien die in der EU benötigten Schrotte nicht mehr zur Verfügung stehen, nimmt daher zu. Es müssen Strategien entwickelt werden, um den Bestand europäischer Schlüsselindustrien langfristig zu sichern, da die heute zur Verfügung stehenden Instrumentarien nicht geeignet sind, den Ausverkauf von Schrotten zu verhindern. Es werden Vorschläge für ein handelspolitisches Instrumentarium gemacht, mit dem einem Ausverkauf europäischer Sekundärrohstoffe wirkungsvoll vorgebeugt werden kann.

Fertigungsprozessoptimierung mittels Videotechnik und AviX

Dr. Uwe Büchner, SOLME Deutschland GmbH, Speyer

Produktivitätssteigerungen von mehr als 20% lassen sich heute in jeder Gießerei erreichen, wenn man die Methode der videobasierten Fertigungsprozessoptimierung mit dem System AviX (Analyisieren, visualisieren, implementieren, X=10min Analysezeit für 1min Arbeitsinhalt und damit schneller und effektiver als herkömmliches Vorgehen) einsetzt.

Das Vorgehen läuft in 5 Schritten ab:

- Videoaufnahme des Fertigungsprozesses
- Ist-Strukturierung und Analyse des Fertigungsprozesses im System AviX
- Soll-Konzeption des optimierten Fertigungsprozesses
- Optimale Austaktung der Fertigungslinie
- Implementierung des verbesserten Fertigungsprozesses

Die Produktivitätssteigerungen werden erreicht über:

- Steigerung der Effizienz (Erhöhung der Wertschöpfung)
- Eliminierung von Verlustzeiten, Reduzierung der Störzeiten
- Verringerung der Unterstützungsleistungen
- Verbesserung der Ergonomie
- Verbesserung der Qualität

Erfolgreich eingesetzt wird die Methode in allen Fertigungs- und Montageabläufen, insbesondere im Gießprozess, beim Rüsten, zum Optimieren von Bearbeitungszentren sowie bei der Entwicklung und Simulation neuer Konzeptionen in Konstruktion und Fertigung.

Um den vollen Nutzen zu realisieren bedarf es der Einbindung der am Fertigungsprozess beteiligten Mitarbeiter und der aktiven Unterstützung der Führungskräfte, vom Werkleiter bis zum Meister.

Wichtig ist zudem die frühe Einbindung des Betriebsrates, um von Anfang an klar zu machen, dass die Videoaufzeichnungen nicht zur Leistungsmessung der Mitarbeiter herangezogen werden, sondern dazu dienen, den Fertigungsprozess intelligenter zu gestalten.

Die Berater der Solme Deutschland GmbH haben in zahlreichen Kundenprojekten den hohen Nutzen der Methode bewiesen. Hier zeigen sie an konkreten Beispielen das Vorgehen und die Ergebnisse auf.

Roboterapplikation für die Gießerei der Zukunft

Joachim Rotzinger, ROBOTECH Engineering, Bad Säckingen

Kurze Rüstzeiten, vorteilhaft gestaltete Arbeitsabläufe, hohe Produktivität, Prozesssicherheit und Qualität sind Forderungen, die sich praktisch jede Gießerei stellen muss. Wirtschaftlich gelöst werden sie unter anderem mit Hilfe von Industrierobotern und leistungsfähiger Automatisierungstechnik. Das Herzstück jeder Sandgießerei ist dabei die Formanlage – anhand von vier Projektbeispielen wird gezeigt, wie sich durch intelligente Robotertechnologie die Produktivität und Qualität erheblich steigern lässt:

1. Einlegen von Sandkernen

Der Leichtbau erfordert immer mehr und immer empfindlichere Kerne, die Wandstärken in der Form werden stets dünner und das Einlegen der Kerne in breite Formkästen immer unergonomischer – dies prädestiniert den Einsatz von Kerneinlegerobotern. So werden für große und schwere Kerne Linearroboter eingesetzt, für kleinere und mittlere Kerne und Formen sind 6-Achs-Roboter geeignet. Die Zuführung der Kerne erfolgt sowohl über ein Palettensystem mit vorpositionierten Kernen, einer Palette auf einem Drehtisch oder Schlittensystem oder kann bei der Direktbeladung auch direkt in den Robotergreifer erfolgen. Auch die Greiftechnologie ist vielfältig: es kommen pneumatische Greifer mit teils konturgebundenen Greiferfingern zum Einsatz, oder die Kerne werden mittels Unterdruck in eine Matrize angesaugt (so können schonend und prozesssicher auch sensible Kerne transportiert werden).

2. Einlegen von Schaumkeramik-Filtern:

Das Einlegen von Schaumkeramikfiltern in Giessformen ist heute noch immer ein Arbeitsschritt, der überwiegend manuell ausgeführt wird. Grund dafür sind die Verpackungen, in welchen die Filter angeliefert werden. Muss für das Entnehmen und Positionieren der Filter ein Werker eingesetzt werden, so kann er die Filter auch gleich direkt in die Form einlegen. Die Innovation eines automatisierten Filtereinlegers besteht darin, die Filter direkt aus der Verpackung zu entnehmen und einzulegen. Dies geschieht mit zwei Robotern: der erste Roboter misst mit einer speziellen Sensorik die Lage und Position der Filter auf dem Stapel aus, saugt den Filter an und legt ihn in einen Puffer, in welchem die Filter zentriert werden. Der Puffer wird benötigt, um Filter zu bevorraten, wenn der Roboter die Zwischenlage entfernen muss oder ein neuer Stapel eingeschleust wird – der zweite Roboter, der die Filter aus dem Puffer entnimmt und in die Form einlegt, arbeitet ohne Unterbruch in der Zykluszeit der Formanlage. Die Ablagepunkte sind als frei definierbare Koordinaten in der Robotersteuerung hinterlegt. Eine Änderung der Koordinaten oder eine Erweiterung um einen neuen Typ ist somit ohne Programmierkenntnisse möglich. Das flexible Konzept der Anlage ermöglicht den Einsatz für nahezu jeden Anwendungsfall für horizontale und vertikale Formanlagen.

