

# **Untersuchung und Beschreibung des dispersen Aufschmelzens in Gleichdrall-Doppelschneckenextrudern**

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

genehmigte  
DISSERTATION

von  
Dipl.-Ing. Anne Thümen geb. Müller  
aus Lippstadt

Tag des Kolloquiums: 17.07.2008  
Referent: Prof. Dr.-Ing. H. Potente  
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. V. Schöppner



Polymerforschung in Paderborn

Band 21

**Anne Thümen**

**Untersuchung und Beschreibung  
des dispersen Aufschmelzens in  
Gleichdrall-Doppelschneckenextrudern**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**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., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7675-1

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)

**Für Thorsten**



## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Kunststofftechnik KTP der Universität Paderborn in der Zeit von Februar 2003 bis September 2007.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Helmut Potente für seine Unterstützung und zahlreiche fachliche Anregungen. Für die Übernahme des Korreferates danke ich Prof. Dr.-Ing. Schöppner.

Allen Kollegen und ehemaligen Kollegen am Institut für Kunststofftechnik danke ich für vielfältige fachliche Diskussionen und die kollegiale Unterstützung. Darunter vor allem auch Herrn Dr.-Ing. Jens Pape. Ich bedanke mich bei meinen ehemaligen studentischen Hilfskräften, ganz besonders bei Ariane Huppert und Nils Böhm, die mir immer tatkräftig zur Seite gestanden haben. Und natürlich nicht zuletzt gilt mein Dank den Studien- und Diplomarbeitern.

Ohne die technische und personelle Unterstützung der KraussMaffei Berstorff GmbH und ohne die Bereitstellung von Materialien durch die BASF SE, die Heubach GmbH und Exxon Mobile Chemical wäre die vorliegende Arbeit nicht realisierbar gewesen. Ebenso unverzichtbar für das Gelingen war die Finanzierung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF).

Meinen Eltern danke ich für ihre immer währende Unterstützung; ohne sie hätte ich meine Ziele nicht umzusetzen vermocht.

Aber nicht zuletzt danke ich meinem Mann Thorsten für seine allgegenwärtigen und geduldigen, mentalen wie fachlichen Beistand.

Anne Thümen

Karlsruhe, November 2007





---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 PROBLEMSTELLUNG, ZIELSETZUNG UND LÖSUNGSWEG</b> .....	<b>6</b>
<b>3 GEOMETRIE DES DOPPELSCHNECKENEXTRUDERS</b> .....	<b>8</b>
<b>4 GRUNDLAGEN</b> .....	<b>13</b>
4.1 Allgemeine Erhaltungsgleichungen.....	13
4.2 Stoffgesetze .....	14
4.3 Ermittlung der Materialdaten .....	16
4.3.1 Einstoffsysteme.....	16
4.3.2 Zweistoffsysteme .....	18
4.4 Vereinfachung von Kinematik und Geometrie .....	21
4.5 Eindimensionale Prozesssimulation .....	22
<b>5 DRUCK-DURCHSATZBERECHNUNG</b> .....	<b>24</b>
<b>6 AUFSCHMELZBERECHNUNG</b> .....	<b>27</b>
6.1 Aufschmelzen von Einstoffsystemen .....	28
6.1.1 Berechnung des Feststoffanteils am Ort des ersten Aufschmelzens .....	30
6.1.2 Berechnung der Feststofftemperatur am Ende der Feststoffförderzone ...	33
6.1.3 Einfluss der endlichen Kanaldimension .....	34
6.1.4 Einfluss der Konvektion .....	37
6.1.5 Einfluss des Feststoffanteils auf den Gesamtprozess.....	43
6.1.6 Analytische Berechnung des dispersen Aufschmelzens.....	47
6.2 Aufschmelzen von Zweistoffsystemen.....	52
6.2.1 Feststoff- und Schmelzetemperatur am Ort des ersten Aufschmelzens ...	54
6.2.2 Ermittlung der Korrekturfaktoren .....	55
<b>7 SCHMELZETEMPERATURBERECHNUNG</b> .....	<b>58</b>
7.1 Nicht-adiabate Schmelzetemperaturberechnung .....	58
7.2 Berechnung der Temperatur an der Zylinderinnenwand.....	61
7.3 Adiabate Schmelzetemperaturberechnung .....	73
7.3.1 Vorgehensweise 1 .....	73
7.3.2 Vorgehensweise 2 .....	74

---

<b>8 LEISTUNGSBERECHNUNG .....</b>	<b>79</b>
<b>9 ÜBERPRÜFUNG DES MODIFIZIERTEN MODELLS .....</b>	<b>83</b>
9.1 Experimentelle Untersuchungen .....	83
9.1.1 Dead-Stop-Experimente .....	83
9.1.2 Online-Untersuchungen.....	88
9.1.3 Weitere experimentelle Untersuchungen.....	90
9.2 Vergleich von Versuch und Experiment.....	90
<b>10 COMPUTERGESTÜTZTE PROZESSSIMULATION.....</b>	<b>100</b>
10.1 Möglichkeiten und Grenzen eindimensionaler Prozesssimulationen.....	103
<b>11 FAZIT UND AUSBLICK.....</b>	<b>106</b>
<b>12 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>108</b>
<b>13 ABSTRACT .....</b>	<b>111</b>
<b>14 LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>113</b>
<b>15 SYMBOLVERZEICHNIS.....</b>	<b>120</b>
15.1 Lateinische Symbole.....	120
15.2 Griechische Symbole.....	127
<b>16 ANHANG .....</b>	<b>131</b>
16.1 Geometriedefinition.....	131
16.1.1 Theoretisch dichtkämmende Gewindeelementgeometrie .....	131
16.1.2 Reale Gewindeelementgeometrie .....	132
16.1.3 Knetblockgeometrie .....	134
16.2 Materialdaten .....	135
HDPE HMA 014.....	136
LLDPE Dowlex 5056G .....	137
PS 143E.....	138