

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Erkenntnisse</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Leichtbau in der Automobilindustrie</b> .....	<b>2</b>
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
<b>2.2</b>	<b>Qualitätsprüfung in der mechanischen Fügeverfahren</b> .....	<b>7</b>
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
<b>2.3</b>	<b>Grundlagen des Bolzensetzens</b> .....	<b>11</b>
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
<b>3</b>	<b>Aufgabenstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Versuchswerkstoffe, Probengeometrien und Einrichtungen</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Versuchswerkstoffe</b> .....	<b>25</b>
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
<b>4.2</b>	<b>Hilfswerkstoffe</b> .....	<b>27</b>
4.2.1	RIVTAC® Setzbolzen .....	27
4.2.2	BETAMATE™ 1620 Klebstoff .....	29
<b>4.3</b>	<b>Probengeometrien</b> .....	<b>29</b>
4.3.1	Kopfzugproben.....	29
4.3.2	Einpunktprobe .....	30
<b>4.4</b>	<b>Fertigungs- und Prüfeinrichtungen</b> .....	<b>31</b>
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
<b>5</b>	<b>Qualifizierung der Prozessüberwachung beim Bolzensetzen</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Analyse der ablaufenden Prozesse beim Fügevorgang</b> .....	<b>36</b>
5.1.1	Versuchsdurchführung.....	36
5.1.2	Ergebnisse zur Analyse der Prozesse beim Bolzensetzen.....	37
<b>5.2</b>	<b>Detektion von n.i.O. - Fügeverbindungen unter produktionsstypischen Störgrößen</b> .....	<b>45</b>
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
<b>5.3</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur Prozessüberwachung .</b> .....	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>Zerstörungsfreie Prüfung der Tragfähigkeit von Bolzensetzverbindungen</b> .....	<b>51</b>
<b>6.1</b>	<b>Korrelation des (Durch-)Drehmoments von Setzbolzen zur Ausdrückkraft...</b> .....	<b>51</b>
6.1.1	Voruntersuchungen.....	51
6.1.2	Ergebnisse des max. Drehmoments in Korrelation zur max. Ausdrückkraft.....	55
<b>6.2</b>	<b>Korrelation der Kopfposition zur Tragfähigkeit.....</b>	<b>59</b>
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
<b>6.3</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur zerstörungsfreien Prüfung der Tragfähigkeit von Bolzensetzverbindungen .....</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>Korrelation von geometrischen Merkmalen im Schlibbild zur Tragfähigkeit von Bolzensetzverbindungen .....</b>	<b>67</b>
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
<b>8</b>	<b>Quasistatische Ausdrückprüfung - zerstörende Prüfmethode zur Ermittlung der Tragfähigkeit.....</b>	<b>82</b>
<b>8.1</b>	<b>Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung der quasistatischen Ausdrückkraft in verschiedenen Bauteillagen.....</b>	<b>82</b>
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
<b>8.2</b>	<b>Analyse der Einflüsse von Störgrößen auf die .....</b> <b>Basismaterial-Ausdrückprüfung.....</b>	<b>93</b>
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
<b>8.3</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur Ausdrückprüfung ..</b>	<b>110</b>
<b>9</b>	<b>Quasistatische Auszugprüfung - zerstörende Prüfmethode zur Ermittlung der Tragfähigkeit .....</b>	<b>111</b>
<b>9.1</b>	<b>Entwicklung der Methodik für die Auszugprüfung.....</b>	<b>111</b>
9.1.1	Fügen eines Schweißbolzens auf den Setzbolzenkopf.....	111
9.1.2	Entwicklung des Auszugwerkzeuges & Versuchsdurchführung .....	113
<b>9.2</b>	<b>Ergebnisse der Basismaterial-Auszugprüfung .....</b>	<b>114</b>
<b>9.3</b>	<b>Störgrößenuntersuchungen zur Basismaterial-Auszugprüfung .....</b>	<b>117</b>
9.3.1	Einfluss des Schweißprozesses auf die Verbindungstragfähigkeit der Setzbolzenverbindung.....	118
9.3.2	Einfluss verschiedener Störgrößen beim Prüfprozess auf die Auszugkraft.....	119
<b>9.4</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zur Auszugprüfung und Vergleich zur Ausdrückprüfung.....</b>	<b>123</b>
<b>10</b>	<b>Dreiblechverbindung AC300 (3 mm) - HC340LA (1,75 mm) - Aural-2® (3 mm).....</b>	<b>124</b>
<b>10.1</b>	<b>Ergebnisse der Schlifffbilduntersuchungen .....</b>	<b>124</b>
<b>10.2</b>	<b>Ergebnisse und Vergleich der Kopfzugprüfung mit der Basismaterial-Ausdrück- und Auszugprüfung.....</b>	<b>126</b>
<b>10.3</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse zu Dreiblechverbindungen .....</b>	<b>128</b>
<b>11</b>	<b>Gesamtbewertung der Untersuchungen .....</b>	<b>130</b>
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>132</b>
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>135</b>