3. Bohren und Fräsen von Eingsustrichern, Gießläufen und Speisern:

Am Handflansch des Roboters ist das Fräswerkzeug mit zwei rotierenden Messern angebracht, mit welchen die entsprechenden Bohrungen bzw. Kanäle in den Oberkasten eingebracht werden. Dabei werden sämtliche Roboterpositionen frei programmiert – der Gießlauf kann so unterschiedliche Formen und Tiefen erhalten. Die Eingabe erfolgt am PC wie bei einer NC-Maschine: die einzelnen Koordinaten und die dazugehörigen Vorschubgeschwindigkeiten sowie die Spindeldrehzahl werden in einer Tabelle hinterlegt und beim Modellwechsel automatisch aufgerufen. An den beiden Wellenenden des Fräswerkzeugs können unterschiedliche Messergeometrien aufgespannt werden.

4. Dosieren und Vergießen von Aluminium:

Der Industrieroboter taucht mit dem Gießlöffel der Gießachse in die flüssige Schmelze ein und entnimmt dort die erforderliche Menge für den nächsten Abguss. Die Kinematik des Löffels ist durch den patentierten Schubkurbelantrieb der Pleuel und Excenterwellen nahezu temperaturunabhängig und spielfrei. Der Servoantrieb ist in die Robotersteuerung integriert. Eine spezielle Gießsoftware ermöglicht das Parametrieren der Gießkurven ohne Roboterkenntnisse. Die Eingusspunkte werden vom Bohrroboter übernommen – Übertragungsfehler werden dadurch ausgeschlossen und eine hohe Prozesssicherheit erreicht.

Anwendung einer 2D-Computer-Tomographie-Anlage in einer Al-Gießerei

Dr.-Ing. Uwe Bischoff, Dr. Bernd Georgi, Dr.-Ing. Ferdinand Hansen, Frank Jeltsch, Volkswagen Nutzfahrzeuge AG, Gießerei Hannover und Charles Smith, BIR Inc. Lincolnshire/USA

Computertomographie (CT) eignet sich besonders zur Prüfung von Gussteilen mit komplizierter Innengeometrie. Die Prüfaufgaben Maßprüfung von Innen- und Außengeometrie gegen CAD-Daten und Materialfehlersuche (Lunker, Risse und Einschlüsse) können mit einer 2D-Makro-Computertomographie-Anlage vollständig erfüllt werden.

Es wird der Arbeitsablauf von der Teileanlieferung über die Kalibrierung der Scanparameter, die Datentransformation, Rekonstruktion der Scandaten zum Gesamtbauteil bis zur Auswertung der Fehlerprüfung (z.B. Poren) und des Soll-Ist-Vergleiches beschrieben.

Die Schwerpunkte der Nutzung der 2D-Computertomographieanlage in der VW Gießerei Hannover sind die Prüfung

- von Prototypen, die in Rapidprototyping-Technik hergestellt werden, auf Lunker und Funktionalität,
- von Vorserienteilen auf Einhaltung der Sollmaße und Fehlerfreiheit,
- von reparierten Kernwerkzeugen durch Vergleich der Datensätze von Kernen nach Reparatur gegen CAD-Sollmaße
- sowie zum Soll-Ist-Vergleich von ausgewählten Serienteilen nach Designänderung.

Der aus 2D-Schnitten erzeugte 3D-Datensatz ist von guter Qualität und kann z.B. im stl-Format zu Vergleichen mit aus anderen Quellen erzeugten Daten (z.B. Laserscanner) herangezogen werden. Der Schritt zum Reverseengineering auf Basis der CT-Daten verlangt z.Z. noch viel ergänzende Konstruktionsarbeit. Das Auflösungsvermögen ist nach unten begrenzt durch die halbe Voxelgröße (am Beispiel Zylinderkopf ca. 0,15 mm, siehe auch SAE World Congress 2005, 05M-498).

Feine Strukturänderungen wie nicht geöffnete Risse und Oxide sind nur schwer zu detektieren. Die 2D-Computertomographie ist die einzige zerstörungsfreie Prüf- und gleichzeitige Messmethode für die Außen- und Innengeometrie komplexer 3dimensionaler Bauteile.

Die „kleine“ Lösung: Neue Wege in der Grünsandaufbereitungstechnologie – ein erster Anwendungsbericht

Dipl.-Ing. Ulf Schmidgen, MAN Nutzfahrzeuge AG, Nürnberg

Hierbei handelt es sich um eine neue Struktur in der Sandaufbereitungstechnik. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Elemente einer Sandaufbereitung deutlich reduziert wurden, jedoch alle unbedingt erforderlichen Funktionen enthalten blieben.

