



Berichte aus dem  
Institut für Eisenhüttenkunde



**Frederic Crimmann**

---

**Thermomechanische Untersuchung  
der Primärkühlzone einer  
Stahl-Stranggießanlage unter Einsatz  
faseroptischer Temperatursensoren**

**Thermomechanische Untersuchung der Primärkühlzone einer Stahl-  
Stranggießanlage unter Einsatz faseroptischer Temperatursensoren**

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

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

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

**Frederic Crimmann, M.Sc.**

aus Bonn

**Berichter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (CZ) Dieter Georg Senk  
Prof. Dr.-Ing. Herbert Köchner  
Hon.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Bannenberg

Tag der mündlichen Prüfung: 27.05.2021





**Berichte aus dem  
Institut für Eisenhüttenkunde**

**Frederic Crimmann**

---

**Thermomechanische Untersuchung der Primärkühl-  
zone einer Stahl-Stranggießanlage unter Einsatz  
faseroptischer Temperatursensoren**

---

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. W. Bleck  
Prof. Dr.-Ing. U. Krupp  
Prof. Dr.-Ing. S. Münstermann  
Prof. Dr.-Ing. D. Senk

---

Band 2/2021

Shaker Verlag

**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, 2021)

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8103-9

ISSN 0943-4631

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

## Danksagung

Die vorliegende Dissertation wurde durch die enge Zusammenarbeit der Salzgitter Flachstahl GmbH mit den Bereichen der Stranggießanlagen und dem Lehrstuhl für Metallurgie von Eisen und Stahl, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (CZ) Dieter Georg Senk initiiert, begleitet und gefördert.

Daher möchte ich mich zunächst sehr herzlich bei meinem geschätzten Doktorvater Prof Dr.-Ing. Senk für die Ermöglichung der vorliegenden Arbeit bedanken. Die vielen fachlichen Diskussionen waren eine persönliche Bereicherung und zielführend für meine Promotion.

Einen großen Dank möchte ich insbesondere Herrn Dr. Peter Müller widmen, der während meiner Promotionszeit fachlich sowie persönlich an meiner Seite stand und mich jederzeit motiviert und gefördert hat. Die Realisierung und Förderung der Forschung durch Herrn Dr. Müller ermöglichte dieses Projekt und ist eine treibende Kraft für die Weiterentwicklung des Stranggießens. Auch Herrn Dr. Markus Schäperkötter gebührt mein Dank für die konstruktive Auseinandersetzung mit diesem Forschungsthema und die mir zugewandte tatkräftige Unterstützung.

Der gesamten Betriebsleitung der Stranggießanlage sowie dem gesamten Instandhaltungsbereich und insbesondere Herrn Matthias Klöppelt möchte ich meine Anerkennung aussprechen. Sie haben einen großen Beitrag zum Erfolg der durchgeführten Versuche geleistet.

Weiterhin möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Entwicklung, Inbetriebnahme und Auswertung des Glasfaser-Temperaturmesssystems bei den Kooperationspartnern KME Germany GmbH & Co. KG und Fbgs Technology GmbH bedanken.

Zudem möchte ich Herrn Andreas Bolz meinen Dank aussprechen, der in enger Zusammenarbeit seine Masterarbeit und die Simulation für diese Promotion entwickelte.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Herbert Köchner und Herrn Hon.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Bannenber für die Übernahme der Berichterstattung.

