

Götz Hartmann, Christoph Herrmann, Tim Heinemann,
Frank Hoffmann, Ueli Jordi, Ansgar Pithan und Helge Pries

2.1 Die Aluminiumdruckgussbranche im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und Energie- und Rohstoffkosten

Frank Hoffmann, Ueli Jordi

Der Druckgussprozess ist von einer hohen Dynamik gekennzeichnet wenn es um schnelle Produktverfügbarkeit und Kostenvorteile beim Herstellen von Gussbauteilen geht. In diesem Abschnitt sollen die Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit näher betrachtet werden.

G. Hartmann (✉)
52072 Aachen, Deutschland
E-Mail: G.Hartmann@magma-soft.de

C. Herrmann
38106 Braunschweig, Deutschland
E-Mail: c.herrmann@tu-braunschweig.de

T. Heinemann
38106 Braunschweig, Deutschland
E-Mail: t.heinemann@tu-braunschweig.de

F. Hoffmann
68519 Viernheim, Deutschland
E-Mail: frank.hoffmann@buhlergroup.com

U. Jordi
9240 Uzwil, Schweiz
E-Mail: ueli.jordi@buhlergroup.com

A. Pithan
59872 Meschede, Deutschland
E-Mail: Ansgar.Pithan@martinrea-honsel.com

Tab. 2.1 Einsatz von Energieträgern zur Stromerzeugung in Deutschland

	2005	2011
Steinkohle	21,1 %	19,0 %
Braunkohle	26,5 %	27,2 %
Biomasse und erneuerbare Abfälle	1,4 %	2,4 %
Nichtererneuerbare Abfälle, Abwärme u.a.	1,2 %	1,8 %
Heizöl	1,8 %	1,1 %
Gase (Erdgas und andere)	10,7 %	12,2 %
Wasser, Wind; PV-Anlagen	5 %	13,7 %
Kernenergie	32,3 %	22,6 %

2.1.1 Wirtschaftlichkeit heute und in Zukunft?

Sinkende Margen, höhere Kundenanforderungen zwingen den Druckgießer immer wieder zur Optimierung seiner Produktion. Dazu kommen steigende Rohstoff- und Energiepreise. Die globalen Einflüsse sind ebenfalls von großer Bedeutung. Vergleiche des Energieverbrauchs mit anderen Gießereien sollen den Blick schärfen für die Verbesserungspotenziale im Prozess.

2.1.2 Energie und Rohstoffe

Für eine Gießerei sind im Wesentlichen zwei Energieformen wichtig. Zum einen die elektrische Energie und heute vorherrschend das Erdgas. Man bezeichnet diese auch aus der Sicht des Endkunden als Endenergie. Mit welchen Szenarien muss man bei den Energieträgern in der Zukunft rechnen?

1. Wie ist die Verfügbarkeit der wichtigen Energieträger?
2. Welche Versorgungssicherheit gibt es heute und in der Zukunft?
3. Wie ist die Preisentwicklung?

Betrachten wir als erstes die Stromproduktion in der Bundesrepublik. Mit Stand 2011 wird Strom wie folgt produziert (vgl. Tab. 2.1, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. 2012):