Die Anlage ist in der nachfolgend beschriebenen Struktur aufgebaut. In der ersten Stufe wird der genutzte Formsand der Formanlage, einschließlich des Überfallsandes, in der Auspackstruktur erfasst und der Altsandaufbereitung zugeführt. Innerhalb der Zuführstruktur wird der Altsand mittels Überbandmagnet und Magnettrommel von seinen metallischen Bestandteilen befreit. Im zweiten Schritt erfolgt das Absieben der Kern- bzw. Formstoffknollen in einem Polygon-sieb. Nach einer kurzen Verweildauer im Altsandbunker wird der Sand direkt dem Mischer zugeführt. In diesem Spezialaggregat wird sowohl die erforderliche Sandkühlung als auch das Mischen selbst durchgeführt. Im Anschluss daran folgt über einen Fertigsandbunker die Wiederzuführung zur Formmaschine.

Der Vorteil eines derartigen Anlagenaufbaus besteht darin, dass nur sehr wenige Elemente erforderlich sind. Das bedeutet einen geringeren Platzbedarf und niedrigere Investitionskosten, lediglich der Mischer wird auf die besonderen Erfordernisse des Kühlens speziell zugeschnitten. Hierzu wurde zur Sandkühlung ein Lüfter an den Mischer angeschlossen. Die Abluft aus dem Mischer wird über einen Zyklon geführt, um die mit dem Kühlen ausgetragenen Feianteile wieder zuführen zu können. Die Zuführung der Feianteile erfolgt dosiert über die Zuschlagstoffwaage des Formsandmischers. Da für die gewählte konventionelle Luftkühlung des Altsandes auch eine bestimmte Zeit erforderlich ist, wurde der Mischer so dimensioniert, dass die Kühlung des Sandes und das Aufbereiten mit einer ausreichenden Sicherheit gegeben ist. Vereinfacht wurde von einer verdoppelten Kapazität gegenüber dem Bedarf ausgegangen. Eine derartige Anlage wurde im Zusammenhang mit der Überholung einer Formanlage und Erneuerung der zugehörigen Sandaufbereitung für eine Aufbereitungsleistung von ca. 60 t Grünsand/Stunde aufgebaut.

Gestartet wurde mit einer Gesamtzykluszeit von 300 sek. Innerhalb dieser Zeitspanne wurde sowohl die Kühlung von ca. 100°C heißem Altsand auf ca. 45°C als auch das Aufbereiten des Altsandes selbst bis zum Abschluss des Mischvorganges erreicht.

Während der Inbetriebnahmephase stellte sich weiterhin heraus, dass die klassischen Feuchtesteuern nicht in ihrer ursprünglichen bzw. häufig verwendeten Form genutzt werden können. Wie bekannt ist, setzt sich der gesamte erfasste Altsand aus einer Mischung mit unterschiedlich heißen Bereichen zusam-

men. Eine Altsanddurchschnittstemperatur von 80 oder 100°C bedeutet daher, dass in diesem sowohl sehr heiße Partien mit deutlich über 400°C als auch kalte Bereiche mit nur ca. 40°C oder gar darunter vorkommen. Um den bei einer längeren Lagerung einsetzenden Temperatursausgleich innerhalb des Formstoffes und damit die Erwärmung von bisher unbelasteten Sandpartien möglichst gering zu halten, wurde der Altsandbunker in der Größe an einen Kühlervorbunker angeglichen. Durch das damit geringe Puffervolumen schwankt die Eintrittstemperatur des Altsandes in den Mischer erheblich. Insbesondere nicht abgeossene Formkästen machen sich hier besonders bemerkbar. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde die vorausschauende Wasservordosierung, welche bisher etwa zu 80% von den vorangegangenen Mischungen beeinflusst wurde, in der neuen Anlage mit einer wesentlich stärker von der in das Wiegegefäß einlaufenden Altsanddurchschnittstemperatur und Feuchte abhängig gemacht. Ist die Temperatur der nachfolgenden Mischung gleich bzw. höher, wurde das klassische Konzept beibehalten. Wird jedoch bei einer weiteren Mischung eine deutlich niedrigere Temperatur ermittelt wird diese überproportional berücksichtigt.

Neben der Berücksichtigung der Altsandtemperatur bei der Vorwasserdosierung wurden auch Versuche zur Optimierung der Zuschlagstoffzugabe als Variation um einen bestimmten vorgewählten Basiswert in Abhängigkeit von der Altsandtemperatur gemacht. In diesem Zusammenhang musste jedoch die sogenannte Montagsituation, das bedeutet kalter aber auch verbrauchter Altsand, nach anderen Kriterien gesteuert werden. Bei der Nutzung der Anlage stellte sich besonders heraus, dass es sich hier um eine nachlaufende Aufbereitung handelt, bei der dem Altsand genau die Behandlung, in der Form von Kühlung, Wasserdosierung und Zuschlagstoffzugabe zuteil wird, die er zur optimalen Wiederverwendung benötigt, wobei unter der Prämisse der Ressourcenschonung jeweils nur das zugeführt wird, was dieser tatsächlich benötigt und dass eine Freigabe der Sandmischung auch nur dann erfolgt, wenn der vorgegebene Aufbereitungsgrad erreicht wurde.

Untersuchungen zur Steigerung der Produktivität und Qualität automatischer Formanlagen

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Bast, Dr.-Ing. Andrej Malaschkin, Institut für Maschinenbau der TU Bergakademie Freiberg

Automatische Formanlagen stellen in vielen Gießereibetrieben das Herzstück der Gusserzeugung dar. Bei der Verwendung von kastengebundenen, horizontalgeteilten Formen beinhalten sie je nach Ausführungsart außer dem reinen Formherstellungsschritt das Kerneinlegen-, Gieß- und Kühlstrecken, den Beschweisersübersetzer, die Formausleereinrichtung sowie die Formstoffaufbereitung. Unter maschinenbaulichem Aspekt ist die Qualität einer Formanlage gekennzeichnet durch:

- eine zeitliche und logistische Abstimmung der Materialflüsse in den einzelnen Strecken,
- eine störungsfreie sowie zeitlich und qualitativ reproduzierbare Arbeitsweise der Einzelaggregate in den Linien,
- einen ausreichenden Energieeintrag zu jedem Zeitpunkt eines Einzelzyklus und
- die Möglichkeit zur Erweiterung der Formanlage und ihrer Optimierung.

