

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 75 (2003)

Artikel: Von der Aluminium-Militärfeldflasche zum crashsicheren Strukturbauteil im Automobil
Autor: Winkler, Reinhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378374>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

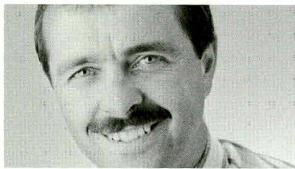
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Von der Aluminium-Militärfeldflasche zum crashsicheren Strukturbauteil im Automobil

Aluminium-Touristen-Flaschen
sind äusserst leicht, gesundheitsunschädlich und im
Gebrauch unverwüstlich.

Aluminium-Feldflaschen
sind eingeführt bei der deutschen
Armee und bei Armeen fremd-
ländischer Staaten.

5. 6. 7. 8. 9.

Auszug aus einem AIAG Prospekt 1896.

Reinhard Winkler, Neuhausen am Rheinfall

Dipl.-Ing., Projektleiter und Programm Manager bei Alcan Technology im Bereich Schmieden und Druckgiessen von Aluminiumwerkstoffen. Publikationen von Forschungsbeiträgen zu Aluminium-Gusswerkstoffen und Giessverfahren.

Neuhausen am Rheinfall ist die Geburtsstätte der europäischen Aluminiumherstellung. Im Jahre 1888 wurde an diesem Standort mit der industriellen Produktion von Reinaluminium mittels der Schmelzflussanalyse begonnen. Damit wurde der Grundstein für die Übernahme einer wichtigen Pionierrolle für Entwicklungen in der europäischen Aluminiumindustrie gelegt. Aluminium ist heute als Leichtbauwerkstoff fest etabliert und findet vielfach Verwendung als Guss- und Knetwerkstoff. Vor allem im Transportwesen ist eine kontinuierliche Zunahme beim Einsatz von Aluminiumguss zu beobachten, da hier die Zusammenfassung von Einzelbauteilen zu komplexen Baueinheiten enorme Vorteile durch Gewichtseinsparung ermöglicht.

Das Giessen ist eine der ältesten und bekanntesten Methoden der Metallverarbeitung, und dem Einsatz von Aluminiumguss sind kaum Grenzen gesetzt. Es sind die physikalischen Eigenschaften des Leichtmetallwerkstoffes, die besonders geringe Dichte und die niedrigen Erstarrungstemperaturen, welche schon frühzeitig eine Giesstechnik mit metallischen Dauerformen für die Serienfertigung ermöglichten. Die wachsende Nachfrage nach Aluminiumgussteilen war eng gekoppelt mit dem Aufstieg der Automobilindustrie in den frühen Jahren des letzten Jahrhunderts und ist bis heute ungebrochen. Grundvoraussetzung für diese Entwicklung war die wirtschaftliche Herstellung von Aluminium mittels der Schmelzflussanalyse 1886 durch den Franzosen Héroult und den Amerikaner Hall. Zwei Jahre später wurde in Neuhausen am Rheinfall mit der Fabrikation von Reinaluminium begonnen. Damit war die Idee zur Neuorientierung vom Eisen- zum Aluminiumwerkstoff geboren.

Im Anschluss an den geschichtlichen Rückblick auf den Werkstoff Aluminium wird der vorliegende Beitrag ausführlicher auf die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Druckgusstechnologie eingehen. Aluminiumdruckgussteile können heute für strukturelle Anwendungen im Karosseriebau und im Fahrwerksbereich wirtschaftlich mit ausgezeichneter Gussqualität produziert werden. Eine grosse Herausforderung in den vergangenen Jahren bedeutete die Realisierung der Audi A2 Vollaluminium-Karosserie mit mehr als 20, zum Teil sehr komplexen und dünnwandigen Druckgussteilen mit höchsten Qualitätsanforderungen.

