



FOTOS: GEORG FISCHER AUTOMOTIVE

Abbildung der Gießform.

# AluSiDur – hochfeste Aluminium-Druckgusslegierung für Strukturbauteile

VON STUART WIESNER UND LEIF SPECKERT, SCHAFFHAUSEN, SCHWEIZ

Strukturbauteile aus Aluminium-Druckguss finden immer mehr Verbreitung in der europäischen Automobilindustrie. Kaum eine andere Anwendung zeigt derzeit ein solch rasantes Wachstum. Georg Fischer Automotive (GF) stellt an seinen Standorten Altenmarkt und Herzogenburg in Österreich seit Jahren großflächige Strukturbauteile in Aluminium- und Magnesium-Druckguss her, am Standort China werden derartige Produktionen in Angriff genommen. Im GF Central Lab in Schaffhausen läuft ein Projekt zur Entwicklung von Aluminium-Druckgusslegierungen für Strukturbauteile. Ein

wesentliches Ziel ist eine Festigkeitssteigerung der Legierung, um dünnwandige Konstruktionen zu ermöglichen.

## Legierungen und Phasensimulation

Der Schwerpunkt der Legierungsentwicklung lag auf einer Modifikation des Legierungstyps AlSi10MnMg. Hierbei wurden die Legierungselemente Magnesium, Zink und Kupfer im 1/10-Massenprozent-Bereich variiert. Die für Strukturbauteile grundsätzlich geeigneten, bekannten Primärlegierungen der Typen Silafont 36, Castasil 37 und Magsimal 59 dienten als Vergleich\*. Im Rahmen des Projektes wurden zudem Sekundärlegierungen der Typen 239 und 226 betrachtet. Phasen-



Bild 1: Hutprobe und Kugelformprobe.

simulationen mit Hilfe des Programms JMatPro ermöglichten eine Reduktion der Anzahl praktischer Gießversuche. Beispielsweise konnten bei der Legierungswahl Phasen mit erhöhter Korrosionsneigung vermieden werden.

## Versuchsform und Strukturbauteile

Die GF-Versuchsform beinhaltet drei Probekörper: ein Hutprofil und zwei Kugelformproben (Bild 1). Das Hutprofil besitzt eine Wandstärke von 3 mm und ähnelt mit seiner wellblechartigen Form einem Strukturbauteil. Die Kugelformprobe ist eine von GF entwickelte Probenform zur Bestimmung von Dauerfestigkeiten (Wöhlerkurven) unter Biegewechselbeanspruchung. Eine der Proben besitzt im relevanten Querschnitt eine Wandstärke von 3 mm, die andere 6 mm. Das Abgussgewicht der Versuchsform beträgt 2,5 kg\*\*.

Die Versuchslegierungen wurden am GF-Standort Altenmarkt an Serienbauteilen, einem Federbeindom und einem Türbauteil, unter produktionsnahen Bedingungen vergossen. Die durchschnittliche Wandstärke des Federbeindoms (Bild 2) betrug 2–3 mm bei einem Abgussgewicht von ca. 10 kg. Das Türbauteil (Bild 3) mit einem Abgussgewicht von ca. 5 kg hatte eine Wandstärke von knapp 2 mm, in einigen Bereichen sogar nur 1,4 mm.