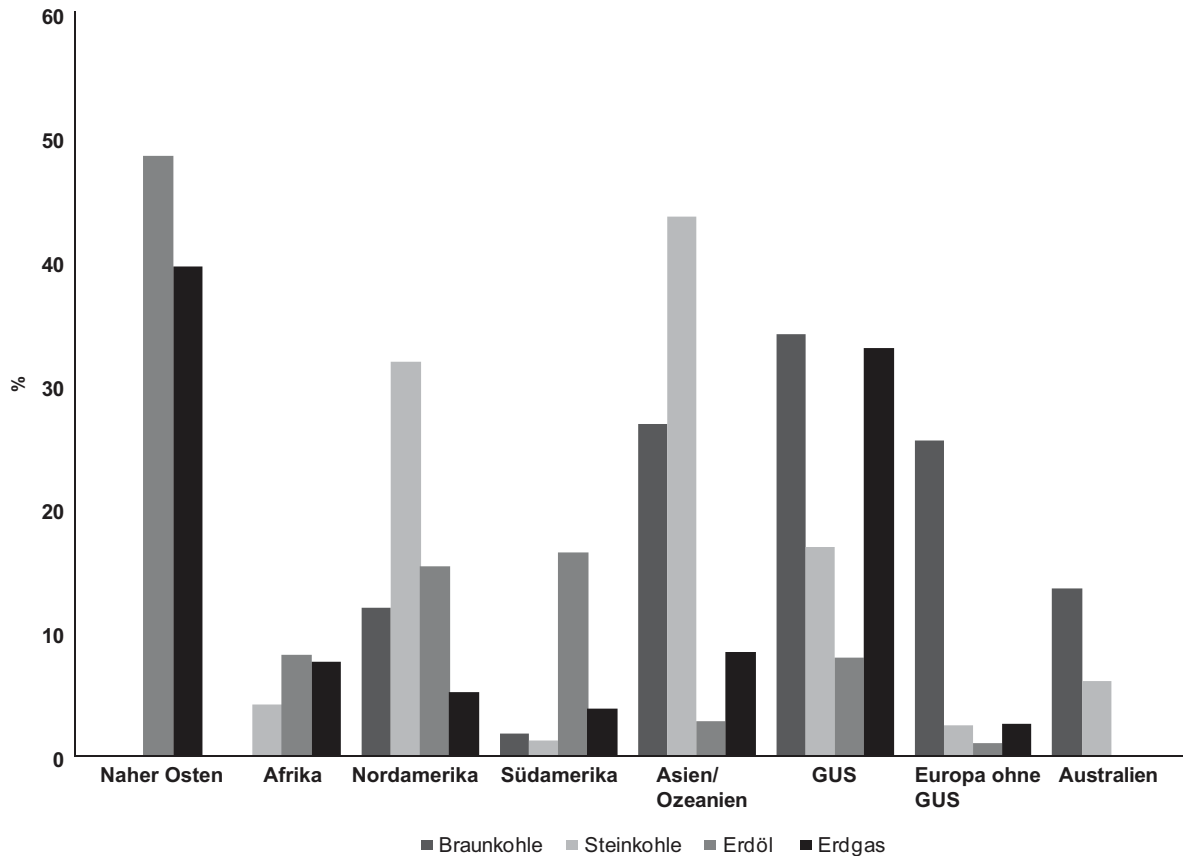


Abb. 2.1 Regionale Verteilung der Reserven konventioneller Energieträger; Angaben in Prozent

Als Hauptenergieträger für den konventionellen Bereich werden Stein- und Braunkohle sowie Erdgas und Uran verwendet. Einen Blick auf die Lieferländer (vgl. Abb. 2.1) und den Importanteil (vgl. Abb. 2.2) zeigen die nächsten Abbildungen.

Die Abbildungen verdeutlichen, dass die Vorkommen an Energieträgern zu einem großen Teil in politischen Spannungsgebieten liegen. Dazu kommen noch Naturkatastrophen wie z. B. Erdbeben, die die Versorgungssicherheit beeinflussen können. Zudem ist das Ende der billigen konventionellen Abbaumöglichkeiten absehbar.

Die steigende Nachfrage aus den aufstrebenden Ländern China und Indien führt zu einer weiteren Verknappung von Rohstoffen und einem Preisanstieg. Spekulationen an den Rohstoffbörsen dynamisieren die Entwicklung zusätzlich.

Wenn wir die politischen Anforderungen betrachten, so stehen die Reduzierung des CO₂ Ausstoßes und die daraus abgeleiteten Klimaziele der EU deutlich heraus. Es greifen die gesetzlichen Entscheidungen des Ausstiegs aus der Kernenergie und der massive Ausbau der erneuerbaren Energien wie Wind, Solarenergie und Biomasse in Deutschland. Das belastet schon heute den Strompreis und eine weitere Steigerung der Abgaben ist in Sichtweite.