Durch die beiden ersten Punkte wird die Produktivität der Formanlage bestimmt, die im Zusammenhang mit dem dritten Merkmal die anfallenden Produktionskosten nach sich zieht.

In modernen Formanlagen wird die Mehrzahl der Einzelaggregate hydraulisch angetrieben, wodurch das Vorhandensein einer oder mehrerer Ölversorgungsstationen mit den entsprechenden Versorgungsnetzen notwendig ist. Da die einzelnen Fertigungsschritte während eines Arbeitszyklus sowohl nacheinander als auch parallel verlaufen können, muss vom Hydrauliksystem zur Sicherstellung der zeitlichen und qualitativen Reproduzierbarkeit der Operationen eine ausreichende (oft sehr unterschiedliche) Ölmenge mit einem vorgegebenen Druck zur Verfügung gestellt werden. Die zeitliche Reihenfolge der einzelnen Arbeitsoperationen entscheidet deshalb über die Größe der Ölversorgungsstationen und somit über die erforderlichen Kosten für deren Beschaffung, Wartung und Betrieb.

Durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass die installierten Formmaschinen oft ein Optimierungspotential in der Arbeitsweise besitzen, durch dessen Nutzung ihre Produktivität bis zu 15 Prozenten erhöht werden kann. Es zeigt sich aber auch, dass trotz der Taktzeitverkürzung der Formmaschine zwangsläufig noch keine Verkürzung des Gesamtzyklus auftreten muss, wenn die der Formmaschine nachfolgenden Bereiche nicht zielgerichtet geändert werden. Dies wird dadurch möglich, dass man das Hydrauliksystem bzw. die Reihenfolge und Dauer der nachfolgenden Einzeloperationen unter Berücksichtigung der Ölversorgungssituation an die neuen Arbeitsbedingungen anpasst.

Es werden die Ergebnisse von Untersuchungen der zeitlichen Wiederholgenauigkeit der in den Formanlagen ablaufenden Prozesse vorgestellt. Dabei wurden die möglichen Ursachen für das Auftreten der festgestellten Schwankungen aufgedeckt und analysiert. Aus dieser Analyse resultiert ein Rechnerprogramm, das für eine konkrete Formanlage zur Simulation des Hydrauliknetzes sowie des Öldruck- und Ölstrombedarfes eingesetzt werden kann. Mit Hilfe dieses Programms kann die Arbeitsweise der Formanlage optimiert werden.



Rückblick auf die FOND-EX

Internationale Gießereifachmesse Brunn/CZ



Bild 1



Bild 2

Von 16. bis 19. Mai haben sich auf dem Brünner Messegelände 7 internationale Fachmessen (mit fast 900 Ausstellern aus über 30 Ländern) auf einer Gesamtausstellungsfläche von rd. 22.000 m² präsentiert und über 25.000 interessierte Besucher – der Anteil der Fachbesucher lag bei 80% – angezogen.

Besonders die Gießereifachmesse FOND-EX, die neben der GIFA/Düsseldorf die zweite Messe ist, der die offizielle Schirmherrschaft der CAEF, der Vereinigung der europäischen Gießereiverbände, zugesprochen worden ist und die Schweißfachmesse WELDING hatten einen hohen Anteil ausländischer Aussteller und hochwertige fachliche Rahmenprogramme.

In der Rotunde (**Bild 2**), in der sich die FOND-EX auf 3.000 m² präsentierte, boten 157 Unternehmen (42% aus dem Ausland) aus 16 Ländern ihre Produkte und Dienstleistungen an (**Bilder 3 u. 4**). Die 2.300 registrierten internationalen Besucher kamen aus 49 Ländern.

Erstmals waren diesmal auch Länder wie China, Makedonien und die USA vertreten.

Die 11. Auflage der FOND-EX fand zum Zeitpunkt des Booms der tschechischen Gießerei-Industrie statt, die nach dem EU-Beitritt einen Produktionsanstieg von rd. 12% verzeichnet. Unter den Messteilnehmern befanden sich daher die Leader des tschechischen und des europäischen Marktes.

Anlässlich der Eröffnung der Messe bestätigte der Präsident des Tschechischen Gießereiverbandes Ivo Zizka seiner Branche eine gute Kondition: „Unsere traditionsreiche Branche konnte die gegenwärtige Konjunktur der tschechischen Industrie gut auffangen. Die Auftragslage ist gut, besonders bei Gusseisen mit Kugelgrafit und bei den Zulieferungen zur Automobilindustrie. Es fehlen aber qualifizierte Arbeitnehmer, technische Kader, Arbeiter und auch Hochschulabsolventen. Deshalb liegt bei der diesjährigen FOND-EX ein Schwerpunkt bei der Ausbildung: es präsentieren sich auch berufsbildende Schulen.“

Die weiteren beiden Schwerpunkte waren:

- Gießereiausrüstung, Maschinen und Apparate sowie Materialien und Hilfsstoffe für Gießereien und Modellbauer
- Gussteile und Modelle

Im Rahmenprogramm fand, veranstaltet vom Gießereiverband der tschechischen Republik, die 4. Int. Konferenz „Wirtschaftsprobleme bei der Gussteilherstellung“ statt, bei der die Intensivierung der Berufsausbildung und die dringend notwendige Entwicklung der Humanressourcen Schwerpunktsthema waren.