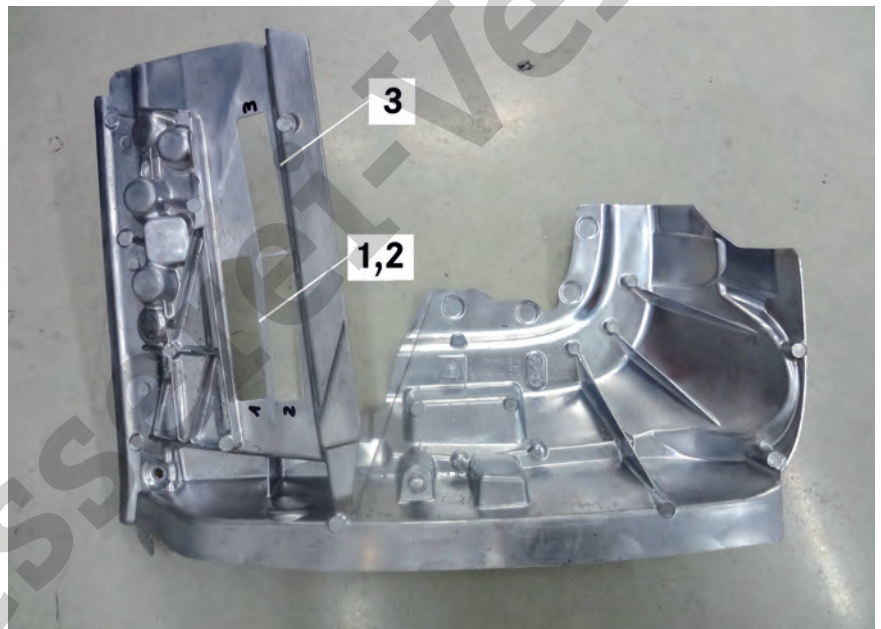
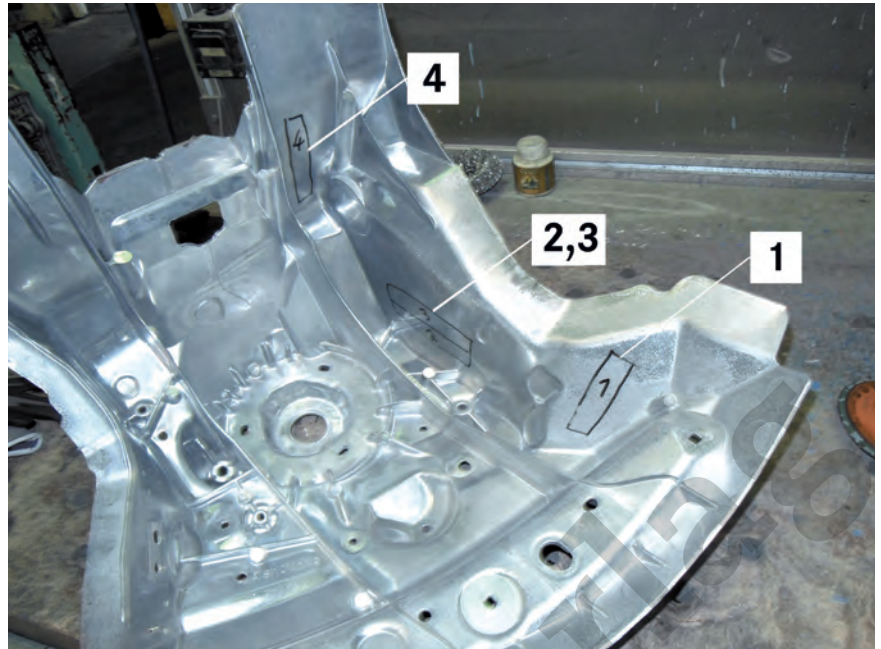
## Gefüge

Die dargestellten Schlißbilder (Bild 4) der Standardlegierung AISi10MnMg in drei verschiedenen Wärmebehandlungszuständen geben einen Hinweis auf die unterschiedliche Wirkung einer einstufigen T5- und einer zweistufigen T6-Wärmebehandlung. Im Falle einer T5-Wärmebehandlung wurde das Gefüge nicht eingeformt. Trotz des in allen Fällen sehr feinen Gefüges ist hier mit einer begrenzten Bruchdehnung zu rechnen.

Die Darstellung der Elektronenstrahlmikroanalyse\*\*\* (Bild 5) gibt Informationen über die Elementverteilung, hier für die Elemente Al, Zn, Si, Fe, Mg und Mn dargestellt. Insbesondere Magnesium ist im Falle einer T5-Wärmebehandlung deutlich inhomogener verteilt als nach einer T6-Wärmebehandlung. Dieses Ergebnis lässt bessere Werkstoffkennwerte nach einer T6-Wärmebehandlung erwarten. Für die Festigkeit des Werkstoffs sind Ausscheidungshärtungsvorgänge von Bedeutung, welche weder im Schlißbild noch in der ESM-Analyse direkt erkennbar sind.

## Statische Werkstoffkennwerte

Mit der Legierung Castasil 37 (AlSi9Mn) konnte im Gusszustand eine hohe Bruchdehnung von 15 % erreicht werden, allerdings bei einer Dehngrenze ( $R_{p0,2}$ ) von nur



Bilder 2 und 3: Strukturbauteile: Federbeindom und Türbauteil, Lage der entnommenen Zugproben.

knapp über 100 N/mm<sup>2</sup>. Die selbstaushärtende Legierung Magsimal 59 (AlMg-5Si2Mn) zeigte 3 Wochen nach dem Gießen eine Dehngrenze von 140 N/mm<sup>2</sup> bei 12 % Bruchdehnung und nach einer T5-Wärmebehandlung einen  $R_{p0,2}$  von 180 N/mm<sup>2</sup> bei  $A = 8\%$ .