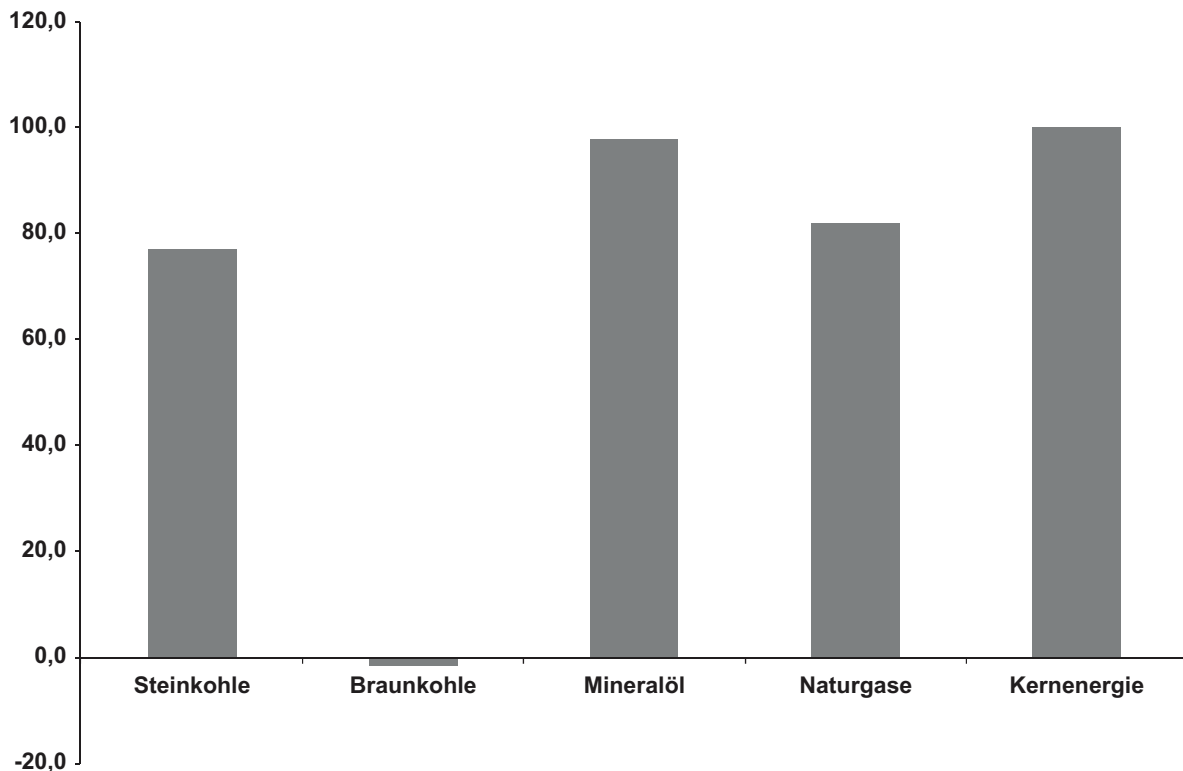


Abb. 2.2 Importanteil an konventionellen Energieträgern; Angaben in Prozent

Für Erdgas als zweite Endenergieform für die Druckgießerei haben wir noch eine entspannte Liefer- und Versorgungssituation (vgl. Abb. 2.3).

2.1.3 Rohstoffe

Zu den Rohstoffen zählt Aluminium als Legierung mit Legierungszusätzen. Als Hauptlegierungszusätze sind Silizium, Kupfer, Mangan und Magnesium zu nennen.

Aluminium wird aus Tonerde im Elektrolyseverfahren gewonnen und steht dann als Primäraluminium zur Verfügung. Für die Produktion einer Tonne werden ca. 14.000 kWh Energie in Form von elektrischem Strom benötigt.

Eine weitere Quelle ist das Recyclen von Aluminiumschrotten und das Nachlegieren mit den entsprechenden Legierungselementen. Hier werden 650 kWh Wärmeenergie für eine Tonne Metall benötigt. Diese Legierungen werden auch als Sekundärlegierungen bezeichnet.

Im Druckgießprozess werden heute ca. 80% der Gussteile mit Sekundärlegierungen hergestellt. Die Preise richten sich nach der Verfügbarkeit und werden an den Rohstoffbörsen verhandelt. Preisschwankungen können durch langfristige Lieferverträge abgeschwächt werden.