Aluminium – geschichtliche Entwicklung

Neuhausen ist nicht nur die Geburtsstätte des ersten industriell gefertigten Aluminiums, sondern der Standort Neuhausen spielt auch für die Entwicklung der europäischen Aluminiumindustrie eine Pionierrolle. Ein historischer Rückblick soll dies belegen.¹

Aluminium: «Silber aus Lehm»

Im Jahre 1807 vermutete der Engländer Sir Humphrey Davy in Tonerde (englisch «alumina») ein an Sauerstoff gebundenes Metall, das er als deren Bestandteil später Aluminium nannte. Der deutsche Chemiker Friedrich Wöhler reduzierte 1845 wasserfreies Aluminiumchlorid mit reinem Kalium zu Aluminiumpulver. Auf diese Weise konnte er in grösserem Umfang Aluminium in Form von stecknadelkopfgrossen Kugeln herstellen. Den Grundstein für die industrielle Aluminiumgewinnung legte dann der französische Forscher Henry Sainte-Claire Deville 1852. Er verbesserte das Wöhlersche Verfahren, wobei es ihm gelang, Aluminium in einer Reinheit von 97% in Blöckchenform zu produzieren. Das im Vergleich zum Eisen dreimal leichtere, weisse Metall (zum Teil wird auch vom «Silber aus Lehm» gesprochen) wurde zum ersten Mal auf der Weltausstellung von 1855 der Öffentlichkeit vorgestellt. Verschiedene

Victoria-Aluminium-Essbestecke!
 Vortheilhaftester
 Ersatz für Britannia- (Zinnstahl) Bestecke
 und nur wenig theurer als solche.

Gesündestes Essbesteck, rostet nicht, setzt keinen Grünspan an, ist nahezu unempfindlich gegen organische Säuren, wird nie gelb, schmilzt nicht ab, ist ausserordentlich leicht, hart und fest, frei von Metallgeschmack, hat elegantes Aussehen.

Alleinige Bezugsquelle für Grossisten und Exporteure:
Verkaufsbureau, Berlin S.W., Oranienstr. 108
 der Aluminium-Industrie-Actien-Gesellschaft, Neuhausen (Schweiz).

Auszug aus einem AIAG Prospekt 1896.

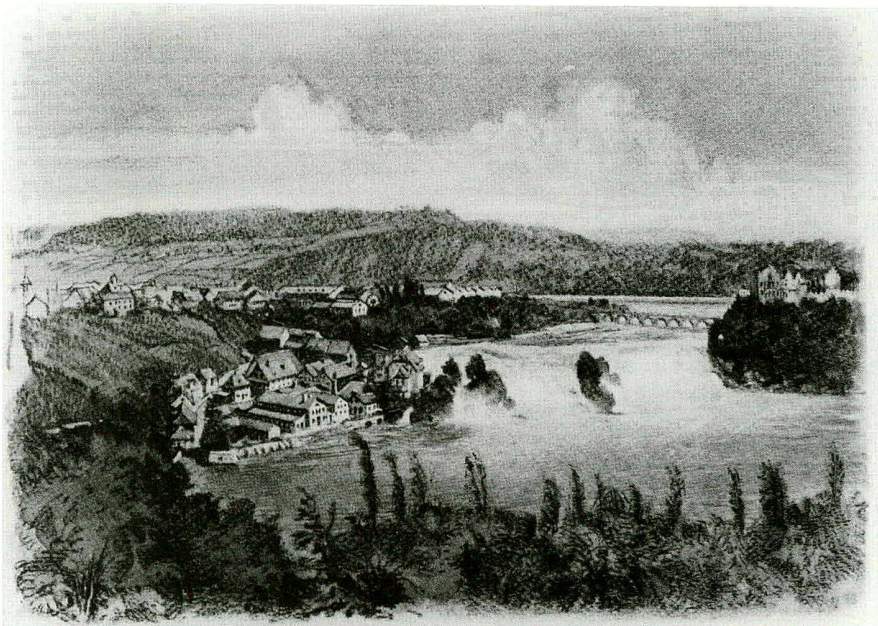


T. Héroult (1863–1914).

Fragen drängten sich auf: Wie ist dieses «Silber aus Lehm» einzusetzen? Kann man es wirtschaftlich nutzen, und eröffnet es neue Möglichkeiten? Napoleon III. fand einen ersten luxuriösen Verwendungszweck: die Helmverzierungen seiner Kürassiere.