Darüber hinaus fand ein Seminar „Gussteilherstellung in den Ländern Mittel- und Osteuropas“ statt und die Vereinigung der tschechischen Feingießereien veranstaltete ein Seminar zum Thema „PRECAS – Präzisionsgussteil: Einsparung von Material, Energie u. Arbeitsaufwand“.

Weitere Informationen: www.fond-ex.cz



Bild 3: Reges Besucherinteresse an den Ständen



Bild 4: Aus Österreich war die Fa. Furtenbach mit einem repräsentativen Stand vertreten

Veranstaltungskalender

Weiterbildung – Seminare – Tagungen – Kongresse – Messen

Der Verein Deutscher Gießereifachleute (VDG) bietet im Jahr 2006 folgende Weiterbildungsmöglichkeiten an:

Datum: Ort: Thema:

2006

18./19.10.	Essen	Betriebsdaten-Management (BDM). (WS)
24./25.10.	Duisburg	Schweißen von Gusseisen (PL)
25./26.10.	Heilbronn	Schlichten von Sandformen und Kernen (S)
26./28.10.	Stuttgart	Grundlagen der Gießereitechnik f. Leichtmetallguss (QL)
08.11.	?	Praxis des Schmelzens im Induktionsofen (MG)
10./11.11.	Stuttgart	Schmelzen von Aluminium (QL)
15./16.11.	Heilbronn	Fortbildungslehrgang für Immissionsschutzbeauftragte in Gießereien (FL)
15./16.11.	Dresden	Herstellung von Gusseisen mit Kugelgrait (S)
17./18.11.	Duisburg	Putzerei und Rohguss-Nachbehandlung (QL)
29./30.11.	Heilbronn	Moderne Technologien im Modell- und Formenbau (S)
01./02.12.	Heilbronn	Schmelzen von Kupfer-Gußwerkstoffen (QL)
06./07.12.	Duisburg/D`dorf	Praxis der Metallografie für Gusseisen-Werkstoffe (PL)
07./09.12.	Duisburg	Grundlagen der Gießereitechnik für Eisenguss (QL)
14./16.12.	Schwelm	Erfolgreiches Führen (WS)

Änderungen vorbehalten!

IV=Informationsveranstaltung, MG=Meistergespräch, PL=Praxislehrgang, PS= Praxisseminar, QL=Qualifizierungslehrgang, S=Seminar, WS=Workshop, FT=Fachtagung

Nähere Informationen erteilt der VDG: D-40237 Düsseldorf, Sohnstraße 70,
Tel.: +49 (0)211 6871 0, E-Mail: weiterbildung@vdg.de, Internet: www.vdgweiterbildung.com
Leiter der VDG-Weiterbildung: Dipl.-Ing. Marc Sander, Tel.: +49 (0)211 6871 363, E-Mail: marc.sander@vdg.de

Fortbildungsseminare und -praktika der Deutschen Gesellschaft f. Materialkunde e.V. (DGM)

2006

10./11.10.	Braunschweig	Schweißtechnische Problemfälle – Metallkundlich-technologische Analyse
06./09.11.	Dresden	7. Int. Konf. „Magnesium-Legierungen u. deren Anwendung“
07./09.11.	Jülich	Hochtemperaturkorrosion
13./14.11.	Karlsruhe	Mechanische Oberflächenbehandlung zur Verbesserung der Bauteileigenschaften
14./16.11.	Dortmund	Moderne Beschichtungsverfahren
04./05.12.	Kaiserslautern	Schicht- u. Oberflächenanalytik

Nähere Informationen: DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., D – 60325 Frankfurt a.M., Senckenberganlage 10, www.dgm.de, www.materialclub.com.

Weitere Veranstaltungen:

2006

15./18.10.	Rotorua (NZ)	37th Australasian Foundry Conference (www.castingtechnologynz.org) (www.castingtechnologynz.org)
17./18.10.	Salzburg	4. Ranshofener Leichtmetalltage 2006 (www.lkr.at/lmt2006)
22./25.10.	Milwaukee (USA)	Investment Casting 54th Techn. Conf. & Expo
24./26.10.	Kiew (Ukraine)	Gießerei Messe (www.targikielce.pl)
24./27.10.	Köln	11. Entsorga-Enteco 2006 – Fachmesse f. Abfallwirtschaft u. Umweltschutz (www.entsorga.com)
07./10.11.	Paris	MIDEST 2006 - 36.Int. Fachmesse f. Zulieferer (www.midest.com)
08./10.11.	Dresden	TransferX – Faszination Technologie (www.messe-ifm.de)
09./10.11.	Bad Salzflun (D)	Forum Maschinenbau – Zuliefermesse f.d. Maschinenbau (www.forum-maschinenbau.com)
09./12.11.	Istanbul	Ankiros 2006 (www.ankiros.com)
10./11.11.	Frankfurt/M	Material Vision – Fachmesse u. Konferenz (www.material-vision.messefrankfurt.com)
12./14.11.	Sharm El-Sheik	6 th Arab Foundry Symposium ARABCAST 2006 (egyptfoundry@hotmail.com)
13./14.11.	Dresden	3. Hochschul-Kupfersymposium (www.kupferinstitut.de)
14./15.11.	Brno (CZ)	Int. Conf. „Czech Foundry Days“
14./17.11.	Moakau	Metall-Expo (www.metall-expo.ru/de/main/)
14./18.11.	Basel (CH)	PRODEX mit SWISSTECH 2006 (www.prodex.ch , www.swisstech2006.com)
15./17.11.	Dortmund	MTQ – Materialprüfung, Messtechnik u. Qualitätsmanagement (www.mtg-messe.de)
29.11./02.12.	Frankfurt/M.	Euromold 2006 – Werkzeug- u. Formenbau (www.euromold.com)
30.11./03.12.	Istanbul	OTOMOTIV
12./14.12.	Frankfurt/M.	EUROFORUM-Konferenz „Die Automobilindustrie“ (vbh.handelsblatt.com/automobil)