In den Untersuchungen konnten mit Hilfe der Legierung Silafont 36 (AlSi10MnMg) nach einer für hohe Dehnungen ausgelegten T6-Wärmebehandlung die Anforderungen an crashrelevante Strukturbauteile erfüllt werden ( $R_{p0,2} > 120$  N/mm<sup>2</sup>;  $A > 10\%$ ). Eine auf hohe Festigkeiten ausgelegte T6-Wärmebehandlung mit Wasserabschreckung führte zu einer Dehngrenze von 186 N/mm<sup>2</sup> bei 11 % Bruchdehnung (Bild 6).

## Modifikation der Legierung AISi10MnMg und der Wärmebehandlung

Mit Hilfe einer Modifikation dieser Legierung konnten bei T6 mit Wasserabschreckung ein  $R_{p0,2}$  von 280 N/mm<sup>2</sup> und über 9 % Bruchdehnung erreicht werden. Eine weitere, selbstaushärtende Modifikation ermöglichte das Erreichen von fast 200 N/mm<sup>2</sup> (ohne jede Wärmebehandlung).

Im Rahmen dieses Projektes wurde nun die T6-Wärmebehandlung modifiziert, um einen Verzug der Bauteile zu minimieren. Eine für diese Bedingungen optimierte T6-Wärmebehandlung mit Luftabschreckung führte bei der Legierung Silafont 36

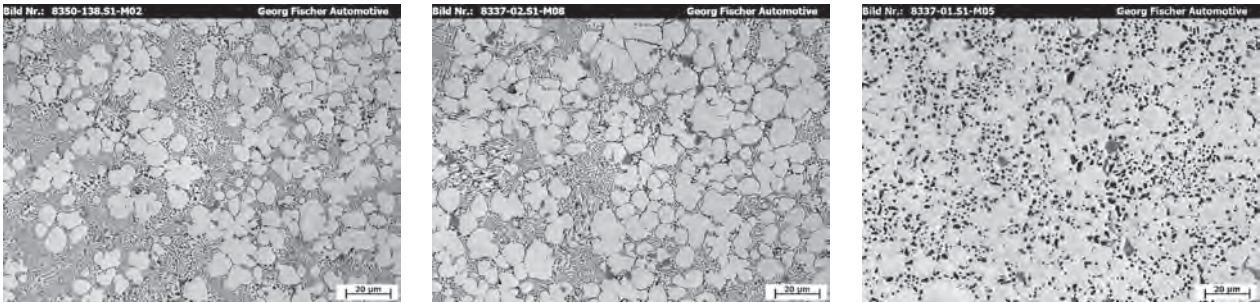


Bild 4: Mikrogefüge AlSi10MnMg as cast (links), T5 (Mitte) und T6 (rechts).