Die Erfindungen von Héroult und Hall

Der Weg zur industriellen Produktion von Aluminium wurde im Jahre 1886 frei, als der Franzose Paul-Louis Toussaint Héroult und der Amerikaner Charles Martin Hall entdeckten, dass man Aluminium durch elektrolytische Zersetzung von Aluminiumoxid (Al_2O_3), welches in Kryolith (Na_3AlF_6) gelöst ist, gewinnen kann. Dies ist übrigens ein Produktionsprozess, nach dem noch heute sämtliche Aluminiumhütten in der Welt arbeiten. Damit verlor das Aluminium seinen bisherigen «Edelmetallcharakter», und es trat eine wesentliche Verbilligung des bis dahin fast unbezahlbaren Leichtmetalls ein. Am 23. April 1886 meldete Héroult sein grundlegendes Patent an. In Frankreich fand er keine Interessenten für die industrielle Verwendung, und so kam er in Kontakt mit den Schweizer Unterneh-



DIE ANLAGE DER AIAG AM RHEINFALL 1893

▶▶
 Titel der Firmenbroschüre
 von 1887.

▲
 Die Aluminiumhütte der AIAG
 am Rheinfall 1893.

▶
 Die Anlage der AIAG am
 Rheinfall 1931.



mern G. L. Naville und P. Huber-Werd-
 müller.

*Der Beginn der industriellen Aluminiumpro-
 duktion in Neuhausen am Rheinfall*
 Die Wasserkraft des Rheinfalls bei
 Schaffhausen/Neuhausen wurde bereits
 im Mittelalter genutzt. Eisenhütten und
 Verarbeitungswerke entstanden. So war
 das 1810 gegründete Eisenwerk J. G.
 Neher Söhne am Rheinfall schon lange
 Zeit bekannt und berühmt durch die
 Herstellung von Wassertrommelgebläsen
 und vor allem durch die Qualität seiner
 Erzeugnisse. Im Zuge der Erschliessung
 des Landes durch Eisenbahnen wurden
 jedoch immer mehr ausländische Konkur-
 renzprodukte eingeführt; hinzu kam die
 ungünstige Lage des Werkes was die
 Beschaffung der Rohmaterialien anlangt.
 Eine durchschlagende Idee war drin-
 gend erforderlich.

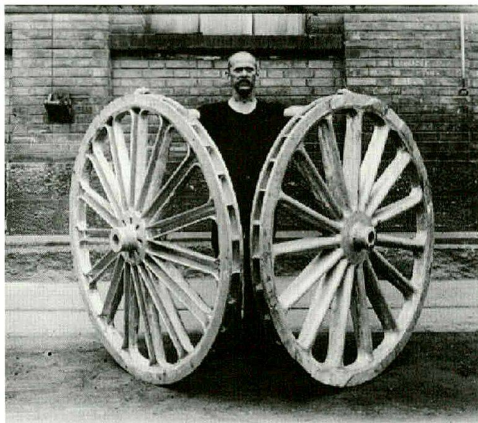
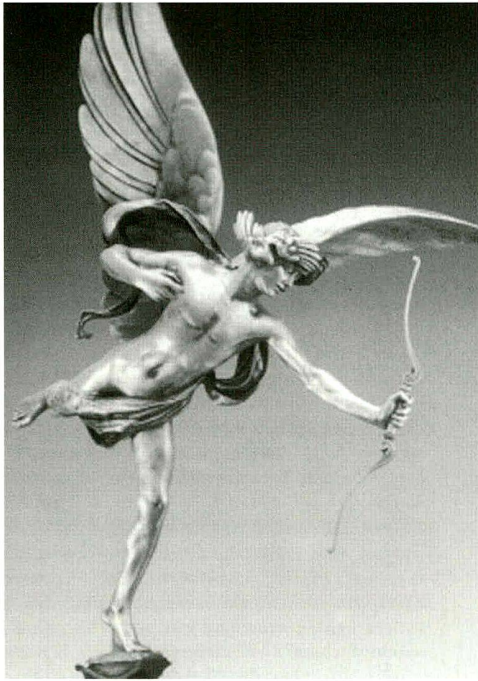
Gustav Naville, Leiter der Maschinen-
 und Turbinenfabrik Escher Wyss & Co
 in Zürich, machte Georg Neher auf das
 neue Patent von Héroult aufmerksam.
 Damals hatte noch kein Betrieb in Europa
 mit der Schmelzflusselektrolyse von Alu-
 minium gearbeitet. Auch der Unternehmer
 Peter Emil Huber-Werdmüller, Leiter der