2007

06./07.02.	Magdeburg	Gießtechnik im Motorenbau (www.vdi-wissensforum.de)
26./27.02.	Bochum	8. Tagung Gefüge und Bruch (www.wp.rub.de/GuB2007)
?/03.	Dubai	(UAE) ALUMEX – Middle East Aluminium Exhibition 2007
13./17.03.	Florenz (I)	6. Int. Kongreß „Aluminium 2000“ (www.aluminium2000.com)
14./16.03.	Leipzig	Z 2007 – Die Zuliefermesse (www.zuliefermesse.de)
14./16.03.	Bremen	16. Symp. Verbundwerkstoffe (www.dgm.de/verbund)

16./20.04.	Hannover	Hannover Messe Industrie
19./20.04.	Steyr	51. Österreichische Gießerei-Tagung
12./16.06.	Düsseldorf	GIFA (www.gifa.de) – METEC (www.metec.de) – THERMPROCESS (www.themprocess.de) – NEWCAST (www.newcast-online.de) und WFO TECHNICAL FORUM 2007
23./25.07.	Sheffield (UK)	5th Decennial Int. Conf. on Solidification Processing (www.shef.ac.uk/materials/sp07)
10./13.09.	Nürnberg	Euromat 2007 (www.euromat2007.fems.org)
12./14.09.	Portoroz	47. Slovenische Gießereitagung
09./11.10.	Stuttgart	parts2clean – Leitmesse f. industrielle Teilereinigung
18./20.10.	Modena (I)	Alumotive (Info: Roberta.bordiga@edimet.com)
23./26.10.	Stuttgart	LASYS Int. Fachmesse f. Systemlösungen i.d. Lasermaterialbearbeitung (www.lasys-messe.de) und „Stuttgarter Lasertage“ SLT
2008		
20./23.05.	Hamburg	Wind Energy International Trade Fair
Februar	Chennai (IN)	68. WFC World Foundry Congress
22./26.09.	Aachen	ICAA 11 – Int. Conference on Aluminium Alloys



Vereinsnachrichten



Neue Mitglieder

Persönliche Mitglieder

Kraly, Andreas, Dipl.-Ing., Leiter der Entwicklung der SAG Aluminium Lend GmbH & Co KG, A-5651 Lend 25
Privat: A- 5651 Lend 111/4

Pihura, Dervis, Dipl.-Ing., Präsident der Bosnia Foundrymen's Association und Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Metallurgical Institute „Kemal Kapetanovic“, Extractive Metallurgy – Melting and Casting Department, Univerzitet u Zenici, BIH-72000 Zenica, Travnicke I, POB 104.

Privat: BIH-72000 Zenica, Prvezenicke brigade 1A

Personalia

Wir gratulieren zum Geburtstag

Herrn Kommerzialrat **Karl Vejskal**, A-1140 Wien, Breitenseerstraße 86, zum **90. Geburtstag** am 17. Oktober 2006.



Der zweifache Ehrenpräsident – des Fachverbandes der Gießereiindustrie Österreichs und des Vereins für praktische Gießereiforschung – und Nestor des österreichischen Gießereiwesens feiert ein rundes Geburtstagsjubiläum.

Geboren in Wien, besuchte Karl Vejskal hier auch die Grund- und Bürgerschule und trat bereits 1930, kaum 14 Jahre alt, als Praktikant bis 1933 bei der Wiener Eisengießerei und Maschinenfabrik Trebitsch in der Breitenseerstraße ein. Parallel dazu besuchte er die kaufmännische Fortbildungsschule Hamerlingplatz, die er mit Auszeichnung abschloss. Dabei wurde ihm sogar wegen seiner Tüchtigkeit ein Ausbildungsjahr erlassen. In der Folge war Vejskal bis 1937 kaufmännischer Angestellter bei der Fa. Trebitsch und absolvierte in Abendkursen die 2-jährige Maschinenbauschule. In diesem Unternehmen stieg er bis zum Geschäftsführer auf.

1940 wurde er Gesellschafter der damaligen Eisengießerei Karl Krejci in der Breitenseerstraße 86.

1943 erfolgte seine Einberufung zu den Flugmotorenwerken Wr. Neudorf. Nach Änderung der Gesellschaftsform und Austritt der Mitgesellschafter wurde er 1949 Alleininhaber des Unternehmens, das nun unter dem neuen Firmennamen „Eisengießereien Karl Vejskal“ von ihm bis 1977 geführt und später verpachtet wurde.

Als einer der wenigen damaligen Industriellen besaß und führte Karl Vejskal von 1950 bis 1956, trotz der Demarkationslinie an der Enns, auch das Eisenwerk Friedrich & Sohn in Oberndorf bei Salzburg.

Karl Vejskal ist ein Paradebeispiel eines Selfmademan's – vom Lehrling bis zum Unternehmer – der die Wirnisse der Kriegs- und Nachkriegszeit in bewundernswerter Weise meisterte, eine Unternehmerpersönlichkeit „par excellence“!