Zum Schluss möchte ich mich bei meiner gesamten Familie bedanken, die mir allzeit mit Rat und Tat zur Seite standen. Besonders möchte ich mich bei meiner Frau, Martina Crimmann, und meinem Sohn, Paul Levi Crimmann, bedanken. Sie haben mein Vorhaben von Anfang an bestärkt und gefördert.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>  <b>EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG</b></b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>  <b>EINFÜHRUNG IN DEN THEMENKREIS</b></b> .....	<b>3</b>
2.1	<b>Stranggießprozess</b> .....	3
2.2	<b>Stranggießkokillen</b> .....	5
2.3	<b>Wärmefluss in einer Stranggießkokille</b> .....	8
2.3.1	Wärmeübertragungsarten .....	9
2.3.2	Wärmedurchgangskoeffizienten .....	14
2.3.3	Wärmestromdichte in einer Stranggießkokille .....	15
2.4	<b>Erstarrung der Stahlschmelze und Strangschalenbildung im Stranggießprozess</b> .....	17
2.4.1	Kristallwachstum und Gefügeausbildung.....	20
2.4.2	Strangschalenwachstum.....	22
2.4.3	Strangschalenschumpfung und Ausbauchung .....	23
2.5	<b>Kokillenkonzität</b> .....	27
2.6	<b>Gießpulver</b> .....	29
2.7	<b>Ausbildung von Strangoberflächenfehlern während des Stranggießens</b> .....	32
2.8	<b>Reibkraftermittlung innerhalb der Kokille</b> .....	37
2.9	<b>Fazit: Notwendigkeit der Verbesserung und Erweiterung der Messwerterfassung zur Steigerung der Produktqualität</b> .....	39
<b>3</b>	<b>  <b>INTEGRATION NEUER SENSORIK INNERHALB DER STRANGGIEßKOKILLE</b></b> ...	<b>40</b>
3.1	<b>Online-Konzitätsüberwachung mittels Neigungswinkelsensor</b> .....	40
3.1.1	Allgemeine Funktionsweise des Neigungswinkelsensors .....	41
3.1.2	Position der Neigungswinkelsensoren an den Schmalseiten .....	43
3.2	<b>Schmalseitentemperaturerfassung mittels Thermoelementen</b> .....	44
3.3	<b>Schmalseitentemperaturerfassung mittels faseroptischen Sensoren</b> .....	46
3.3.1	Allgemeine Funktionsweise von Lichtwellenleitern .....	46
3.3.2	Messprinzip der Faser-Bragg-Gitter Sensoren .....	50
3.3.3	Einbau der Lichtwellenleiter in den Schmalseiten der Stranggießanlage .....	52
<b>4</b>	<b>  <b>MODELLENTWICKLUNG</b></b> .....	<b>54</b>
4.1	<b>Thermische Modellierung der Strangschale</b> .....	56
4.2	<b>Strukturmechanische Modellierung der Strangschale</b> .....	59
4.3	<b>Thermomechanische Kopplung</b> .....	61
<b>5</b>	<b>  <b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN</b></b> .....	<b>62</b>
5.1	<b>Neigungswinkelsensoren</b> .....	62
5.2	<b>Schmalseitentemperaturmessung und Konzitätsversuche</b> .....	63

## Inhaltsverzeichnis

---

5.3	Ermittlung der lokalen Wärmestromdichten .....	65
5.4	Qualitätskennzahlermittlung für die Begutachtung der Brammenqualität .....	66
5.5	Verschleißmessungen der Kupferplatten der SGA 4 .....	68
5.6	Aufbau des Simulationsmodells .....	70
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>73</b>
6.1	Neigungswinkelsensoren .....	73
6.2	Schmalseitentemperaturmessung und Konizitätsversuche .....	77
6.3	Lokale Wärmestromdichten der Schmalseiten .....	96
6.4	Qualitätsabgleich an den Brammen .....	102
6.5	Verschleißmessung der Kupferplatten .....	109
6.6	Ergebnisse der Modellberechnung .....	112
<b>7</b>	<b>DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>118</b>
7.1	Neigungswinkelsensoren .....	118
7.2	Schmalseitentemperaturmessung, Konizitätsversuche, Qualitätsabgleich und Modellsimulation .....	119
7.2.1	Schmalseitentemperaturmessung mittels Thermoelementen .....	119
7.2.2	Schmalseitentemperaturerfassung mittels faseroptischen Sensoren .....	120
7.2.3	Konizitätsversuche .....	122
<b>8</b>	<b>AUSBLICK .....</b>	<b>133</b>
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>135</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>III</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>XII</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>XIII</b>