Maschinenfabrik Oerlikon, erfuhr davon.
 Die vier Herren Naville, Neher, Héroult
 und Huber-Werdmüller gründeten am
 26. August 1887 die Schweizerische Me-
 tallurgische Gesellschaft. Bereits ein Jahr
 später, im Sommer 1888, war die Fabrik
 am Rheinfall in vollem Betrieb. Am 12.
 November 1888 wurde die Aluminium
 Industrie AG (AIAG) ins Leben gerufen.
 Dieser Tag gilt als Gründungsdatum
 der Alusuisse. Neuhausen wurde damit
 zur Wiege der europäischen Aluminium-
 industrie.

Aluminium – die ersten Anwendungen

Die ersten Anwendungen industriell her-
 gestellten Aluminiums waren Guss- und
 Walzerzeugnisse. Vorerst allerdings
 stand sein geringeres spezifisches Ge-
 wicht im Vordergrund, um Eisen und
 Kupfer durch Aluminiumzusatz «leichter»
 zu machen. Erst später setzte sich die
 Erkenntnis durch, dass Aluminium selbst
 ein bemerkenswerter Leichtbauwerkstoff
 ist, der sich besonders für den aufkom-
 menden Luftschiff- und Flugzeugbau,
 für Haushaltsgeschirr sowie auch Militär-



gamellen und Feldflaschen eignet. Die ersten interessanten Anwendungen bis zum Ende des 19. Jhs. sind nachfolgend aufgelistet:

- 1889 Fertigung von gegossenem Aluminium-Geschirr und Feldflaschen
- 1891/92 Erstmalige Anwendung von Aluminium für eine Jacht
- 1892 Luftschiffbau: Baubeginn des ersten Al-Luftschiffes
- 1893 Kunstguss: Eros-Statue am Piccadilly-Circus London
- 1894/95 Fahrrad: Rahmen aus Aluminium.

Entwicklung des Aluminiumgusses

Die ersten Gusslegierungen enthielten Kupfer (8%) bzw. Zink (10%) und Kupfer (2%). Um den Bedürfnissen der Flugzeugmotorenherstellung nachzukommen, wurden während des Ersten Weltkrieges die so genannten Kolbenlegierungen

entwickelt. Diese Legierungen enthielten Zusätze von Kupfer, Nickel, Eisen und Magnesium. Die wohl bedeutendste Gruppe von Gusslegierungen leitet sich vom System Aluminium-Silizium ab. Nach der Erfindung der «Veredelung» durch A. Pacz im Jahre 1921 erfuhr dieser Legierungstyp einen besonders grossen Auf-



schwung, zumal später zum Zwecke der Aushärtung Magnesium zulegiert wurde. Die Gusslegierungsfertigung erfolgte in der ersten Hälfte des 20. Jhs. noch hauptsächlich auf der Basis von Hüttenaluminium.

Bereits in den 1920er Jahren war das Giessen mit Aluminium sowohl in Europa als auch in Amerika fest etabliert. Etwa die Hälfte der damaligen Aluminiumproduktion wurde im Sandguss vergossen, wobei bereits über 90% für die Fahrzeugindustrie bestimmt waren. Kurz vor Beginn des Zweiten Weltkrieges kam es zur bahnbrechenden Erfindung von Dr. Walter Roth:² 1936 entwickelte er das Stranggiessen, damals noch Wassergiessen genannt. Mit diesem Formatgiessverfahren konnten nun Al-Bolzen und Al-Barren für die Weiterverarbeitung im Press- und Walzwerk wirtschaftlich hergestellt werden.