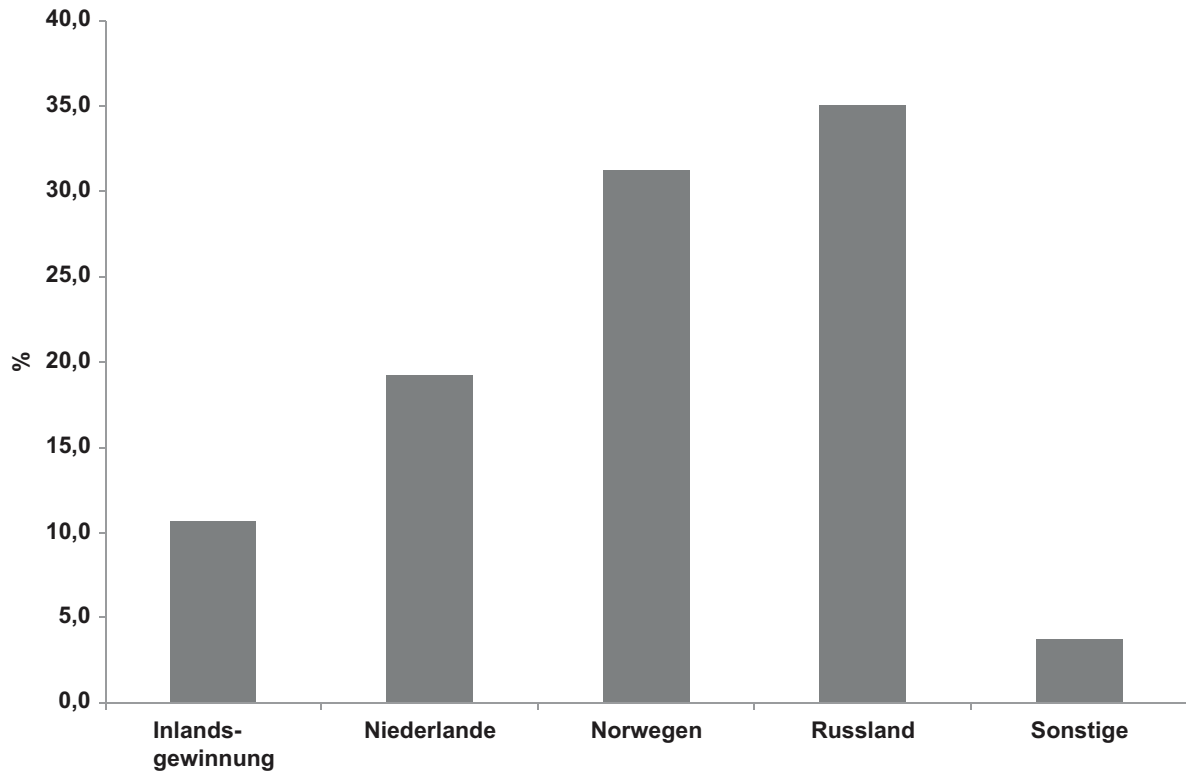


Abb. 2.3 Erdgasaufkommen 2010; Angaben in Prozent

2.1.4 Energieverbrauch in der Gießerei

In der Gießerei werden die beiden Energieformen Elektroenergie und Erdgas unterschiedlich im Prozess eingesetzt. Elektroenergie kommt hauptsächlich für folgende Anwendungen zum Einsatz:

- Haustechnik wie Lüftung, Beleuchtung, Klima, Druckluft
- Bürobereich für PC und Infrastruktur
- Gießzelle zum Betreiben von Antriebsmotoren
- Beheizen von Tiegelöfen oder Dosieröfen
- Betreiben der Temperiergeräte

Erdgas wird eingesetzt bei

- Schmelzprozessen von Aluminium
- Heizung der Produktionshallen und Bürogebäude

Auf Grund der unterschiedlichen Infrastruktur ergeben sich auch unterschiedliche Verbräuche.