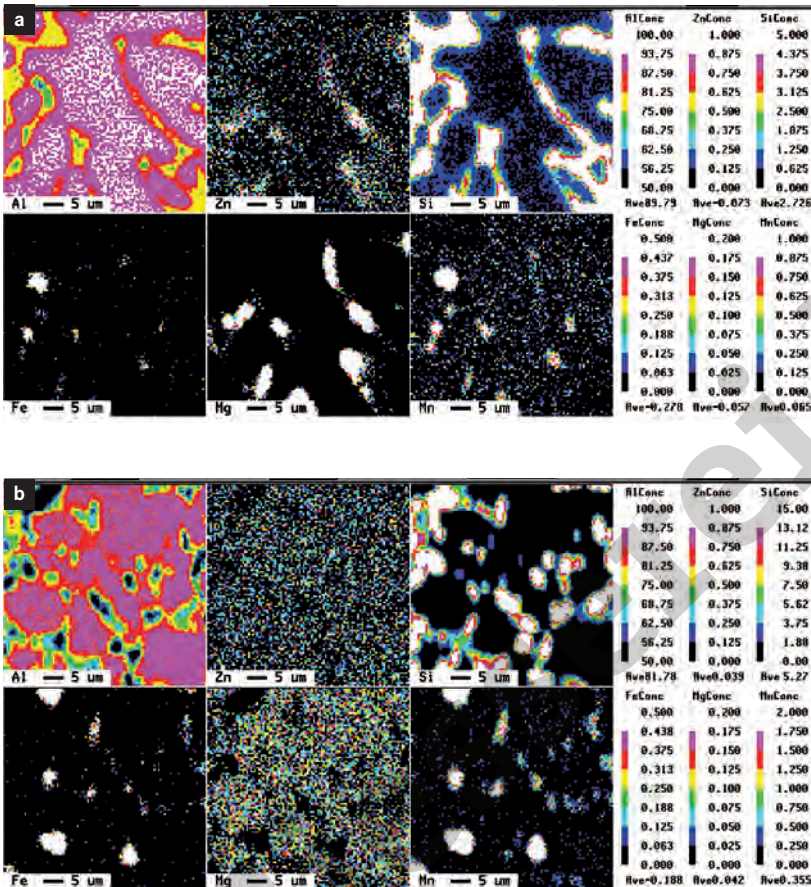


Bild 5a+b: ESMA AlSi10MnMg T5 (oben) und T6 (unten).

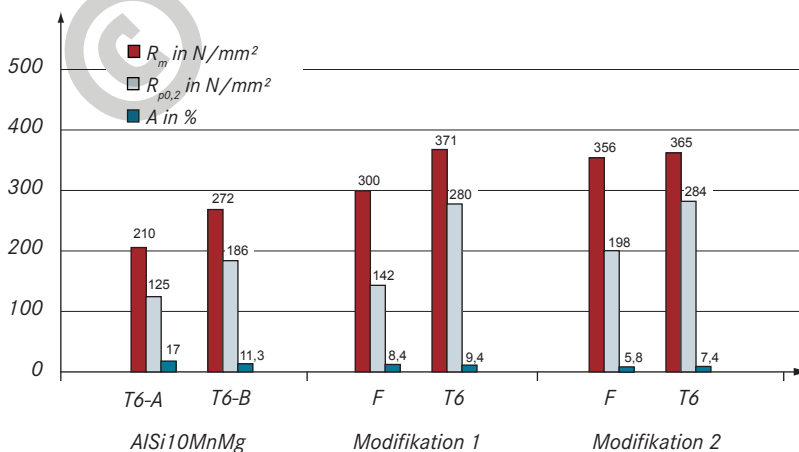


Bild 6: Zugprobenergebnisse aus Hutprofilen (T6 mit Wasserabschreckung).

zu nahezu denselben Werkstoffkennwerten wie bei einer klassischen T6-Wärmebehandlung mit Wasserabschreckung.

Die Wirkung dieser Wärmebehandlung auf verschiedene Variationen der Legierung AlSi10MnMg ist in Bild 7 dargestellt. Am Ende dieser Untersuchung stand eine Variante (im Diagramm Modifikation 6 genannt), welche eine hohe Dehngrenze von 246 N/mm<sup>2</sup> bei 10 % Dehnung bei modifizierter T6-Wärmebehandlung lieferte.

### Bauteilversuche

Mit dieser Legierungsvariante wurden ein Federbeindom und ein Türbauteil gegossen. Bei diesen Bauteilen konnten unter seriennahen Bedingungen Dehngrenzen von 210 bzw. 220 N/mm<sup>2</sup> sowie Bruchdehnungen von 8–10 % erreicht werden (Bild 8). Am Türbauteil wurden die genannten Kennwerte bei einer Bauteilwandstärke von 1,9 mm erreicht. 1,4 mm dicke Bereiche dieses Bauteils konnten zwar mit guter Röntgen- und Oberflächenqualität gefüllt werden, die Werkstoffkennwerte streuten aber stärker. Weitere Gießeigenschaften wie z. B. die Formfüllfähigkeit, Porositäts- oder Kleebeigung blieben trotz der Legierungsmodifikation unverändert.