Beim Formguss blieb der Sandguss auch nach Ende des Zweiten Weltkrieges ein bedeutendes Giessverfahren für Aluminiumussteile. Die Einführung von chemischen Sandbindern erweiterte zudem den Anwendungsbereich der Gussteile. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden infolge des enormen Schrottbestandes

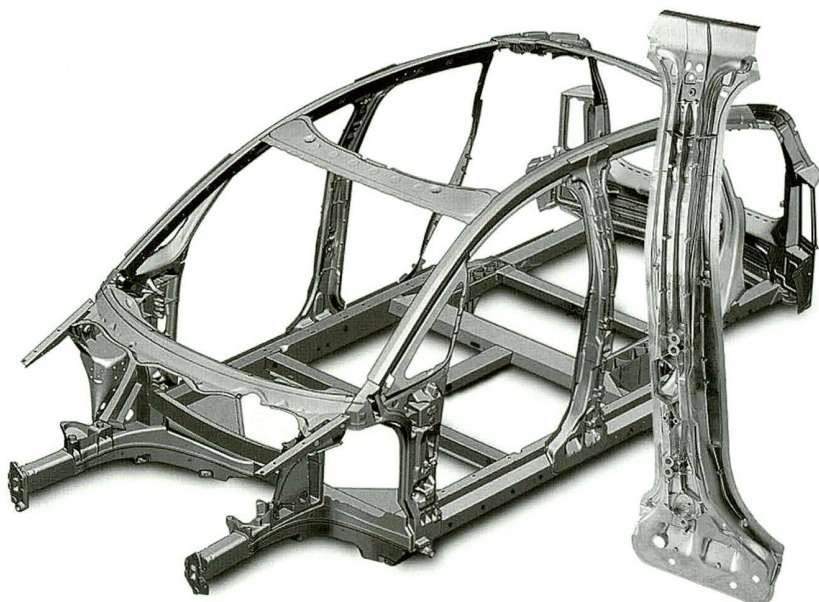
▲ «Mignon» Aluminiumschiff, gebaut von Escher Wyss & Co für Alfred Nobel 1892.

◀◀ Eros-Statue am Piccadilly-Circus London (Fertigstellung 1893) aus dem für damalige Zeiten sehr seltenen und neuartigen Material Aluminium.

◀ Kanonenräder aus der Legierung ALUFONT[®] von 1923, eine der ersten Anwendungen der Warmaushärtung im System Al-CuMg.

die Umschmelzlegierungen aus Aluminium, Silizium und Kupfer mit hohen Gehalten an Verunreinigungen bzw. Beimengungen, vor allem Zink und Eisen, produziert.

Die Kokillenguss- und Druckgussverfahren gewannen damals zunehmend an



Audi A2 Space Frame mit den High-Q-Cast®-Druckgussteilen von Alcan BDW in der Legierung Aural-2®.

Bedeutung. Der Sand- und Kokillenguss gehören zu den so genannten «Schwerkraftgussverfahren», da die Schmelze allein durch Schwerkraft unter statischem Druck in die Form fließt. Das flüssige Aluminium ist nicht in der Lage, dünne Formkonturen mit langen Fließwegen optimal auszufüllen. Prädestiniert ist hierfür das Druckgussverfahren, bei welchem die Schmelze mit grosser Geschwindigkeit und starkem Druck in eine metallische Dauerform hineingepresst bzw. regelrecht «hineingeschossen» wird.

