

1	EINLEITUNG.....	1
2	STAND DER TECHNIK	4
2.1	Mikrostrukturen und ihr Anwendungspotenzial	4
2.1.1	Funktionale Oberflächen mit strömungstechnischen Eigenschaften.....	4
2.1.1.1	Physikalischer Wirkmechanismus	5
2.1.1.2	Industrielle Umsetzung und bestehende Produkte.....	6
2.1.2	Funktionale Oberflächen mit adhäsiven Eigenschaften	7
2.1.2.1	Physikalischer Wirkmechanismus	8
2.1.2.2	Industrielle Umsetzung und bestehende Produkte.....	10
2.1.3	Funktionale Oberflächen mit wasserabweisenden Eigenschaften	11
2.1.3.1	Physikalische Grundlagen	12
2.1.3.2	Benetzung strukturierter hydrophober Oberflächen	15
2.1.4	Historie und industrielle Umsetzung wasserabweisender Oberflächen	17
2.2	Verfahrens- und Prozesstechnik zur Herstellung mikrostrukturierter Formteile.....	20
2.2.1	Verfahren zur dynamischen Werkzeugtemperierung	23
2.3	Zusammenfassung und Zielsetzung.....	27
3	ENTWICKLUNG EINES SYSTEMS ZUR EXTERNEN INDUKTIVEN ERWÄRMUNG	30
3.1	Anforderungen an ein System.....	31
3.2	Konstruktive Umsetzung.....	32
3.2.1	Roboter	33
3.2.1.1	Achsen und Ver Fahrwege	33
3.2.1.2	Roboter-Programmierung	34
3.2.2	Induktionssystem	36
3.3	Das Roboter-Induktor System	37
3.4	Integration des Systems zur induktiven Erwärmung in die Steuerung der Spritzgießmaschine	38
3.4.1	Mechanisch / konstruktive Schnittstelle.....	38
3.4.2	Leistungssteuerung	39
3.4.3	Schnittstelle Roboter – Spritzgießmaschine	39
3.4.4	Kabelführung der Induktorkabel.....	40
3.5	Untersuchungen zur Prozessführung und Steuerung der Induktorleistung	41
3.5.1	Verfahrgenauigkeit	41

3.5.2	Einkoppelbare Leistung	41
3.6	Modellierung der Erwärmungsphase.....	42
3.7	Funktionsevaluierung im Spritzgießzyklus	44
3.7.1	Spritzgießwerkzeug und Sensoren zur Evaluierung des externen Induktionssystems....	44
3.7.2	Messdatenerfassung	47
3.7.3	Eingesetztes Material und Materialtrocknung.....	47
3.7.4	Erste Vorversuche zu Prozessführung und Prozessfenster.....	48
3.7.5	Versuchsplan für die Vorversuche.....	49
3.7.6	Prozessanalyse.....	50
3.7.6.1	Druck- und Temperaturkurven.....	51
3.7.7	Beurteilung des Erwärmungsmodells	53
3.7.8	Beurteilung der Formteilqualität.....	54
3.8	Integration eines Strahlungsthermometers in die Anlage.....	56
3.9	Simulation der Regelstrecke.....	59
3.10	Thermische Homogenität der Induktionsheizung	64
3.11	Zwischenfazit.....	67
4	VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG	68
4.1	Anlagentechnik und Systemkomponenten	68
4.2	Spritzgießwerkzeug	68
4.3	Mikrostrukturierter Konturkern.....	69
4.4	Auswahl der Kunststoffe für die Abformungen.....	72
4.5	Messtechnik zur qualitativen Charakterisierung von Mikrostrukturen	73
4.5.1	Lichtmikroskop.....	73
4.5.2	Rasterelektronenmikroskop	74
4.6	Messtechnik zur quantitativen Charakterisierung von Mikrostrukturen.....	74
4.6.1	Kontaktwinkelmessung	75
5	VERGLEICHENDE SPRITZGIEßVERSUCHE MIT VARIOTHERMER TEMPERIERUNG	77
5.1	Verfahrensvarianten im Spritzgießprozess zur Abformung des in Kapitel 4.3 vorgestellten mikrostrukturierten Formeinsatzes	77
5.1.1	Spritzgießen (konventionell)	77
5.1.2	Spritzgießen mit Induktionsheizung (variotherm)	78
5.2	Ermittlung eines Prozessfensters für das Spritzgießen	78

5.3	Analyse der Kontaktwinkel bei Verarbeitung von PP 513MNK40 (PP).....	80
5.4	Analyse der Kontaktwinkel bei Verarbeitung von LLDPE M500026 (PE).....	85
5.5	Diskussion der Ergebnisse der Kontaktwinkelmessung.....	90
5.6	Auswertung der Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahmen.....	91
5.7	Zusammenfassung der Untersuchungen	100
6	ANALYSE UND BESCHREIBUNG DER OBERFLÄCHENENTSTEHUNG.....	102
6.1	Schematische Darstellung des Abformungsvorganges	102
6.1.1	Vereinfachte Darstellung der Mikrostruktur	102
6.1.2	Abformung bei konventioneller Prozessführung.....	103
6.1.3	Abformung bei variothermer Prozessführung.....	104
6.1.4	Querkontraktion	106
6.2	Tempern der Versuchsteile zur Verifizierung der Verstreckungshypothese.....	106
6.2.1	Untersuchung des Materials PP 513MNK40	106
6.2.2	Untersuchung des Materials LLDPE M500026 auf Verstreckung.....	109
6.3	Variation der globalen Werkzeugtemperatur	110
7	FAZIT UND AUSBLICK.....	112
8	ZUSAMMENFASSUNG UND SUMMARY.....	119
8.1	Zusammenfassung	119
8.2	Summary	121
9	ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN, INDIZEN.....	123
9.1	Abkürzungen	123
9.2	Formelzeichen	124
10	LITERATUR.....	126
11	ANHANG	131
11.1	Roboter-Programm	131
11.2	Aufbau der Leistungssteuerung aus Kapitel 3.4.2	132
11.3	Erweiterte Temperaturprofile aus Kapitel 3.7.6.1.1	133
11.4	Darstellung des Simulink-Modells aus Kapitel 3.9	135
11.5	Maschineneinstellung der Spritzgießversuche in Kapitel 5 für das Material PP 513MNK40	136
11.6	Maschineneinstellung der Spritzgießversuche in Kapitel 5 für das Material LLDPE M500026	139

11.7	Ergebnisse der Effektanalyse für das Material PP 513MNK40 zu Abschnitt 5.3	142
11.8	Ergebnisse der Effektanalyse für das Material LLDPE M500026 zu Abschnitt 5.4 ...	144
11.9	Datenblatt Sabic PP 513MNK40	146
11.10	Datenblatt Sabic LLDPE M500026	147
11.11	Planmatrix des statistischen Versuchsplans aus Kapitel 5	148