### Dynamische Werkstoffkennwerte

An Kugelformproben bestimmte Wöhlerkurven ( $R = -1$ ) zeigten eine Dauerbiege-wechselfestigkeit von 100 N/mm<sup>2</sup> bei der Standardlegierung AlSi10MnMg nach einer T6-Wärmebehandlung. Eine der modifizierten Legierungsvarianten zeigte eine Dauerschwingfestigkeit von 120 N/mm<sup>2</sup> bei gleicher T6-Wärmebehandlung. In dynamischen Schlagversuchen an Kugelformproben konnten Standard- und modifizierte Legierungen in verschiedenen Wärmebehandlungszuständen verglichen werden (Bild 9). Modifizierte Legierungstypen zeigten eine gegenüber der Standardlegierung AlSi10MnMg (Silafont

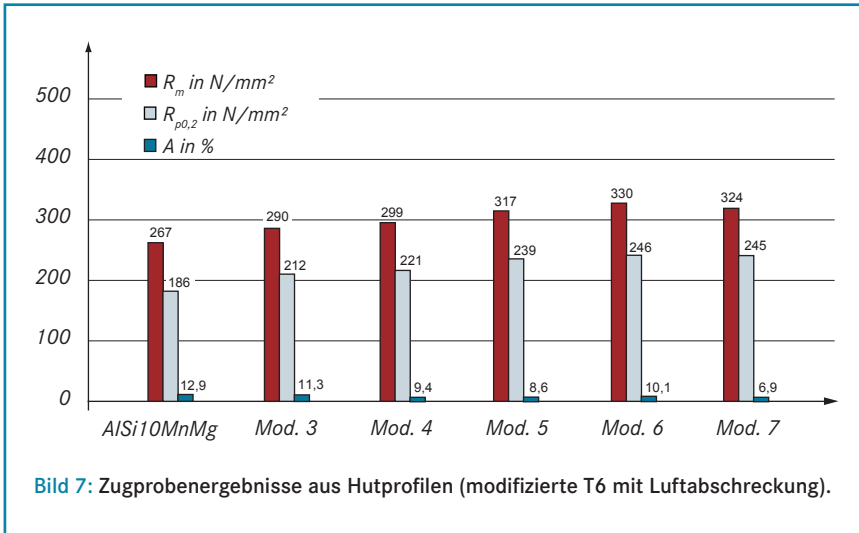


Bild 7: Zugprobenergebnisse aus Hutprofilen (modifizierte T6 mit Luftabschreckung).

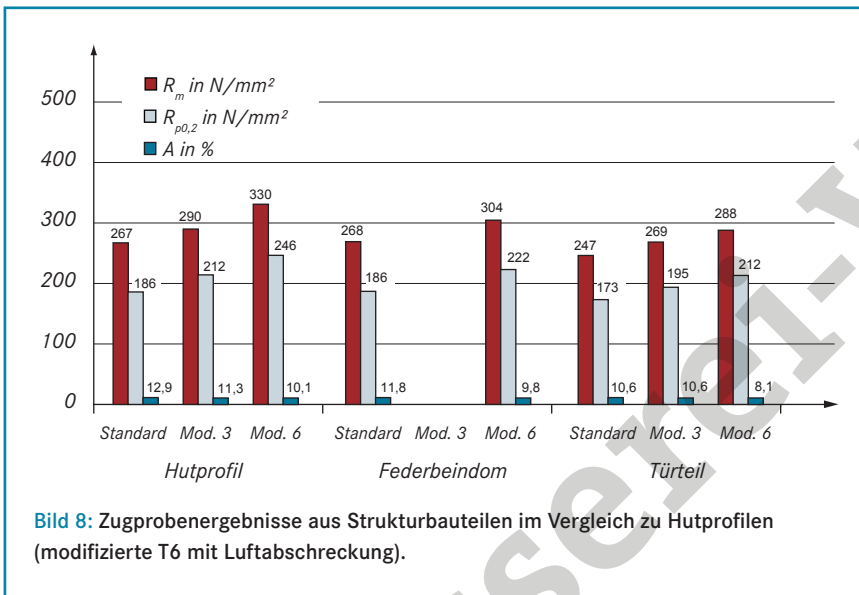


Bild 8: Zugprobenergebnisse aus Strukturbauteilen im Vergleich zu Hutprofilen (modifizierte T6 mit Luftabschreckung).

36) erhöhte Energieaufnahme, allerdings bei geringerem Verformungsvermögen bis zum Bruch. Weder die Ergebnisse der Dauerbiegewechselfestigkeit noch der dynamischen Schlagversuche korrelierten mit Zugprobenergebnissen.