Der Aluminium-Druckguss hat dabei in den letzten Jahrzehnten eine besonders rasante Entwicklung durchlaufen. Noch vor kurzem wurden Aluminiumdruckgussteile überwiegend allein in den Bereichen Motor und Getriebe eingesetzt. Die Druckgusstechnologie hat jedoch mittlerweile einen technischen Stand erreicht, der es ermöglicht, Aluminiumdruckgussteile für strukturelle Anwendungen im Karosseriebau und im Fahrwerksbereich wirtschaftlich mit höchster Gussqualität zu produzieren. Ein herausragendes

Beispiel ist das im Audi A2 realisierte und weiterentwickelte Audi Space Frame-Konzept. Der A2 ist weltweit das erste Grossserienauto mit Vollaluminium-Karosserie, wobei alle Aluminiumgussteile mit dem High-Q-Cast®-Druckgussverfahren hergestellt werden.

Aluminium-Druckgussbauteile im AUDI A2

Die Entwicklung der Druckgussbauteile für die AUDI A2 Space Frame Karosserie ist besonders aufschlussreich. Die Aluminium-Rohkarosserie des A2 wiegt 153 kg und ist aus 238 Teilen zusammengesetzt: 50 Strangpressprofile (21%), 20 Druckgussteile (8%) und 168 Blechteile (71%).

Am Beispiel des Türpfostens (B-Säule), der als Verbindungsglied zwischen Dachrahmen und Türschweller dient, wird der Trend zu dünnwandigen, grossflächigen Gussteilen mit komplexer Geometrie offensichtlich. Beim Audi A8 war die B-Säule noch aus sechs Aluminium-Teilen zusammengesetzt und hatte ein Gewicht von 4180 g, im A2 ist sie ein einziges, multifunktionales Gussteil aus Aluminiumdruckguss und wiegt lediglich 2300 g.

Die grossen Herausforderungen bei der Realisierung dieses Gussprojektes ergaben sich aus den Vorgaben seitens der Automobilindustrie an die strukturellen Druckgussteile:

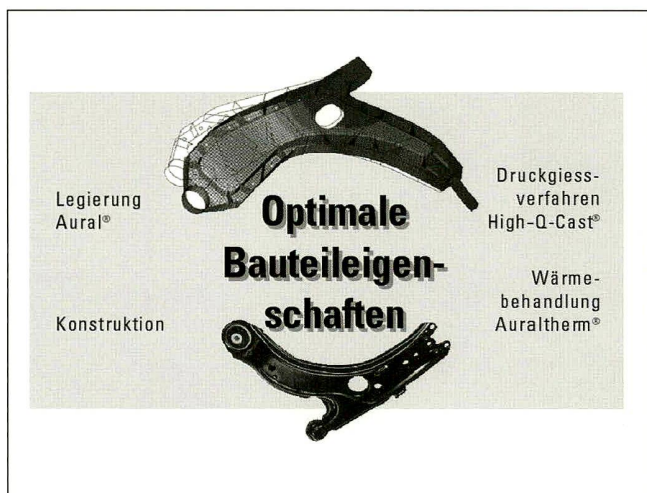
- Mechanische Eigenschaften
→ hohe Duktilität bei gutem Festigkeitsniveau
- Crashtauglichkeit
→ sehr hohe Energieabsorption im Crashfall
- Geringe Geometrietoleranzen
→ geringe Verzugtoleranzen, vor allem auch wegen der automatisierten Fertigung im Rohbau
- Schweissbarkeit
→ MIG- und Laser-Schweissen; selbststanzende Niete

Zur Erfüllung dieser besonderen Qualitätsanforderungen an die Gussteile mussten sämtliche Einflussgrößen analysiert und optimiert werden. Neue Lösungen und Innovationen waren gefragt in der optimalen Auslegung der Bauteilgeometrie und der Legierungsentwicklung sowie bei der Auslegung der Wärmebehandlung, und selbstverständlich musste das Druckgussverfahren weiter verbessert werden. Aus dieser Entwick-

