

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Motivation .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Verstrecken von Polypropylen.....</b>	<b>3</b>
2.1	Isotaktisches Polypropylen – Struktur und Morphologie .....	3
2.1.1	Molekulare Strukturen von Polypropylen.....	3
2.1.2	Kristallmodifikationen .....	3
2.1.3	Morphologische Strukturen.....	6
2.2	Deformationsverhalten bei einachsiger Dehnung.....	8
2.3	Biaxiales Verstrecken von Polypropylen bei der Folienherstellung.....	14
2.4	Mechanische Eigenschaften verstreckter Polypropylenfolien.....	18
<b>3</b>	<b>Messverfahren für die uni- und biaxiale Deformation .....</b>	<b>25</b>
3.1	Uniaxiale Dehnapparatur .....	25
3.1.1	Mechanischer Aufbau und Funktionsprinzip.....	25
3.1.2	Temperiereinheit .....	26
3.1.3	Sensorik.....	27
3.1.4	Realisierte Versuchsarten.....	31
3.1.5	Verwendete Probekörper.....	34
3.1.6	Messbereich und Fehlerbetrachtung .....	37
3.1.7	Homogenität der Verstreckung .....	39
3.2	Biaxialer Streckrahmen.....	42
3.2.1	Aufbau und Funktionsprinzip .....	42
3.2.2	Temperaturhomogenität .....	43
3.2.3	Sensorik.....	47
3.2.4	Realisierte Versuchsarten.....	50
3.2.5	Verwendete Probekörper.....	51
3.2.6	Messbereich und Fehlerbetrachtung .....	52
3.2.7	Homogenität der Verstreckung .....	53

<b>4</b>	<b>Charakterisierung der untersuchten Polypropylene.....</b>	<b>57</b>
4.1	Molekulare Charakterisierung .....	57
4.1.1	Isotaktizität.....	57
4.1.2	Molmasse und Molmassenverteilung.....	59
4.2	Rheologische Charakterisierung .....	60
4.2.1	Schmelzindex (MVI).....	61
4.2.2	Strangaufweitung .....	61
4.2.3	Dehnviskosität.....	62
4.3	Diskussion.....	64
<b>5</b>	<b>Herstellung und Charakterisierung von Castfilmen .....</b>	<b>67</b>
5.1	Herstellung von Castfilmen mit unterschiedlichen Morphologien.....	67
5.1.1	Castfilmextrusion .....	67
5.1.2	Variation der Abkühlbedingungen.....	68
5.1.3	Tempern von Castfilmen.....	68
5.2	Methoden der Morphologiecharakterisierung .....	68
5.2.1	Differential Scanning Calorimetry (DSC) .....	68
5.2.2	Röntgenweitwinkelstreuung (WAXS).....	69
5.3	Morphologien molekular ähnlicher Polypropylene .....	70
5.3.1	Kristallinitätsgrad und Kristallmodifikationen .....	71
5.3.2	Restkristallinität .....	73
5.3.3	Lamellenstruktur .....	74
5.3.4	Diskussion.....	75
5.4	Morphologie molekular unterschiedlicher Polypropylene .....	77
5.4.1	Homopolymere.....	78
5.4.2	Copolymer.....	79
5.4.3	Metallocen-Polymer.....	80
5.5	Modifizierungen eines handelsüblichen Polypropylens .....	81
5.5.1	Nukleierungsmittel.....	81
5.5.2	Langkettenverzeigtes Polypropylen.....	82
5.5.3	Diskussion.....	82
<b>6</b>	<b>Uniaxiales Deformationsverhalten teilaufgeschmolzener Proben.....</b>	<b>84</b>
6.1	Einfluss von Verstreckparametern.....	84
6.1.1	Aufheizzeit .....	84