### Korrosionsbeständigkeit

Der Untersuchung der Korrosionsneigung der eingesetzten Legierungen wurde breiter Raum gegeben. Interkristalline Korrosion, Salznebelprühtest, Spannungsrisskorrosion und Korrosionsbeständigkeit unter Biegebelastung waren Gegenstand der Untersuchungen. Es wurde unter anderem ein Versuchstand aufgebaut, mit dessen Hilfe ein Korrosionsmedium auf biegebelastete Kugelproben aufgebracht werden kann. Legierungen des Typs AISi10MnMg und deren bei den Strukturbauteilen angewandten Modifikationen hatten eine untereinander vergleichbare Korrosionsbeständigkeit. Ab bestimmten Gehalten an

Kupfer und Zink konnte eine Verschlechterung der Ergebnisse festgestellt werden. Eine T6-Wärmebehandlung wirkte sich positiv auf die Korrosionsneigung aus. Proben nach T5-Wärmebehandlung zeigten eine höhere Korrosionsanfälligkeit. Das Ergebnis der Sekundärlegierungen, insbesondere der Standardlegierung AISi9Cu3, fiel schlechter aus. Die ausgeprägte Korrosionsbeständigkeit der Legierung AlMg5Si2Mn (Magsimal 59) konnte in den Versuchen bestätigt werden, sie zeigte unter dem Einfluss von Salzwasser und Salzsäure einen sehr geringen Korrosionsangriff.

### Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des GF-Entwicklungsprojektes AluSiDur konnten die statischen und dynamischen Festigkeitswerte der Legierung AISi10MnMg durch eine Modifikation der Elementzusammensetzung gesteigert werden. Unter Berücksichtigung einer geringen Verzugneigung wurde eine

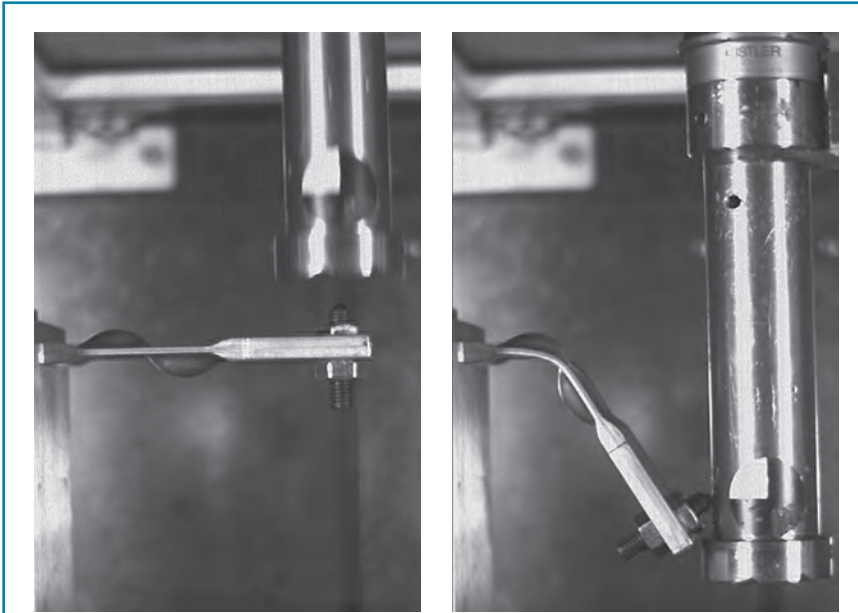


Bild 9: Hochgeschwindigkeitsaufnahmen Impact-Test.

genbild, die Werkstoffkennwerte jedoch eine größere Varianz. Es konnte keine Verschlechterung der Korrosionsbeständigkeit festgestellt werden. Die sonstigen gieß- und bauteilqualitätsrelevanten Eigenschaften entsprechen denen einer Standard AISi10MnMg-Legierung. Die höhere Festigkeit ermöglicht Konstruktionen mit geringerer Wandstärke und somit Leichtbau mit Strukturbauteilen.

- \* Legierungen der Fa. Rheinfelden Alloys GmbH & Co. KG.
- \*\* Abgegossen im Techcenter der Bühler AG in Uzwil.
- \*\*\* Analysiert am Institut für Füge- und Schweißtechnik, TU Braunschweig.