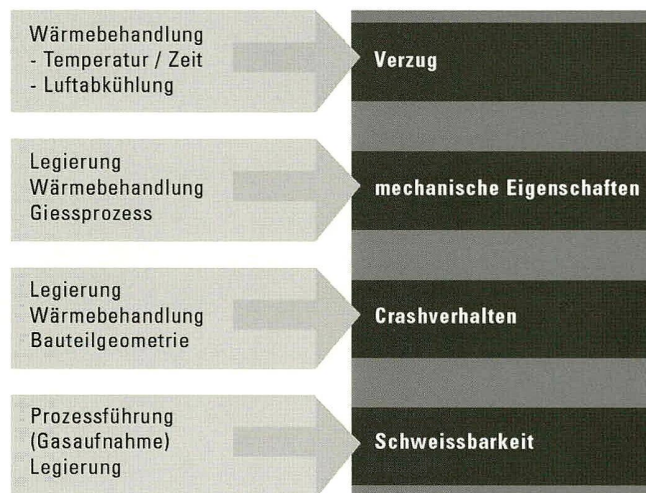
lung resultieren die Legierung Aural-2[®], die Wärmebehandlung Auraltherm[®] sowie das hochwertige High-Q-Cast[®]-Vakuumdruckgiessverfahren.

Legierungsentwicklung: AURAL-2[®]
Für die Druckgussteile im Audi A2 wurde die Gusslegierung AURAL-2[®] ausgehend

einen wesentlichen Nachteil. Je dünnwandiger und grossflächiger die Gussteile sind, um so erheblicher wird die Verzugsproblematik. Für automatisierte Serienfertigung und insbesondere bei der Anwendung des Laserschweissens als Verbindungstechnik darf der Verzug jedoch nur wenige Zehntel Millimeter



Kontrolle der Eigenschaften der Druckguss-Bauteile.



Einflussgrößen auf die Bauteilgeometrie.

vom System Aluminium-Silizium entwickelt. Der Si-Gehalt wurde nahe am eutektischen Punkt gewählt, um das für dünnwandige, grossflächige Gussteile mit komplexer Geometrie notwendige Formfüllungsvermögen zu garantieren. Im Vergleich zu den herkömmlichen Druckgusslegierungen wurde der Eisen-Gehalt reduziert, jedoch weitgehend durch Mangan substituiert, um dem Anlegieren an die Druckgussform («Kleben») entgegenzuwirken. Das Mn/Fe-Verhältnis wurde dabei so gewählt, dass einerseits eine möglichst feine und gleichmässig verteilte Ausbildung der quarternären AlFeMnSi-Phase resultiert, andererseits die Bildung der nadelförmigen AlFeSi-Phasen verhindert wird. Der Mg-Gehalt wird für eine erforderliche Warmaushärtung benötigt.

Entwicklung der Wärmebehandlung AURALTHERM[®]

Für herausragende Duktilitätsansprüche muss bei Gussteilen aus AlSi-Legierungen eine Glühung bei hohen Temperaturen zur Einförmigkeit des eutektischen Silizium durchgeführt werden. Die in der Praxis üblichen Glühtemperaturen im Bereich um 500°C mit einer anschliessenden schroffen Wasserabschreckung auf Raumtemperatur haben allerdings

betragen. Der Richtaufwand und die damit anfallenden Kosten bei einer konventionellen Wasserabschreckung wären enorm. Neben der Legierungsentwicklung musste deshalb eine spezielle Wärmebehandlung erarbeitet werden, um die anspruchsvollen Vorgaben an die mechanischen Eigenschaften, die Crashtaughkeit und den Verzug der Gussteile sicherzustellen.

Mit der Wahl einer «partiellen Lösungsglühung» und anschliessender Luftabkühlung Auraltherm[®] gelang es, den Verzug in tolerierbaren Grenzen zu halten. Die Legierung und Wärmebehandlung wurden exakt aufeinander abgestimmt, um die mechanischen Eigenschaften und vor allem die Crashtaughkeit der Bauteile sicherzustellen. Nach der Luftabkühlung erfolgt eine Warmaushärtungsbehandlung zur Einstellung des geforderten Festigkeitsniveaus. Bei Anwendung der speziellen Wärmebehandlung Auraltherm[®] liegt nur noch ein sehr geringer Verzug der Druckgussbauteile vor.