Die Leistungen des Jubilars erstrecken sich wesentlich auch auf sein Wirken im Bereich der BWK – heute WKÖ Wirtschaftskammer Österreich – und auf den Bereich des öffentli-

chen Lebens in rd. 25 Funktionen, von denen nur einige angesprochen seien:

Bereits 1950 war Vejskal Mitglied des Oberberichtsgerichtes Wien, der Rückstellungskommission beim Zivillandesgericht, Laienrichter beim Handelsgericht Wien und stellv. Vorsitzender der Schweißtechnischen Zentralanstalt.

Mit großem Nachdruck vertrat er die Interessen der österreichischen Gießereiindustrie:

1950 wurde er Mitglied des Fachverbandsausschusses, später Obmannstellvertreter und von 1975 bis 1988 Obmann des Fachverbandes der Gießereiindustrie. Er war Mitbegründer des Österreichischen Gießerei-Institutes ÖGI in Leoben und dessen langjähriger Vorstandsvorsitzender.

Er war Mitglied zahlreicher Arbeitsausschüsse und Kommissionen und hat die KMU's auch im Kuratorium des FFF Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft vertreten. Karl Vejskal war immer ein unermüdlicher Promotor des freien Unternehmertums und hat für seine anerkannten Verdienste zahlreiche Auszeichnungen erhalten und viele Ehrungen erfahren.

So war er Kammerrat der WK Wien, mit 34 Jahren der damals jüngste Kommerzialrat, Ehrenmitglied der Schweißtechnischen Zentralanstalt Wien, Ehrenpräsident des Vereins f. prakt. Gießereiforschung Leoben, Ehrenpräsident des Fachverbandes der Gießereiindustrie, Träger der Silbernen und der Großen Medaille der Kammer Wien, des Silbernen Ehrenzeichens des Landes Wien, des Goldenen Ehrenzeichens des VÖG, des Goldenen Ehrenzeichens, des Großen Ehrenzeichens und des Großen Silbernen Ehrenzeichens der Republik als höchste Auszeichnungen des österreichischen Staates u.a.m.

Mit seinen 90 Jahren kann KR Karl Vejskal auf ein reiches Leben voller verdienstvoller Arbeit für seine Gießereiindustrie und für die Allgemeinheit zurückblicken.

Die österreichische Gießereifamilie wünscht KR Karl Vejskal viele weitere gesunde Jahre und dankt ihm mit einem herzlichen Glückauf!

Bücher und Medien



International Foundry Research – bisher GIessereiFORSCHUNG



Seit Anfang dieses Jahres erscheint die bisher in 57 Jahrgängen vom Verein Deutscher Gießereifachleute VDG, Düsseldorf, herausgegebene Fachzeitschrift GIESSE-REIFORSCHUNG unter dem Titel *International Foundry Research* als offi-

zielles wissenschaftliches Journal der World Foundrymen Organization (WFO) in Englischer Sprache.

Das Editorial-Board besteht aus den Professoren Andreas Bühlig-Polaczek (D), Keisaku Ogi (J), Wolfgang Schneider (D), Peter Schumacher (A), Josef Suchy (PL), Werner Tilch (D), sowie Eur.Ing. Andrew Turner (WFO-Gen. Sekr., UK) und Dr.-Ing. Gottfried Wolf (VDG-Hauptgeschf., D).

Herausgeber u. Verlag wie bisher: VDG Verein Deutscher Gießereifachleute u. Gießerei-Verlag GmbH, Düsseldorf. ISSN: 0046-5933.

Erscheinungsweise vierteljährlich, Jahres-Subskriptionspreis: € 227,-.

Bestelladresse: Giesserei-Verlag GmbH, Abo-Abtlg., Fr. Gabriele Wald, D – 40237 Düsseldorf, Sohnstraße 65, Tel.: +49 (0)211 6707 527, Fax: 582, E-Mail: gabriele.wald@stahleisen.de

Das neue Internet-Angebot für VDG-Mitgliedsunternehmen www.vdg-exklusiv.de

Unter <http://exklusiv.vdg.de> können nun alle VDG-Mitgliedsunternehmen spezielle Informationen kostenfrei herunterladen, wie beispielsweise:

- alle gültigen VDG-Merkblätter, geordnet nach Sachkategorien
- die aktuellen Ausgaben von VDG-Aktuell u. VDG-Patentinfo sowie
- aktuelle Ausgaben des monatlichen Informationsdienstes Gießerei-Literaturschau

Eine Linksammlung mit nationalen und internationalen Webadressen sowie eine Forschungsdatenbank mit Informationen zu

gießereirelevanten Forschungsprojekten, die von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AIF) gefördert werden, ergänzen das Angebot. Die Website wird mit zusätzlichen Inhalten und Funktionen kontinuierlich ausgebaut.

Der Zugriff auf dieses Informationsangebot ist exklusiv den VDG-Mitgliedsunternehmen vorbehalten.

Informationen erteilt das VDG-Informationszentrum: infozentrum@vdg.de bzw. direkt Herr Dieter Mewes, Tel.: +49 (0)211 6871 246.

Aluminium-Schlüssel – Key to Aluminium Alloys



W. Hesse, 7. Auflage 2006, 608 Seiten, brosch., Druckversion (ISBN 978-3-871017-282-7) bis 31.10.2006 235,00 EUR, später 276,00 EUR, CD-Version (ISBN 978-3-87017-283-5) bis 31.10.2006 345,00 EUR, später 389,00 EUR. Einzelplatzversion auf Anfrage.

