

# **Struktur/Eigenschaftsbeziehungen in syndiotaktischem Polypropylen und Mischungen mit Polyethylen**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktor-Ingenieur  
vom Fachbereich Chemietechnik  
der Universität Dortmund  
genehmigte Dissertation

von  
Diplom-Ingenieur  
Martin Bonnet  
aus  
Essen / Nordrhein-Westfalen

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Oktober 1999

1. Gutachter: Prof. Dr. J. Petermann
2. Gutachter: Prof. Dr. G. Strobl

Dortmund, 1999



Berichte aus der Kunststofftechnik

**Martin Bonnet**

**Struktur/Eigenschaftsbeziehungen  
in syndiotaktischem Polypropylen  
und Mischungen mit Polyethylen**

D 290 (Diss. Universität Dortmund)

Shaker Verlag  
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Bonnet, Martin:*

Struktur/Eigenschaftsbeziehungen in syndiotaktischem Polypropylen  
und Mischungen mit Polyethylen / Martin Bonnet.

- Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 1999

(Berichte aus der Kunststofftechnik)

Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-6768-4

Copyright Shaker Verlag 1999

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

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6768-4

ISSN 1433-9978

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

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

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkstoffkunde des Fachbereichs Chemietechnik der Universität Dortmund.

Herrn Prof. Dr. Jürgen Petermann, Inhaber des Lehrstuhls für Werkstoffkunde, möchte ich für die Anregung zu der Arbeit und seine engagierte Unterstützung sehr herzlich danken. Herrn Prof. Dr. Gerd Strobl danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferates. Bei den Herren Prof. Dr. A. Behr und Prof. Dr. E. Weiß bedanke ich mich für die Mitwirkung im Prüfungsausschuß.

Danken möchte ich auch allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für das angenehme Arbeitsklima und die stete Hilfsbereitschaft. Den studentischen Hilfskräften, Studien- und Diplomarbeitern danke ich für die hilfreiche Unterstützung in der Durchführung und Auswertung der Ergebnisse, welche als Ausgangsbasis für die vorliegende Arbeit dienen.

Zu Dank verpflichtet bin ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung des Projektes, in dessen Rahmen diese Arbeit entstanden ist.

Schließlich gilt mein Dank meinen Eltern und Freunden für die Unterstützung. Besonders meiner Frau Heike danke ich sehr herzlich für das entgegengebrachte Verständnis und die liebevolle Unterstützung. Nicht zuletzt sorgte die Geburt meines Sohnes Jonathan in der Zeit des Abfassens dieser Arbeit für den rechten Ausgleich.

Martin Bonnet  
Dortmund, im Juni 1999

Das leichteste ist, was Gehalt und Gediegenheit hat, zu beurteilen,  
schwerer, es zu fassen, das schwerste, was beides vereinigt,  
seine Darstellung hervorzubringen.

*G. W. F. Hegel*  
*aus dem Vorwort zu „Vom wissenschaftlichen Erkennen“*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Aufbau teilkristalliner Thermoplaste	3
2.1.1	Molekulare Architektur	3
2.1.2	Übermolekulare Strukturen	4
2.1.3	Gefüge teilkristalliner Polymere	6
2.2	Verformungsverhalten teilkristalliner Polymere	7
2.3	Physikalische Einflußparameter	8
2.3.1	Gefüge	8
2.3.2	Kristallinität	8
2.3.3	Orientierung	9
2.3.4	Zusätze	10
2.4	Syndiotaktisches Polypropylen	11
2.4.1	Eigenschaften	11
2.4.2	Konformationen	11
2.4.3	Kristallstrukturen	12
<b>3</b>	<b>Experimentelle Methoden</b>	<b>15</b>
3.1	Beugungsmethoden	15
3.1.1	Röntgenographie	15
3.1.2	Elektronenbeugung	17
3.2	Mikroskopische Methoden	17
3.2.1	Lichtmikroskopie	18
3.2.2	Elektronenmikroskopie	18
3.3	Infrarotspektroskopie	19
3.4	Thermische Analysemethoden	19

3.4.1	Wärmeflußkalorimetrie	20
3.4.2	Temperaturmodulierte Wärmeflußkalorimetrie	21
3.5	Charakterisierung mechanischer Eigenschaften	23
3.5.1	Zugversuch	23
3.5.2	Dynamisch-Mechanische Analyse	24
3.6	Probenpräparation	26
3.6.1	Verwendete Materialien	26
3.6.2	Beigabe von Zusätzen	27
3.6.3	Orientieren	28
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>31</b>
	Einflußfaktoren für das mechanische Verhalten (4.1 - 4.4)	
4.1	Kristallstruktur, übermolekulare Struktur, Gefüge	32
4.1.1	Kristallisation aus der ruhenden Schmelze	32
4.1.2	Kaltverstreckt	33
4.1.3	Schmelzgesponnene sPP-Filme	35
4.1.4	Thermisch und mechanisch aktivierte Konformationstransformation	36
4.2	Kristallinität	40
4.3	Orientierung	44
4.4	Zusätze	46
4.4.1	Einfluß auf das Kristallisationsverhalten	46
4.4.2	Einfluß auf die Morphologie	52
4.4.3	Entmischungstendenzen	58
4.5	Mechanische Eigenschaften	60
4.5.1	Schmelzkristallisiertes sPP und Mischungen mit PE	60
4.5.2	Verstrecktes sPP	66
4.5.3	Schmelzgesponnenes sPP und schmelzgesponnene Mischungen mit PE	74
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>81</b>
5.1	Mögliche Strukturen in syndiotaktischem Polypropylen	81
5.2	Einfluß von Polyethylen auf das Kristallisationsverhalten von sPP	84
5.3	Mechanische Eigenschaften und Struktur/Eigenschafts-Beziehungen	85
5.3.1	Mechanische Eigenschaften und Struktur/Eigenschafts-Beziehungen in syndiotaktischem Polypropylen	85
5.3.2	Einfluß von Polyethylen auf die mechanischen Eigenschaften von syndiotaktischem Polypropylen	91
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>95</b>
6.1	Zusammenfassung	95
6.2	Ausblick	97
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>99</b>