6.1.2	Verstrecktemperatur .....	85
6.1.3	Verstreckgeschwindigkeit .....	86
6.1.4	Geschwindigkeitsprofil .....	87
6.1.5	Diskussion und Folgerungen .....	89
6.2	Einfluss der Castfilmmorphologie .....	94
6.2.1	Kristallinitätsgrad und Kristallitgröße .....	95
6.2.2	Kristallitgröße .....	98
6.2.3	Kristallinität und Homogenität der Deformation .....	99
6.2.4	Diskussion und Folgerungen .....	102
6.3	Molekulare Parameter und Deformationsverhalten .....	106
6.3.1	Isotaktizität .....	107
6.3.2	Molmasse und Molmassenverteilung .....	108
6.3.3	Langkettenverzweigungen .....	109
6.3.4	Konstitution .....	111
6.3.5	Diskussion und Folgerung .....	111
<b>7</b>	<b>Relaxationsverhalten teilaufgeschmolzener Proben .....</b>	<b>115</b>
7.1	Durchführung des Relaxationsversuchs .....	115
7.2	Einfluss von Verstreckbedingungen auf das Relaxationsverhalten .....	117
7.2.1	Verstrecktemperatur .....	117
7.2.2	Verstreckverhältnis .....	118
7.2.3	Verstreckgeschwindigkeit .....	119
7.3	Einfluss der Castfilmmorphologie .....	120
7.4	Einfluss von molekularen Parametern .....	121
7.5	Diskussion und Folgerungen .....	123
<b>8</b>	<b>Biaxiales Deformationsverhalten teilaufgeschmolzener Proben .....</b>	<b>127</b>
8.1	Einfluss von Verstreckparametern .....	127
8.1.1	Aufheizzeit .....	127
8.1.2	Verstrecktemperatur .....	128
8.1.3	Verstreckgeschwindigkeit .....	129
8.1.4	Reckverhältnis .....	130
8.1.5	Geschwindigkeitsprofil .....	131
8.1.6	Reckmodus .....	132
8.1.7	Diskussion und Folgerungen .....	133

8.2	Einfluss der Castfilmmorphologie .....	137
8.2.1	Extrusionsbedingungen .....	137
8.2.2	Nukleierungsmittel .....	138
8.2.3	Diskussion und Folgerungen .....	139
8.3	Restkristallinität und wahre Spannungen .....	140
8.3.1	Restkristallinität .....	140
8.3.2	Wahre Spannungen .....	142
8.3.3	Diskussion und Folgerungen .....	144
<b>9</b>	<b>Uni- und biaxiales Deformationsverhalten im Vergleich .....</b>	<b>147</b>
9.1	Apparativ bedingte Einflussgrößen .....	147
9.1.1	Verstreckapparatur .....	147
9.1.2	Probengeometrie .....	148
9.1.3	Diskussion und Folgerungen .....	149
9.2	Uniaxiales, planares und simultanes äquibiaxiales Deformationsverhalten .....	151
9.3	Verstreckparameter .....	153
9.3.1	Verstrecktemperatur .....	153
9.3.2	Verstreckgeschwindigkeit .....	154
9.3.3	Aufheizzeit .....	154
9.3.4	Folgerungen .....	155
9.4	Materialvergleich .....	155
<b>10</b>	<b>Mechanische Eigenschaften äquibiaxial ver Streckter Polypropylene .....</b>	<b>160</b>
10.1	Verstreckparameter und mechanische Folieneigenschaften .....	160
10.1.1	Reckverhältnis .....	160
10.1.2	Recktemperatur .....	162
10.1.3	Reckgeschwindigkeit .....	164
10.1.4	Vergleich der Reckmodi „simultan“ und „sequentiell“ .....	165
10.2	Einfluss der Castfilmmorphologie .....	167
10.3	Einfluss der molekularen Struktur .....	169
10.4	Diskussion und Folgerungen .....	170
<b>11</b>	<b>Folgerungen .....</b>	<b>178</b>
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>185</b>

<b>Anhang .....</b>	<b>188</b>
<b>A Ergänzende Untersuchungen .....</b>	<b>188</b>
A.1 Uniaxiale Dehnapparatur .....	188
A.1.1 Abhängigkeit des detektierten Materialverhaltens von der Grenzfrequenz des verwendeten Tiefpassfilters bei der Messwerterfassung .....	188
A.1.2 Einfluss einer Probenvorspannung auf das Deformationsverhalten .....	189
A.2 Biaxiale Verstreckapparatur.....	190
A.2.1 Temperaturhomogenität .....	190
A.2.2 Uniaxiales Deformationsverhalten in MD- und TD-Richtung.....	191
A.2.3 Vororientierung des Castfilms .....	192
A.2.4 Einfluss der Verstrecktemperatur auf die Abweichungen des Deformationsverhaltens in MD- und TD-Richtung .....	193
A.2.5 Einfluss der Verstrecktemperatur auf die Reproduzierbarkeit .....	194
A.3 Einfluss der Aufheizzeit auf das Deformationsverhalten.....	195
A.4 DSC-Untersuchungen an Castfilmen und verstreckten Folien .....	196
<b>B Symbole und Abkürzungen .....</b>	<b>198</b>
<b>C Literaturverzeichnis.....</b>	<b>201</b>