

## INHALT

<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 STAND DER TECHNIK.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Hinterspritzverfahren und deren Abgrenzung.....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Eigenschaften und Aufbau der Formteile .....	5
2.1.2 Foliendekorierung im Siebdruckverfahren und Dekormaterialien .....	7
2.1.3 Werkzeugtechnik und Angussysteme.....	8
<b>2.2 Fehlerbilder beim Folienhinterspritzen (In-Mould-Labeling Technik) .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Formteilverzug .....	10
2.2.2 Dekor- und Folienschädigung (Auswaschung, Wash-Out) .....	15
2.2.3 Verbundfestigkeit zwischen Dekor- und Substratmaterialien.....	18
<b>2.3 Effekte beim Spritzgießen und Folienhinterspritzen .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Formteillöschung und Wandschubspannungseffekte im Schmelzkanal.....	23
2.3.2 Bildung einer erstarnten Randschicht während des Spritzgießens .....	30
2.3.3 Entstehung von Molekülorientierungen.....	32
2.3.4 Schwindungsphänomene beim Spritzgießen.....	34
2.3.5 Thermische Effekte und Temperaturprofil beim Folienhinterspritzen .....	39
2.3.6 Verformungsverhalten der Kunststofffolie .....	44
<b>2.4 Zusammenfassung und Defizite vom derzeitigen Stand der Technik.....</b>	<b>47</b>
<b>3 ZIELSETZUNG.....</b>	<b>51</b>
<b>4 METHODISCHES VORGEHEN UND VERSUCHSAUFBAU.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Ermittlung der Haupteinflussfaktoren auf den IML-Prozess... 53</b>	
<b>4.2 Versuchsaufbau Folienhinterspritzen.....</b>	<b>56</b>
4.2.1 Eingesetzte Substratmaterialien, Folien und Dekormaterialien .....	56
4.2.2 Spritzgießwerkzeuge und Probengeometrie.....	61
4.2.3 Eingesetzte Spritzgießmaschinen und Peripherietechnik.....	63

<b>4.3 Versuchsdurchführung und Planung .....</b>	<b>65</b>
4.3.1 Untersuchung der Dekor- und Folienschädigung.....	65
4.3.2 Untersuchung der Verbundfestigkeit.....	68
4.3.3 Untersuchung zum Formteilverzug .....	69
<b>4.4 Analysemethoden.....</b>	<b>70</b>
4.4.1 Messung der Verbundfestigkeit.....	70
4.4.2 Messung der Auswaschung .....	72
4.4.3 Messung des Formteilverzugs .....	73
4.4.4 Messung der Orientierung .....	75
4.4.5 Dynamisch-mechanische Analyse (DMA).....	77
4.4.6 Plastographie und Mikroskopie .....	77
<b>4.5 IML - Spritzgusssimulation mithilfe einer 3D-CAE Simulation.....</b>	<b>78</b>
<b>5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION .....</b>	<b>83</b>
<b>5.1 Analyse des Folienhinterspritzverfahrens.....</b>	<b>83</b>
5.1.1 Entwicklung einer Modellvorstellung .....	83
5.1.2 Analytische Betrachtung der Folienerwärmung .....	86
5.1.3 Analytische Betrachtung der Wandschubspannung .....	92
<b>5.2 Untersuchung der Dekor und Folienschädigung in Angussnähe.....</b>	<b>95</b>
5.2.1 Ausbildung der Dekor- und Folienschädigung während der Formteilverfüllung.....	95
5.2.2 Thermischer Einfluss auf die Dekor- und Folienschädigung .....	102
5.2.3 Einfluss der Wandschubspannung und der Füllzeit auf die Auswaschung.....	105
5.2.4 Korrelation von Auswaschungen mit numerisch berechneten Wandschubspannungen und Temperaturen in der Grenzfläche .....	111
5.2.5 Untersuchung am seriennahen Plattenwerkzeug mit Nadelverschlussdüse.....	116
5.2.6 Dekor- und Folienschädigung bei PP-Verbunden und Vergleich mit PC .....	120

5.2.7 Zusammenfassen der Erkenntnisse und Ableiten einer Modellvorstellung .....	126
<b>5.3 Verbundfestigkeit zwischen Substrat und Dekor .....</b>	<b>132</b>
5.3.1 Haupteinflussfaktoren auf Verbundfestigkeit unbedruckter Folien.....	133
5.3.2 Untersuchung der Verbundfestigkeit von dekorierten Folien in Abhängigkeit der Wanddicke sowie der Schmelze- und der Werkzeugwandtemperatur .....	135
5.3.3 Untersuchung am seriennahen Plattenwerkzeug mit Nadelverschlussdüse .....	138
5.3.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse und Validierung der bestehenden Modelle.....	141
<b>5.4 Untersuchung des Formteilverzugs.....</b>	<b>143</b>
5.4.1 Betrachtung der Spritzgießinduzierten Orientierungen .....	144
5.4.2 Einfluss des Einspritzvolumenstromes und der Schmelztemperatur auf den Verzug .....	147
5.4.3 Einfluss des Nachdruckes auf den Formteilverzug .....	150
5.4.4 Einfluss der Werkzeugwandtemperatur auf den Formteilverzug.....	151
5.4.5 Einfluss der Dekormaterialien und des Druckes .....	153
5.4.6 Einfluss einer nachträglichen Wärmelagerung auf das Verzugsverhalten.....	155
5.4.7 Zusammenfassen der Erkenntnisse und Validierung der bestehenden Modelle .....	157
<b>5.5 Zusammenhänge der Einflussfaktoren und Maßnahmen zur Prozessoptimierung.....</b>	<b>160</b>
5.5.1 Einfluss der Prozessparameter, Formteilgeometrie und Materialien .....	161
5.5.2 Modellvorstellung .....	164
5.5.3 Maßnahmen zur Prozessoptimierung.....	165
<b>6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>169</b>
<b>SYMBOLLISTE .....</b>	<b>173</b>
<b>Lateinische Symbole .....</b>	<b>173</b>
<b>Griechische Symbole.....</b>	<b>177</b>
<b>Abkürzungen .....</b>	<b>178</b>

<b>Indizes .....</b>	<b>179</b>
<b>ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>181</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>181</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>190</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>193</b>