

1	Einleitung	1
2	Stand der Erkenntnisse	2
2.1	Leichtbau in der Automobilindustrie	2
2.1.1	Evolution der automobilen Fahrzeugkonzepte	2
2.1.2	Spaceframe-Bauweise	4
2.1.3	Multi-Material-Design	5
2.1.4	Anforderungen an innovative Fügeverfahren	5
2.2	Qualitätsprüfung in der mechanischen Fügeverfahren	7
2.2.1	Prozessüberwachung in der mechanischen Fügeverfahren.....	8
2.2.2	Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung in der Fügeverfahren	9
2.2.3	Zerstörende Qualitätsprüfung in der mechanischen Fügeverfahren	10
2.3	Grundlagen des Bolzensetzens	11
2.3.1	Einordnung des Bolzensetzens in der mechanischen Fügeverfahren.....	12
2.3.2	Grundlagen des Fügeprozesses beim Bolzensetzen.....	14
2.3.3	Qualitätskriterien von Bolzensetzverbindungen	18
2.3.4	Aktueller Stand der Qualitätsprüfung beim Bolzensetzen.....	20
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	23
4	Versuchswerkstoffe, Probengeometrien und Einrichtungen	25
4.1	Versuchswerkstoffe	25
4.1.1	Mikrolegierter Stahlwerkstoff HC340LA (EN 10268 - 1.0548).....	25
4.1.2	Aluminium-Knetlegierung AC 300 (EN AW-6014).....	26
4.1.3	Aluminium-Druckgusslegierung Aural-2® (EN AC-43500-D-T7).....	27
4.2	Hilfswerkstoffe	27
4.2.1	RIVTAC® Setzbolzen	27
4.2.2	BETAMATE™ 1620 Klebstoff	29
4.3	Probengeometrien	29
4.3.1	Kopfzugproben.....	29
4.3.2	Einpunktprobe	30
4.4	Fertigungs- und Prüfeinrichtungen	31
4.4.1	Anlagentechnik zum Bolzensetzen.....	31
4.4.2	Prüfanlagen zur quasistatischen Lastermittlung.....	33
4.4.3	Drehmomentprüfstand	34
4.4.4	Bolzenschweißgerät.....	35
5	Qualifizierung der Prozessüberwachung beim Bolzensetzen	36
5.1	Analyse der ablaufenden Prozesse beim Fügevorgang	36
5.1.1	Versuchsdurchführung.....	36
5.1.2	Ergebnisse zur Analyse der Prozesse beim Bolzensetzen.....	37
5.2	Detektion von n.i.O. - Fügeverbindungen unter produktionsstypischen Störgrößen	45
5.2.1	Streuung der PÜ-Kurven unter Produktionsbedingungen	45
5.2.2	Versuchsdurchführung.....	46

5.2.3	Ergebnisse der Störgrößenuntersuchungen und Bewertung unter produktionstypischer Streuung	47
5.3	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur Prozessüberwachung	50
6	Zerstörungsfreie Prüfung der Tragfähigkeit von Bolzensetzverbindungen	51
6.1	Korrelation des (Durch-)Drehmoments von Setzbolzen zur Ausdrückkraft...	51
6.1.1	Voruntersuchungen.....	51
6.1.2	Ergebnisse des max. Drehmoments in Korrelation zur max. Ausdrückkraft.....	55
6.2	Korrelation der Kopfposition zur Tragfähigkeit.....	59
6.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung	59
6.2.2	Ergebnisse der Materialkombination AC300 (3 mm) - AC300 (3 mm).....	61
6.2.3	Ergebnisse der Materialkombination HC340LA (1,75 mm) – AC300 (3 mm).....	63
6.2.4	Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse	65
6.3	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur zerstörungsfreien Prüfung der Tragfähigkeit von Bolzensetzverbindungen	66
7	Korrelation von geometrischen Merkmalen im Schlibbild zur Tragfähigkeit von Bolzensetzverbindungen	67
7.1	Versuchsdurchführung.....	67
7.2	Untersuchte Merkmale.....	67
7.3	Voruntersuchungen	69
7.4	Stahlkombination HC340LA (1,75 mm) - HC340LA (1,75 mm).....	69
7.5	Mischverbindung HC340LA (1,75 mm) - Aural-2® (3 mm)	72
7.6	Aluminiumkombination AC300 (3 mm) - Aural-2® (3 mm).....	76
7.7	Zusammenfassende Bewertung der Schlibbildanalysen	80
8	Quasistatische Ausdrückprüfung - zerstörende Prüfmethode zur Ermittlung der Tragfähigkeit.....	82
8.1	Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung der quasistatischen Ausdrückkraft in verschiedenen Bauteillagen.....	82
8.1.1	Ausdrücken aus dem gesamten Bauteilverbund.....	82
8.1.2	Ausdrücken aus dem Basismaterial	82
8.1.3	Ausdrücken aus dem Deckblech	85
8.1.4	Ergebnisse der Ausdrückprüfung aus verschiedenen Bauteillagen für die Materialkombinationen HC340LA (1,75 mm) - HC340LA (1,75 mm), HC340LA (1,75 mm) - Aural-2® (3 mm) und AC300 (3 mm) - Aural-2® (3 mm).....	86
8.2	Analyse der Einflüsse von Störgrößen auf die Basismaterial-Ausdrückprüfung.....	93
8.2.1	Grundlagen der statistischen Versuchsplanung.....	94
8.2.2	Festlegung der Randbedingungen für die Identifizierung möglicher Störgrößen auf die Ausdrückprüfung	96
8.2.3	Durchführung der Störgrößenversuche zur Ausdrückprüfung	98
8.2.4	Messsystemanalyse (MSA)	99
8.2.5	Statistische Auswertung des untersuchten Modells für i.O.-Verbindungen	100
8.2.6	Auswertung der Ergebnisse für i.O.-Verbindungen.....	101

8.2.7	Erklärung der Effekte	106
8.2.8	Auswertung der Ergebnisse für Durchschlag-Verbindungen	108
8.3	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur Ausdrückprüfung ..	110
9	Quasistatische Auszugprüfung - zerstörende Prüfmethode zur Ermittlung der Tragfähigkeit	111
9.1	Entwicklung der Methodik für die Auszugprüfung.....	111
9.1.1	Fügen eines Schweißbolzens auf den Setzbolzenkopf.....	111
9.1.2	Entwicklung des Auszugwerkzeuges & Versuchsdurchführung	113
9.2	Ergebnisse der Basismaterial-Auszugprüfung	114
9.3	Störgrößenuntersuchungen zur Basismaterial-Auszugprüfung	117
9.3.1	Einfluss des Schweißprozesses auf die Verbindungstragfähigkeit der Setzbolzenverbindung.....	118
9.3.2	Einfluss verschiedener Störgrößen beim Prüfprozess auf die Auszugkraft.....	119
9.4	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur Auszugprüfung und Vergleich zur Ausdrückprüfung.....	123
10	Dreiblechverbindung AC300 (3 mm) - HC340LA (1,75 mm) - Aural-2® (3 mm).....	124
10.1	Ergebnisse der Schlifffbilduntersuchungen	124
10.2	Ergebnisse und Vergleich der Kopfzugprüfung mit der Basismaterial-Ausdrück- und Auszugprüfung.....	126
10.3	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zu Dreiblechverbindungen	128
11	Gesamtbewertung der Untersuchungen	130
12	Zusammenfassung.....	132
13	Literaturverzeichnis	135