*Dr.-Ing. Stuart Wiesner, Teamleiter Druckguss, Werkstoff- und Verfahrensentwicklung, Georg Fischer Automotive AG, Schaffhausen, Schweiz.*

industriell anwendbare T6-Wärmebehandlung ermittelt, die eine Dehngrenze von 200 N/mm<sup>2</sup> und Bruchdehnung von 8 % ermöglicht. Diese Kennwerte konnten an

einem Strukturbauteil mit einer Wandstärke von 1,9 mm realisiert werden. Bereiche mit 1,4 mm Wandstärke zeigten eine gute Qualität der Oberfläche und im Rönt-

*Dipl.-Ing. Leif Speckert, Entwicklungsingenieur Druckguss, Werkstoff- und Verfahrensentwicklung, Georg Fischer Automotive AG, Schaffhausen, Schweiz.*

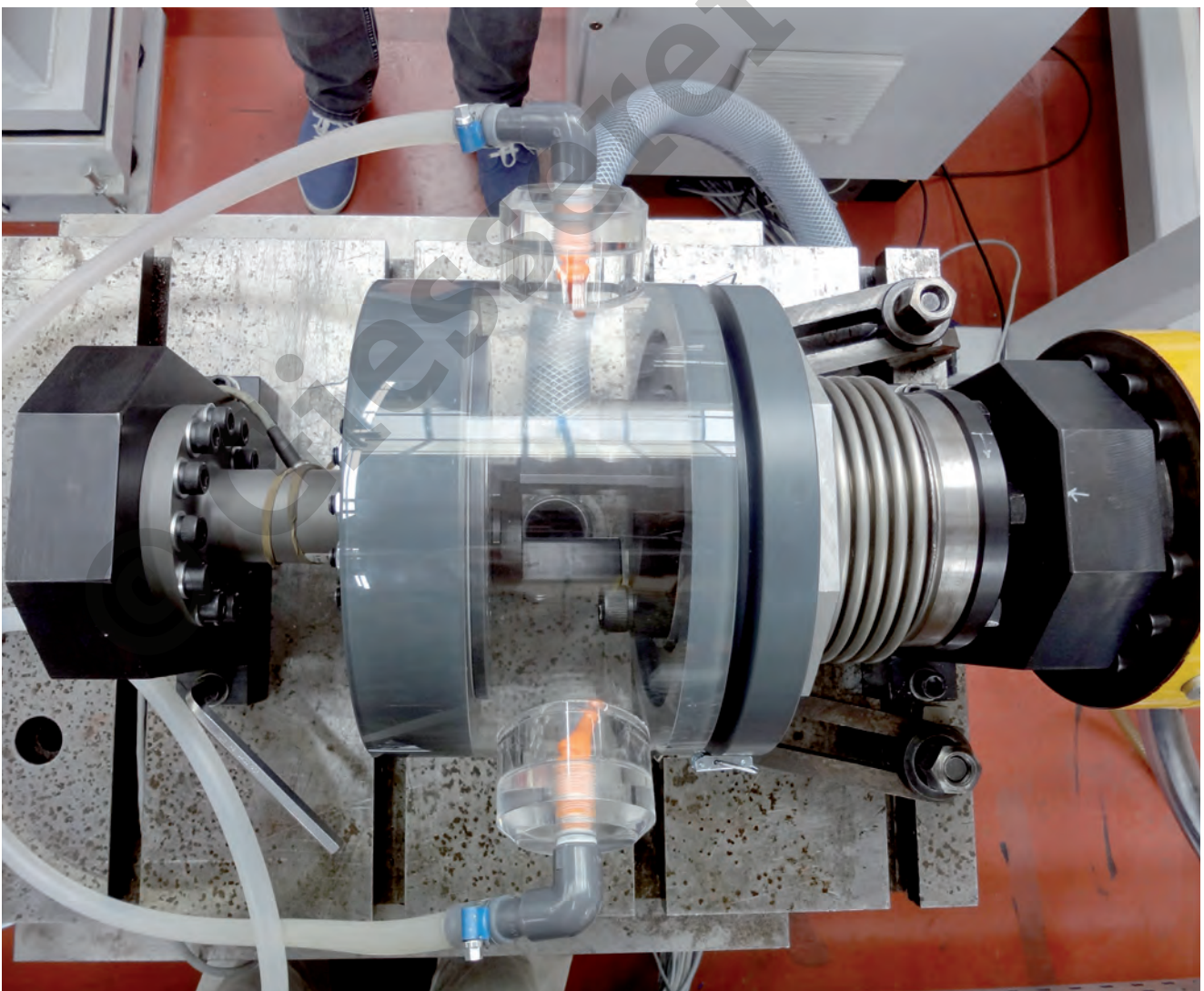


Bild 10: Versuchsstand für eine Dauerschwingbelastung unter Korrosionseinfluss.