

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung und Technik	3
2.1	Direktverschraubung von Kunststoffen.....	3
2.1.1	Schraubeneigenschaften für die Kunststoffdirektverschraubung.....	4
2.1.2	Momentenverlauf beim Einschraubvorgang.....	8
2.1.3	Vorspannkraftrelaxation.....	9
2.1.4	Bewertung des Kenntnisstandes.....	11
2.2	Kunststoffnietverbindungen.....	12
2.2.1	Nietverbindungen mit integriertem Verbindungselement.....	13
2.2.2	Nietverbindungen mit separatem Verbindungselement.....	14
2.3	Verformungsverhalten von Kunststoffen.....	18
2.3.1	Modelle zur Beschreibung des Materialverhaltens.....	20
2.3.2	Einfluss von Einsatzbedingungen auf das Verformungsverhalten.....	22
3	Aufgabenstellung	25
3.1	Motivation.....	25
3.2	Zielsetzung.....	26
3.3	Realisierung und Funktionsweise.....	27
4	Voruntersuchungen zur Verbindungsauslegung	29
4.1	Geometrievariation mittels FEM-Simulation.....	30
4.2	Abgleich der Simulationsergebnisse.....	32
4.3	Geometrievariation zur Veränderung des Umformprozesses.....	32
5	Untersuchte Werkstoffe und Verbindungselemente	37
5.1	Werkstoffe.....	37
5.2	Untersuchte Probekörpergeometrie.....	40
5.3	Gewindeformende Schrauben.....	42
5.3.1	Ejot - Delta PT.....	42
5.3.2	Ejot - Delta PT modifiziert.....	43
5.3.3	Arnold Umformtechnik - Remform.....	43
5.3.4	Arnold Umformtechnik - Remform® F.....	44
6	Prüfstand und Messtechnik	45
6.1	Verschraubungsprüfstand.....	45
6.1.1	Ablauf der Verschraubung.....	45
6.2	Quasistatische Auszugsfestigkeit.....	48
6.3	Vorspannkraftrelaxation.....	49
6.4	Dichtigkeitsuntersuchungen.....	50
6.5	Mikroskopische Untersuchungen.....	51
7	Analyse der quasistatischen Auszugsfestigkeit	53
7.1	Einfluss der Verschraubungsparameter.....	53
7.1.1	Untersuchungen zur äußeren Kerbe am Werkstoff PA 6.....	53
7.1.2	Untersuchungen zur inneren Kerbe am Werkstoff PA 6.....	55

7.1.3	Untersuchungen zur äußeren Kerbe am Werkstoff PC/ABS	57
7.1.4	Untersuchungen zur inneren Kerbe am Werkstoff PC/ABS	59
7.1.5	Untersuchungen zur äußeren Kerbe am Werkstoff PP	61
7.1.6	Bewertung der Ergebnisse	63
7.2	Einfluss geometrischer Größen	65
7.2.1	Einschraublänge	66
7.2.2	Schraubengeometrie	68
7.2.3	Probekörpergeometrien	69
7.2.4	Bewertung der Ergebnisse	74
7.3	Einfluss der Temperatur	76
7.3.1	Untersuchungen zum Werkstoff Polyamid	76
7.3.2	Untersuchungen zum Werkstoff Polypropylen	80
7.3.3	Bewertung der Ergebnisse	81
7.4	Einordnung der erreichten Auszugsfestigkeiten	82
8	Analyse der Vorspannkraftrelaxation	85
8.1	Einfluss der Verschraubungsparameter	85
8.1.1	Untersuchungen zur äußeren Kerbe am Werkstoff PA 6	86
8.1.2	Untersuchungen zur inneren Kerbe am Werkstoff PA 6	86
8.1.3	Untersuchungen zum Werkstoff PC/ABS	87
8.1.4	Untersuchungen zur äußeren Kerbe am Werkstoff PP	89
8.1.5	Bewertung der Ergebnisse	89
8.2	Einschraublänge	91
8.3	Unterschiedliche Schraubengeometrien	93
8.4	Untersuchungen zum Einfluss der Temperatur	95
8.4.1	Vorspannkraftrelaxation im Temperaturwechselfersuch	96
8.4.2	Bewertung der Ergebnisse	97
9	Analyse der Dichtigkeit der Verbindung	99
9.1	Einfluss der Verschraubungsparameter	99
9.2	Einschraublänge	101
9.3	Unterschiedliche Schraubengeometrien	102
9.4	Bewertung der Ergebnisse	104
10	Modellierung der Auszugskraft	107
10.1	Grundlagen der Dimensionsanalyse	107
10.2	Aufstellen der Relevanzliste	108
10.2.1	Relevanzliste des Schraubblindnietprozesses	109
10.3	Modellbildung mittels dimensionsloser Kennzahlen	113
10.4	Validierung des Modells	118
10.5	Bewertung des Modells	120
11	Zusammenfassung	121
	Literaturverzeichnis	123
	Anhang	133
	Symbolverzeichnis	157