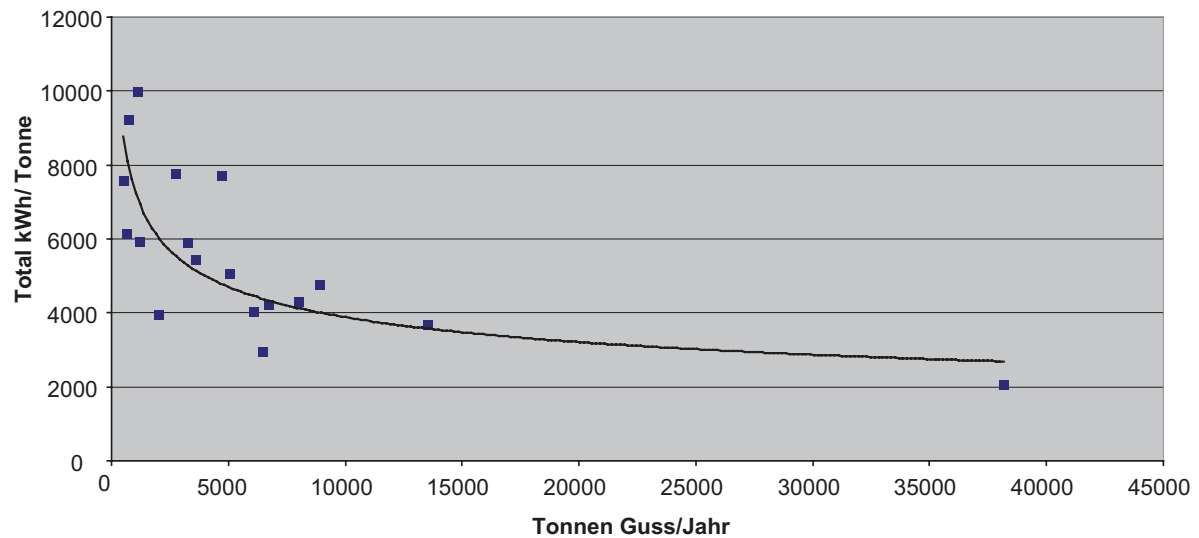


Abb. 2.4 Gesamtenergieverbrauch von 19 Gießereien

Tab. 2.2 Energieverbrauch Erdgas und Elektrizität in der Gießerei

Energieform	Einheit	Minimaler Verbrauch	Maximaler Verbrauch	Mittelwert
Gas	kWh/t	1050	7390	3000
Elektrizität	kWh/t	790	4412	2603
Total	kWh/t			5427

Tab. 2.3 Energieverbrauch und Preise

Energieform	Mittelwert	Anteil	Kosten	Anteil
	kWh	Prozent	€	Prozent
Erdgas	3000	54	111	32
Elektrizität	2603	46	234	68

In einer Befragung von 19 Gießereien wurden die produzierte Menge an Gussteilen und der dazu notwendige Energieeinsatz von elektrischer Energie und Erdgas aufgenommen (Jordi 2010, vgl. Abb. 2.4).

Die Auswertung der Verbräuche zeigte starke Streuungen (vgl. Tab. 2.2), die sicher im Einzelfall hinterfragt werden müssen. Wie bereits geschildert ist die vorhandene Infrastruktur zu bewerten. Die Kenntnis über den Verbrauch stellt die Frage nach den Kosten. In Tab. 2.3 sieht man die Kosten auf Preisbasis 2010 0,037 €/kWh Gas, 0,09 €/kWh elektrischer Strom.

Die Kosten für Gas und Elektrizität verhalten sich etwa 1:2,5 je kWh. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen ist also zuerst über eine Senkung der Elektroverbräuche nachzudenken.

Tab. 2.4 Einsparpotenziale

Prozessschritt	Einsparpotenziale (%)
Schmelzen	5–25
Gießzelle	5–15
Gebäude	2–25
Nebenprozess (Bearbeitung)	5–25

2.1.5 Ausblick

Erst mit dem Wissen über die Verbräuche in einer Gießerei kann eine Optimierung durchgeführt werden. In Workshops wurden den Mitarbeitern in der Gießerei Handlungsempfehlungen für den sparsamen Einsatz von Energieträgern gegeben. So kann beispielsweise ein Schmelzer die Fahrweise seines Ofens beeinflussen oder ein Gießer an der Maschine die Antriebe gezielt während der Pausenzeit ausschalten. In der Auswertung der Potenziale ergeben sich bedeutende Einsparmöglichkeiten (vgl. Tab. 2.4).

Grundsätzlich gilt, dass durch steigende Energiepreise nicht effiziente Betriebe aus dem Markt gedrängt werden. Die folgenden Kapitel sollen einen Leitfaden für die zukünftige Effizienzsteigerung darstellen.

