

# „Rheogießen von Aluminiumlegierungen“

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eine  
**Doktors der Ingenieurwissenschaften**

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Tilman Grimmig**

**aus Mülheim/Ruhr**

**Berichter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Peter R. Sahn

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Juli 2008



Gießerei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse

Band 57

**Tilman Grimmig**

**Rheogießen von Aluminiumlegierungen**

Shaker Verlag  
Aachen 2009

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2008)

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7906-6

ISSN 1435-6198

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Gießerei-Institut der RWTH-Aachen. Die Durchführung der experimentellen Arbeiten wurde durch den Sonderforschungsbereich SFB 289 der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) gefördert.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek, Direktor des Gießerei-Institutes, für die fachliche Unterstützung, die Förderung dieser Arbeit und das mir entgegen gebrachte Vertrauen während meiner Zeit am Gießerei-Institut. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.H. Peter R. Sahm danke ich für sein Interesse an meiner Arbeit, seine fachliche Unterstützung und die Übernahme des Korreferates.

Des Weiteren möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Gießerei-Institutes und ACCESS e.V. bedanken. Die stets gute Zusammenarbeit war für das Gelingen dieser Arbeit von großer Bedeutung. Besonders zu erwähnen sind die Mitarbeiter der Dauerformgussgruppe während dieser Zeit, meine Kollegen Horst Bramann, Julio Aguilar, Martin Fehlbier, Olaf Klaassen, Andreas Hennings, Carsten Afrath, Fabian Kuethe, Dietmar Lembrecht, Christian Zechendorf, Matthias Bünck, Gerald Klaus, Erik Baumeister, Carlos Rodriguez und Christian Oberschelp. Ebenfalls danke ich Michael Mattes, Ulrike Hecht und Elke Schaberger-Zimmermann für die gute Zusammenarbeit und die vielen Ratschläge während der Zeit am Gießerei-Institut. Weiterhin möchte ich mich für die Unterstützung bei Uwe Vroomen, Ingeborg Thouet, Sabine Wolters, Ulrich Althaus, Peter Otten, Mahmoud Ahmadein, Sven Schmidt, Todor Ivanov, Bence Szalai, Elvira Ivanova und Kyung Soo Lee herzlich bedanken.

Die Diplom- und Studienarbeiten Michael Goerdeler, Andrey Ovcharov, Stephan Baltes und Claudius Grüneberg haben einen wertvollen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Meiner Familie möchte ich dafür danken, dass sie mir das Studium an der RWTH-Aachen ermöglicht und mich in jeder Lebenslage unterstützt haben. Auch meiner Freundin Eva Hermsen danke ich für das Verständnis und die Geduld, die Sie während der gesamten Arbeit aufgebracht hat

Hinzu kommen eine Vielzahl guter Freunde, die mich über den gesamten Zeitraum meiner Studien- und Promotionszeit begleitet haben.



<b>0. Kurzfassung</b>	<b>I</b>
<b>1. Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2. Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Rheologische Grundlagen teilflüssiger metallischer Legierungen</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Gefügeausbildung im Rheogießprozess</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Werkstoffanforderungen für die Verarbeitung im teilflüssigen Zustand</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Verfahrensgrundlagen zur Verarbeitung von teilflüssigen Metallen</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1 Thixogießen</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2 Rheogießverfahren</b>	<b>24</b>
<b>2.4.3 Thixomolding</b>	<b>32</b>
<b>2.5 Aktuelle Anwendungsbeispiele</b>	<b>33</b>
<b>3. Prozessoptimierung Rheogießen</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Rinnenverfahren</b>	<b>40</b>
<b>3.1.1 Versuchsaufbau</b>	<b>40</b>
<i>3.1.1.1 Gießrinne</i>	<b>41</b>
<i>3.1.1.2 Formschale</i>	<b>47</b>
<i>3.1.1.3 Anlagenentw. und Integration in den Formgebungsprozess</i>	<b>48</b>
<b>3.1.2 Abkühlbedingungen</b>	<b>52</b>
<i>3.1.2.1 Versuchsdurchführung</i>	<b>53</b>
<i>3.1.2.2 Auswertung</i>	<b>54</b>
<b>3.1.3 Verarbeitungstemperatur</b>	<b>65</b>
<i>3.1.3.1 Versuchsdurchführung</i>	<b>66</b>
<i>3.1.3.2 Auswertung</i>	<b>67</b>
<b>3.2 Rheo-Container-Prozess (RCP)</b>	<b>80</b>
<b>3.2.1 Prozessentwicklung RCP-Verfahren (A356)</b>	<b>81</b>
<i>3.2.1.1 Anforderungen an den Prozess</i>	<b>81</b>
<i>3.2.1.2 Verfahrensauslegung und Durchführung (A356)</i>	<b>81</b>
<i>3.2.1.3 Behältermaterialuntersuchung (A356)</i>	<b>82</b>
<b>3.2.2 Vormaterialuntersuchungen RCP (A356)</b>	<b>83</b>
<i>3.2.2.1 A356 – beschleunigte Abkühlung</i>	<b>85</b>
<i>3.2.2.2 A356 – verzögerte Abkühlung</i>	<b>85</b>

<b>3.2.3 Formgebung (A356)</b>	<b>86</b>
<b>3.2.4 Verarbeitung von ALi im RCP-Verfahren</b>	<b>89</b>
3.2.4.1 Vormaterialuntersuchungen (ALi)	91
3.2.4.2 Anpassung des Versuchsaufbaus (ALi)	94
<b>3.2.5 Formgebung (ALi) – Prinzipbauteil</b>	<b>94</b>
<b>3.2.6 Formgebung (ALi) - Realbauteil</b>	<b>98</b>
<b>4. Legierungsmodifikation AlSi7Mg0,3 im Rheogießen</b>	<b>106</b>
<b>4.1 Kornfeinung und Veredlung</b>	<b>108</b>
4.1.1 Kornfeinung und Veredlung - Abschreckversuche	108
4.1.2 Kornfeinung und Veredlung – Bauteiluntersuchungen	115
<b>4.2 Festigkeitssteigernde Elemente Mg und Cu</b>	<b>123</b>
4.2.1 A356 mit Mg-Zusatz	123
4.2.2 A356 mit Cu-Zusatz	133
<b>5. Legierungsuntersuchungen</b>	<b>145</b>
5.1 Magsimal 59 (AlMg5Si2Mn)	149
5.2 Alufont 48 (AlCu4MgAgTi)	159
5.3 7075 (AlZnMgCu1,5)	166
<b>6. Verfahrensvergleich Rheogießen - Thixogießen</b>	<b>180</b>
6.1 Einführung und Durchführung	180
6.2 Verfahrensvergleich	181
<b>7. Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>188</b>
<b>8. Literatur</b>	<b>191</b>
<b>Anhang</b>	