High-Q-Cast[®]-Druckgiessverfahren

Alle Anstrengungen zur Verbesserung der Gussqualität konzentrierten sich bisher hauptsächlich auf verfahrenstechnische Optimierungen der Druckgiess

maschinen. Eine technisch bestens ausgerüstete, prozesssichere Druckgiessmaschine ist jedoch noch lange nicht der Garant für höchste Gussqualität. Im Zuge der Entwicklung der Audi A2 Gussteile wurde beim High-Q-Cast® deshalb ein grundlegend anderer Ansatz gewählt. Der gesamte Giessprozess wird

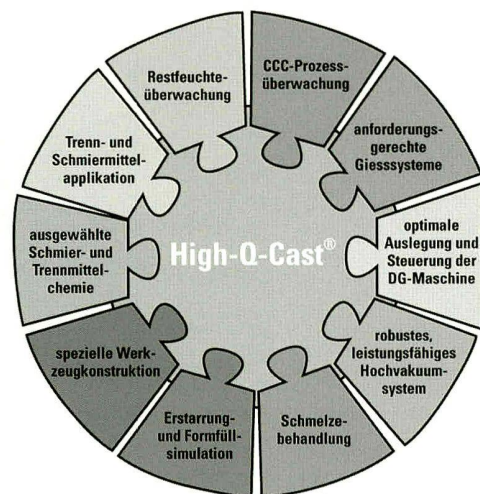


Unterschiede im Verzug am Beispiel B-Säule. Rechts: Glühung bei 490° C x 1 h; Wasserabschreckung. Links: partielle Lösungsglühung mit verzugsarmer Abkühlung.

als eine Einheit betrachtet. Eine gute Schmelzequalität hat zum Beispiel den gleichen Stellenwert wie die optimale Auslegung der Druckgiessform. Dies kann auch anhand von weiteren Einflussfaktoren gezeigt werden.

Druckgussteile werden beim Audi A2 sowohl mit dem MIG- als auch mit dem Laserschweißverfahren geschweisst. Die Vorgabe der Laserschweißbarkeit an die Gussteile stellte sich jedoch als besonders kritisch heraus. Die Erfahrungen beim Schweißen von Aluminiumdruckguss mit den konventionellen Schmelzschweißverfahren wie dem MIG-Schweißen konnten nicht einfach auf das Laserstrahlschweißen übertragen werden. Dazu ist die Erstarrungsgeschwindigkeit beim Laserstrahlschweißen im schmalen Nahtbereich zu hoch, um aufsteigende Gase entweichen zu lassen. Zur Sicherstellung der Laserschweißbarkeit der Druckgussteile mussten für die Realisierung des A2 Guss-

projektes grundlegende Verbesserungen in der Giesserei geschaffen werden, damit bereits die Aluminium-Schmelze einen sehr tiefen Gasgehalt aufweist. Zum Beispiel wird neben der üblichen Schmelzebehandlung mittels Impeller zusätzlich eine Inertgasbehandlung im Dosierofen angewandt. Ausserdem



Beim High-Q-Cast®-Verfahren werden sämtliche Einflussgrößen auf die Gussqualität berücksichtigt.

müssen Salzpräparate sehr vorsichtig verwendet werden. Diese Massnahmen waren zwingend notwendig, um die Laserschweißbarkeit zu garantieren.

Ausblick

In der Giessereitechnik wurden in den letzten Jahren beachtliche Fortschritte sowohl auf den Gebieten der Werkstoffentwicklung als auch bei den Fertigungstechnologien erzielt. Innovative Prozesstechniken sowie Detailverbesserungen bei den Maschinen und Anlagen für die Form-, Schmelz- und Giesstechnik haben dafür gesorgt, dass die Qualität der Gussteile optimiert und auch neue Anwendungsgebiete erschlossen werden konnten. Im vorliegenden Beitrag wurde dies unter anderem am Beispiel der Druckgusstechnologie verdeutlicht. Dieser Entwicklungstrend wird sicherlich weiterhin anhalten. Gerade im Automobilbereich werden in naher Zukunft die grössten Wachstumsraten von Aluminiumgussteilen vorausgesagt. Aufgrund