2.2 Historie und Herausforderungen der Aluminiumdruckguss-Technologie

Ansgar Pithan

Unter den klassischen Gießverfahren für die Herstellung von Gussteilen aus Leichtmetall ist das Druckgießen eine relativ junge Technologie, die sich vor allem mit dem weltweiten Wachstum der Automobilindustrie rasant weiterentwickelt hat und heute in der Großserienfertigung nicht mehr wegzudenken ist. Es unterscheidet sich durch verschiedene Merkmale vom Kokillen- und Sandguss. Vor allem zeichnet sich das Druckgießen aber durch einen hohen Automatisierungsgrad aus, wobei auch die nachgeschaltete Teil- oder Fertigbearbeitung in unmittelbar verkettete Anlagen in einer Produktionslinie integriert werden kann. Dadurch wird eine hohe Produktivität erzielt, die letztendlich für die Großserienfertigung von Komponenten für den Automobilbau notwendig ist.

In Abb. 2.5 ist die aktuelle Entwicklung der verschiedenen Gießverfahren für Aluminiumlegierungen gegenübergestellt.

Neben der Wirtschaftlichkeit dieses Gießverfahrens hinsichtlich der Automatisierung gibt es weitere technologische Vorteile wie die hohe Maßgenauigkeit der Gussteile, das Gießen dünner Wandstärken, kurze Zykluszeiten und geringer Bearbeitungsaufwand, die das Verfahren für die Serienfertigung äußerst attraktiv machen.

Demgegenüber stehen hohe Investitionskosten für Formen und Maschinen, eingeschränkte geometrische Gestaltungsmöglichkeiten der Gussteile und verfahrensbedingte Kompromisse hinsichtlich der Ausschöpfung des vollen Werkstoffpotenzials. Ursächlich

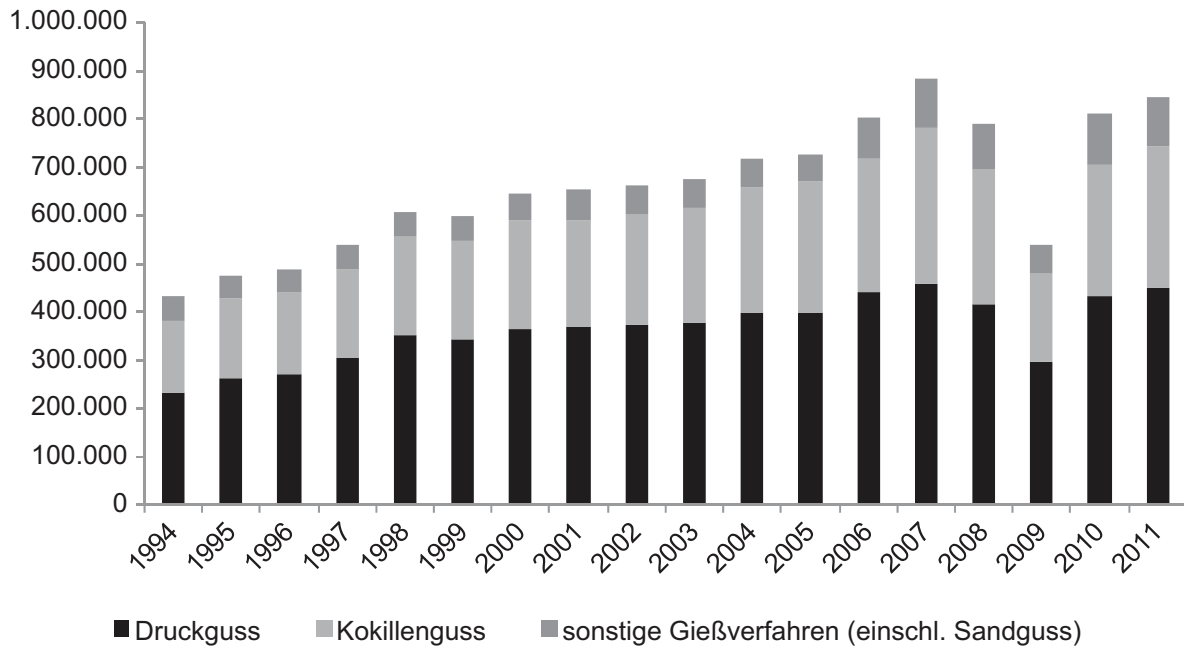


Abb. 2.5 Produktion von Aluminiumformguss in Deutschland (www.aluinfo.de 2012)

hierfür sind vor allem höhere Porositätsanteile, die die Festigkeits- und Bruchdehnungswerte reduzieren und Wärmebehandlungen nur eingeschränkt ermöglichen.

