

# **Temperaturmodellierung von temperierten Einschnecken**

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTORS DER INGENIEURSWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)  
der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Paderborn

vorgelegte  
DISSERTATION

von  
Dipl.-Ing. Karsten Anger  
aus Ludwigsburg

Tag des Kolloquiums:	26. November 2009
Referent:	Prof. Dr.-Ing. H. Potente
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. V. Schöppner



Polymerforschung in Paderborn

Band 27

**Karsten Anger**

**Temperaturmodellierung von  
temperierten Einschnicken**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Aachen 2010

**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.: Paderborn, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8787-0

ISSN 1618-5005

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)

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststofftechnik der Universität Paderborn in den Jahren 2004 bis 2008.

Besonderer Dank und Wertschätzung gilt den Herren Prof. Dr. H Potente und Prof. Dr. V. Schöppner für Ihre wertvollen Anregungen und die stetige Unterstützung.

Den Herren Dr. E. Giese der Firma FOS-Messtechnik GmbH, Prof. Dr. H.-P. Heim, Prof. Dr. S. Hansen, Dr. G. Herres sowie Stefan Klus gilt mein herzlicher Dank für die geleisteten Hilfestellungen.

Den Mitarbeitern der Fachgruppe, im speziellen den Laboringenieuren und -assistenten, den zahlreichen Studien- und Diplomarbeitern sowie den studentischen Hilfskräften sei an dieser Stelle ebenfalls gedankt, da ohne den geleisteten Einsatz die Arbeit nicht in dieser Komplexität entstanden wäre. Insbesondere den Herren Kroker, Hörmann, Lakemeyer und Sprenger sowie Frau Bagsik danke ich für die langjährige und wertvolle Unterstützung bei allen angefallenen Aufgaben und wünsche Ihnen viel Erfolg auf Ihrem weiteren Lebensweg.

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden im Rahmen von Forschungsaktivitäten zusammengetragen, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und durch das Gemeinschaftsforschungsprojekt REX finanziert worden sind. Für die Zusammenarbeit danke ich der DFG und den teilnehmenden Unternehmen.

Die experimentellen Untersuchungen wurden durch Versuchsmaterialien und Maschinen der Firmen Resin Express GmbH, Borealis Polyolefine GmbH, CentroPlast Engineering Plastics GmbH, Bayer Material Science AG, BASF AG, DOW Chemical und Battenfeld Extrusionstechnik GmbH ermöglicht. Diesen Firmen danke ich für Ihre großzügige Unterstützung.

Als letztes möchte ich meiner Familie, meiner Verlobten, meinen Freunden und Herrn Hüser dafür danken, dass ich die Möglichkeit bekommen habe diesen Lebensabschnitt mit Erfolg abzuschließen. Vielen Dank.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Temperierte Schnecken</b> .....	<b>3</b>
2.1	Allgemeines .....	3
2.2	Interne Schneckentemperierung .....	5
2.3	Externe Schneckentemperierung .....	6
2.4	Einsatzgebiete temperierter Schnecken.....	8
<b>3</b>	<b>Zielsetzung und Vorgehensweise</b> .....	<b>11</b>
3.1	Zielsetzung.....	11
3.2	Vorgehensweise.....	12
<b>4</b>	<b>Temperaturberechnung in schmelzegefüllten Kanälen</b> .....	<b>15</b>
4.1	Temperaturberechnung über die Schneckenlänge .....	15
4.2	Reduzierung der Energiegleichung.....	18
4.3	Analytische Lösung der reduzierten Energiegleichung .....	26
4.3.1	Randbedingung 1. Art am Zylinder und am Schneckengrund.....	29
4.3.2	Randbedingung 2. Art am Zylinder und am Schneckengrund.....	32
4.3.3	Randbedingung 1. Art am Zylinder und 2. Art am Schneckengrund.....	35
4.3.4	Einfluss der Scherung und Wärmeleitung auf die Massetemperatur.....	38
<b>5</b>	<b>Kopplung der Berechnung der Schmelzetemperatur mit der Modellierung der Innentemperierung</b> .....	<b>39</b>
5.1	Arten von Wärmeströmen .....	41
5.2	Berechnung der Strömungsform sowie der dazugehörigen Nusselt- Zahlen in der Temperiereinheit.....	47
5.2.1	Kreisquerschnitt bzw. Rohr .....	48
5.2.2	Schnecken Spitze.....	51

5.2.3	Kreisringspalt.....	53
5.3	Definition der Geometrien.....	55
5.4	Energiebilanzierung in der Temperierung.....	58
5.4.1	Bilanzierung im Kreisquerschnitt .....	60
5.4.2	Bilanzierung an der Schneckenspitze .....	62
5.4.3	Bilanzierung im Kreisringquerschnitt .....	65
5.5	Berechnung der Schneckengrundtemperatur.....	67
5.6	Gesamtmodell .....	68
<b>6</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen in schmelzegefüllten Kanälen.....</b>	<b>73</b>
6.1	Temperiereinheit.....	73
6.2	Radial verfahrbares Infrarotthermometer mit zusätzlichen Thermoelementen.....	76
6.3	Verwendete Materialien .....	77
6.4	Temperaturprofile über die Schneckenlänge.....	77
6.5	Radiale Schmelzetemperaturprofile im Schneckenkanal.....	83
6.6	Druck-, Durchsatzverhalten und benötigtes Drehmoment.....	86
6.7	Energetische Betrachtung der Temperierung.....	95
<b>7</b>	<b>Experimentelle Überprüfung der Modellierung.....</b>	<b>97</b>
7.1	Überprüfung der analytischen Temperaturberechnung mit experimentellen Ergebnissen.....	97
7.2	Überprüfung des berechneten Druck-Durchsatz- und Leistungsverhalten mit experimentellen Untersuchungen.....	105
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>113</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>121</b>

<b>Anhang</b> .....	<b>129</b>
<b>A1 Experimentelle Überprüfung für das PP R338 02N</b> .....	<b>130</b>
<b>A2 Druck- und Temperaturmessung quer zum Kanal</b> .....	<b>132</b>
A2.1 Aufschmelzmodell .....	132
A2.2 Der optische Drucksensor .....	134
A2.3 Das Infrarotthermometer .....	136
A2.4 Material- und Maschinenparameter .....	138
A2.5 Bisherige Untersuchungen .....	139
A2.6 Druckprofile .....	140
A2.7 Temperaturprofile .....	142
<b>A3 Spezifische Daten</b> .....	<b>144</b>
A3.1 Messtechnik .....	144
A3.2 Extruder / Anlage .....	148
A3.3 Geometriedaten der Schnecke .....	150
A3.4 Aufbau der externen Temperiereinheit .....	153
<b>A4 Materialparameter</b> .....	<b>154</b>