Die Änderungen nationaler und internationaler Normen machten eine Neuauflage des bekannten „Aluminium-Schlüssel“ erforderlich. In diesem Zusammenhang sind der ursprüngliche „Aluminium-Schlüssel“ und die Aluminium-Werkstoff-Datenblätter

zu einer neuen Ausgabe des „Aluminium-Schlüssel“ zusammengefasst worden.

Dieses neue Konzept hat dazu geführt, dass der „Aluminium-Schlüssel“ komplett neu gestaltet wurde. Er orientiert sich dabei primär an der europäischen Normung der CEN-Mitglieder.

Die Gliederung berücksichtigt zunächst die Bezeichnungssysteme der Aluminiumlegierungen, deren Zustandsbezeichnungen und Erzeugnisformen. Des weiteren werden die europäischen Produktnormen tabellarisch erfasst. In Bezug darauf werden die mechanischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften zusammengestellt.

Im Kapitel Chemische Zusammensetzung sind die aktuellen und veralteten nationalen mit den europäisch und international erfassten Legierungen zusammengestellt. Das umfangreiche Verzeichnis dient zur schnellen Suche nach spezifischen Legierungen und Vergleichswerkstoffen.

Bestelladresse: Aluminium-Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, D-40223 Düsseldorf, Aachener Straße 172, Tel./Fax: +49 (0)211 1591 371, E-Mail: a.tappen@alu-verlag.de, www.alu-verlag.de

Nachhaltigkeitsbericht 2005 – Georg Fischer +GF+



Die Georg Fischer AG, Schaffhausen/CH, ergänzt ihren bisherigen Umweltbericht sowie den jährlichen Geschäftsbericht durch einen Nachhaltigkeitsbericht. Darin bringt der Konzern seine Verantwortung für Umwelt, Mit-

arbeitende und Gesellschaft zum Ausdruck. Der um soziale Aspekte erweiterte und in neuer Form publizierte Report entspricht dem zunehmenden Bedürfnis nach Transparenz bezüglich Nachhaltigkeit. Der Bericht wird in Deutsch und Englisch auf der Homepage des Unternehmens präsentiert und auf Wunsch auch in gedruckter Form abgegeben.

Nachhaltigkeit in der gesamten wirtschaftlichen Tätigkeit hat im Georg Fischer Konzern eine weit zurückreichende und gefestigte Tradition. Georg Fischer gehört zu jenen Unternehmen, die bereits 1992 die ICC Charter (International Chamber of Commerce) unterzeichneten und sich damit auch offiziell der Nachhaltigkeit verpflichtet haben. Das Umweltleitbild des Konzerns ist seit über 10 Jahren in Kraft, und seit dem Jahr 2000 wird jährlich über die Umweltleistung des Unternehmens berichtet. Mit der Ausdehnung der systematischen und konzernweiten Datenerhebung auf soziale Kennzahlen veröffentlicht Georg Fischer für das Berichtsjahr 2005 erstmals einen separaten Nachhaltigkeitsbericht in Form einer übersichtlichen Zusammenfassung. Zudem beabsichtigt Georg Fischer, die durch das neue Nachhaltigkeitsmanagement-System ermittelten Kennzahlen künftig jährlich im Internet und alle zwei Jahre in gedruckter Form zu veröffentlichen.

Quelle: www.georgfischer.com

Bleiben Sie am Ball mit einem Abonnement der Giesserei-Rundschau



:: Computertomographie für die Zerstörungsfreie Bauteiluntersuchung

Neu am ÖGI

Die Systeme

v|tome|x c

- 240 kV Microfocus-Röntgenröhre
- Brennfleck 4 bis 200 μm
- Detailerkennbarkeit > 20 μm
- Flächendetektor

x|argos|compact

- 320kV Röntgenröhre
- Brennfleck 1,9 mm
- Detailerkennbarkeit > 100 μm
- Zeilendetektor



Die Leistungen

- Untersuchungen nach EN 444
- Erstellung von Untersuchungsberichten
- Zertifizierte Prüfer nach EN 473 Level 1 + 2
- Qualitätsbeurteilungen
- Erstbemusterungen (FAI)
- Vergleich der Daten von Simulation zur CT
- Kooperation mit internat. NDT - Vereinigungen

**3D-Tomographie
2D-Durchstrahlungsprüfung
3D-Modelle
Reverse Engineering**



Die Probengröße

- Auflösung bis in den Bereich weniger μm
- Probengewicht bis zu 50 kg
- Probendurchmesser bis zu 335 mm
- Probenhöhe bis zu 550 mm

Die Ansprechpersonen

- Herr DI Pabel Thomas [DW 24]
- Herr DI Geier Georg [DW 48]
- Herr Habe Daniel [DW 33]

**Österreichisches Gießerei-Institut
Austrian Foundry Research Institute**
Parkstraße 21, A- 8700 Leoben

Tel.: +43 3842 431010
Fax: +43 3842 431011
www.ogi.at office.ogi@unileoben.ac.at



kompetent | flexibel | schnell

Kompetenz in Guss

Buderus
TIROLER RÖHREN

Buderus
GUSS KOMPONENTEN



Tiroler Röhren- und Metallwerke AG

Innsbruckerstraße 51
A-6060 Hall in Tirol
Tel.: +43-5223-503-0
Fax: +43-5223-43 6 19
E-Mail: office@trm.at
www.trm.at

Guss Komponenten GmbH

Innsbruckerstraße 51
A-6060 Hall in Tirol
Tel.: +43-5223-503-0
Fax: +43-5223-43 6 18
E-Mail: office@gk-tirol.at
www.guss.buderus.de