Eines der Hauptziele der Forschungsarbeiten ist deshalb seit jeher die Verbesserung der Gefügequalität von Druckgussbauteilen mit dem Ziel, unter Nutzung der hohen Wirtschaftlichkeit des Verfahrens die höheren statischen und dynamischen Festigkeitseigenschaften anderer Gießverfahren zu erreichen oder sogar zu übertreffen. Aufgrund der hohen Erstarrungsgeschwindigkeit ist die Gefügeausbildung sehr fein, eher negativ ist der gegenüber anderen Gießverfahren in der Regel höhere Porositätsgrad zu bewerten.

Hauptgründe für die Entstehung von Porositäten beim Druckgießverfahren sind speisungsbedingte Porositäten, die Wasserstoffporosität, Reste aus Schmier- und Trennmitteln und eingeschlossene Luft. Die Bewertung und Vermessung verschiedener Porositätsarten kann z. B. Merkblättern entnommen werden (BDG 2010).

Auf einige dieser Porositätserscheinungen soll im Folgenden näher eingegangen werden, da in Untersuchungen des Forschungsvorhabens ProGress ein Verbesserungspotenzial, z. B. durch den Einsatz geänderter Gießereihilfsmittel und die Optimierung von Prozessen, aufgezeigt werden konnte.

2.2.1 Wasserstoffporosität

Die hohe Löslichkeit von Wasserstoff in der flüssigen Aluminiumschmelze stellt generell bei allen Gießverfahren ein Risiko zur Bildung von Blasen dar, wenn nicht durch eine geeignete Schmelzebehandlung, z. B. mit Hilfe inerte oder reaktiver Gase entgegengewirkt wird. Durch eine Gasbehandlung werden nicht nur der Wasserstoffgehalt, sondern auch unerwünschte Oxide aus der Schmelze entfernt. Da die Wasserstofflöslichkeit temperatur-

abhängig ist, kann auch durch eine temperaturgesteuerte Schmelzeführung ein niedrigeres Niveau eingestellt werden.

Im Verlauf des Gießprozesses vom Einfüllen in die Gießkammer bis zum Einschließen in die Form erfolgt ein intensiver Kontakt des flüssigen Metalls mit der Umgebungsluft und wasserstoffhaltigen Ölen, Fetten und Trennstoffen, die eine Wasserstoffaufnahme bewirken können. Trotzdem ist die Gefahr einer Wasserstoffporosität eher als gering einzuschätzen, da aufgrund der hohen Erstarrungsgeschwindigkeiten der Wasserstoff weitgehend in Zwangslösung verbleibt. Bei einer nachgeschalteten Wärmebehandlung kann dieser jedoch diffundieren und zu Porositäten oder Blistern im Gusstück führen.

2.2.2 Porositäten durch Trenn- und Schmierstoffe

In modernen Gießereien sind Sprühvorgänge automatisiert und werden durch Roboter und Maskensprühgeräte durchgeführt. Durch die Weiterentwicklung von Trennstoffen und Auftragstechniken sind heute auf das jeweilige Gussteil abgestimmte, individuelle Sprühprozesse möglich, die durch die Einstellung fest vorgewählter Drücke, Sprühmengen und Sprühbilder die gezielte Kühlung ausgewählter Formpartien und damit reproduzierbare Gießvorgänge ermöglichen.

Trotzdem stellen Kolbenschmierstoffe und Trennstoffe im Gießprozess einen Unsicherheitsfaktor dar, da sie zum Teil im Überschuss vorhanden unkontrolliert Gießkammern und Formen benetzen. Als Rückstände können sie im Gefüge zu Qualitätseinbußen des Bauteils führen.

Zur Vermeidung von Gefügefehlern durch Rückstände aus Kolbenschmierstoffen wurden die früher üblicherweise eingesetzten Kolbenschmieröle durch modernere, granulatförmige Produkte ersetzt. Die granulatförmigen Kolbenschmierstoffe gibt es als grafitierte und grafitfreie Varianten, die je nach Schmieranforderung der Kolben-/Gießkammergarnitur zum Einsatz kommen.

