
Inhaltsverzeichnis

Table of contents

Kurzdarstellung	V
Formelzeichen und Abkürzungen	VII
1 Einleitung und Motivation	1
2 Stand der Technik in Forschung und Industrie	5
2.1 Werkstoff Glas	5
2.1.1 Struktur des Glases	5
2.1.2 Rheologie des Glases	7
2.1.3 Weitere umformungsrelevante Eigenschaften von Glas	13
2.2 Prozesse der Glasoptikreplikation	16
2.3 Modellierung und Simulation nicht-isothermer Warmumformprozesse	21
2.4 Gestaltabweichungen bei warmumgeformten Gläsern	25
2.4.1 Formabweichung	26
2.4.2 Welligkeit	28
2.4.3 Rauheit	30
2.5 Zwischenfazit	31
3 Zielsetzung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise	33
4 Systembeschreibung und -analyse	35
4.1 Prozessbeschreibung und Systemabgrenzung	35
4.2 Beschreibung der Systemkomponenten	37
4.2.1 Umformmaschine	37
4.2.2 Heiztopf	38
4.2.3 Formwerkzeuge	39
4.2.4 Glasrohling	42
4.3 Messtechnik	43
5 Entwicklung eines empirischen Modells	49
5.1 Auswahl von Modelleingangsgrößen	49
5.2 Auswahl von Modellergebnisgrößen	51
5.3 Ableitung eines empirischen Modellansatzes	52
5.4 Versuchsplanung und -durchführung	53
5.5 Versuchsauswertung	55

5.5.1	Einflüsse der Modellfaktoren auf die Formabweichung.....	56
5.5.2	Einflüsse der Modellfaktoren auf die Welligkeit.....	63
5.5.3	Einflüsse der Modellfaktoren auf die Rauheit	69
5.6	Zwischenfazit	75
6	Aufbau und Validierung eines numerischen Modells.....	77
6.1	Problembeschreibung.....	77
6.2	Systembeschreibung und Abstraktion	78
6.3	Mathematische Beschreibung	81
6.3.1	Mechanisches Verhalten.....	82
6.3.2	Thermisches Verhalten	83
6.4	Bestimmung relevanter Eingangsgrößen.....	85
6.5	Validierung des Modells.....	90
6.6	Zwischenfazit	95
7	Modellbasierte Ursachenanalyse.....	97
7.1	Analyse der Formabweichungen	97
7.1.1	Analyse der Entstehungsursachen.....	97
7.1.2	Einfluss der Modellfaktoren	102
7.1.3	Einfluss weiterer Größen	105
7.2	Analyse der Welligkeit	108
7.2.1	Analyse der Entstehungsursachen.....	108
7.2.2	Einfluss der Modellfaktoren	110
7.2.3	Einfluss weiterer Größen	116
7.3	Analyse der Rauheit.....	118
7.3.1	Analyse der Entstehungsursachen.....	118
7.3.2	Einfluss der Modellfaktoren	122
7.4	Zwischenfazit	126
8	Zusammenfassung und Ausblick	127
	Literaturverzeichnis.....	133
	Abbildungsverzeichnis.....	A
	Tabellenverzeichnis.....	F
	Anhang	G

A	Formelanhang.....	G
B	Bilderanhang.....	H
C	Tabellenanhang	N