Sehr unterschiedlich stellen sich bis heute im Spannungsfeld zwischen Qualität und Produktivität die Arbeitsweisen beim Formsprühen dar. Vielfach werden zur raschen Formkühlung und damit kurzen Zykluszeiten hohe Sprühmittelmengen auf die Form aufgebracht. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass sowohl die Formenstandzeiten als auch die Gussteilqualitäten durch Minimierung der Sprühmittelmengen deutlich verbessert werden können. Dazu ist es notwendig, die Wirksamkeit der inneren Formkühlungen zu erhöhen. Hier bestehen bereits gute Ansätze (Müller et al. 2012) (Tomazic 2012), die belegen, dass der klassische Trennstoffauftrag beispielsweise durch ein sogenanntes Mikrosprühen mit Öl oder wasserbasierten Konzentraten substituiert und die Gefahr von Restfeuchten in der Form, z. B. in Formtaschen verringert werden.

2.2.3 Eingeschlossene Luft

Die Gießweise des Druckgießprozesses birgt aufgrund der hohen Turbulenz die Gefahr von Lufteinschlüssen im erstarrten Gussteil. Konkrete Ursachen können z. B. in folgenden

Variablen begründet sein: zu großes Kolbenspiel, ungeeigneter Füllgrad der Gießkammer, ungeeignete Einstellung der Gießparameter oder schlechte Formentlüftung. Zur Minimierung der Lufteinschlüsse wird – soweit möglich – der Gießdruck erhöht, um so die eingeschlossene Luft auf ein Minimum zusammenzudrücken. Diese Möglichkeit ist allerdings aufgrund der Bauteilgeometrie und der Maschinengröße sehr begrenzt.

Eine Vielzahl von Verfahren und Methoden wurden entwickelt, um Lufteinschlüssen wirksam zu begegnen. Dazu gehören z. B. das lokale Squeezen, das Poral-Verfahren, das Acurad-Verfahren und vor allem aber verschiedene Verfahren zur Evakuierung oder Teil-evakuierung der Füllkammer und des Formhohlraums (Ambos und Besser 2012).

Durch den Einsatz der Vakuumtechnologie konnte ein ganz neues Spektrum von Gussteilen aus Aluminium erschlossen werden, worunter insbesondere auch Sicherheitsbauteile mit hohen Crashfestigkeiten zu zählen sind, die z. B. im Karosseriebau in zunehmendem Maße Verwendung finden. Diese Bauteile besitzen hohe Festigkeits- und Bruchdehnungswerte.

Aufgrund der geringen Porosität können diese Gusstücke wärmebehandelt und verschweißt werden. Vielfach handelt es sich um sehr große, flächige Teile, die aufgrund der hohen Sprengfläche Maschinengrößen mit Schließkräften bis 45.000 kN erfordern.

2.2.4 Legierungen

Standardlegierungen für den Einsatz in einer Druckgießerei sind zum weitaus größten Anteil Recyclinglegierungen mit relativ großen Toleranzen bzgl. der Legierungs- und Begleitelemente. Darunter ist die Legierung EN AC-Al Si9Cu3(Fe) am meisten verbreitet. Mit den verfahrenstechnischen Fortschritten vor allem der Vakuumtechnologie und der damit erzielten Verringerung des Porositätsgrades von Druckgussbauteilen war es möglich, auch der Legierungsentwicklung wieder neue Impulse zu geben. Durch eine individuelle Einstellung von Magnesiumgehalten und Wärmebehandlungsparametern konnten gezielt Festigkeits- und Bruchdehnungswerte erreicht werden, wenn der bislang für Druckgusslegierungen typische hohe Gehalt an Eisen gleichzeitig niedrig gehalten wird. Da aber Eisen die Klebneigung des Aluminiums in der Stahlform reduziert, musste ein Substitutionselement mit gleicher Wirkung gefunden werden. Aus diesem Grunde wird in den meisten Fällen den hochduktilen AlSiMg-Legierungen Mangan als Legierungselement beigegeben. Eine weitere Legierungsvariante ist die Legierung vom Typ AlMgSiMn, die aber aufgrund der schwierigeren Gießbarkeit seltener verwendet wird. Typische Anforderungen an Bruchdehnungswerte für Strukturussteile liegen heute bei 8–15 %. Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich vor allem mit der weiteren Optimierung der Wärmebehandlung mit dem Ziel, Verzug und Eigenspannungen der Gussteile zu reduzieren, aber auch den Energieeinsatz durch individuelle Anpassungen zu verringern.