

1	EINLEITUNG	1
1.1	Zielsetzung und Gliederung dieser Arbeit	3
2	STAND DER TECHNIK	5
2.1	Strukturbauteile und ihre Bauweisen	5
2.2	Leichtbaupotenzial von Kunststoff/Metall-Strukturbauteilen	7
2.3	Sequenzielle Herstellung von Kunststoff/Metall-Strukturbauteilen	8
2.3.1	Umformen der Metallkomponente	9
2.3.1.1	Werkstoffverhalten beim Umformen	10
2.3.1.2	Tiefziehen mit starrem Werkzeug	12
2.3.1.3	Tiefziehen mit Wirkmedien (Hochdruckblechumformung)	14
2.4	Aktuell verwendete Materialien in der Kunststoff/Metall-Hybridtechnik	15
2.5	Fügen von Kunststoff und Metall	16
2.6	Ansätze zur integrierten Herstellung von Kunststoff/Metall-Bauteilen in Spritzgießsonderv Verfahren (Kombinationstechnologien) ausgehend von Halbzeugen	18
2.7	Zusammenfassung und Bewertung des Standes der Technik	21
3	INTEGRATION DER TIEFZIEH-OPERATION IN DEN SPRITZGIEßPROZESS	24
3.1	Vergleich der Tiefzieh- und Spritzgießanlagentechnik	24
3.2	Vergleich der Tiefzieh- und Spritzgießwerkzeugtechnik	25
3.3	Anforderungen an den integrierten Prozess	27
3.4	Verfahrensablauf des integrierten Prozesses und mögliche Verfahrensvarianten	31
3.5	Experimenteller Nachweis der Funktionsfähigkeit	33
3.5.1	Prüfkörper und Versuchsaufbau	34
3.5.2	Inbetriebnahme und Anpassung der Niederhalterkraft	38
3.5.3	Versuchsdurchführung	39
3.5.4	Auswertung	40
3.6	Zusammenfassung und Bewertung des Integrationspotenzials	44
4	ENTWICKLUNG EINER KOMBINIERTEN TIEFZIEH- UND SPRITZGIEßWERKZEUGTECHNIK	47
4.1	Konzeption eines funktionalisierten Prüfkörpers	47
4.1.1	Geometrie und Varianten des Prüfkörpers	47
4.2	Aufbau der kombinierten Werkzeugtechnik	48
4.2.1	Integrierung eines hydraulischen Niederhalters	49
4.2.2	Spritzgießgerechte Auslegung des kombinierten Tiefzieh- und Spritzgießwerkzeugs	50
5	SYSTEMATISCHE ANALYSE DER UMFORMUNG IM KOMBINATIONSVERFAHREN	52
5.1	Materialauswahl	52
5.1.1	Formmassen	52
5.1.2	Blechwerkstoffe	53
5.2	Qualitätskriterien zur Beurteilung des Kombinationsverfahrens	54
5.2.1	Definition des prozentualen Ausformgrades	54

5.2.2	Blechdickenverteilung	55
5.3	Inbetriebnahme des kombinierten Tiefzieh- und Spritzgießwerkzeugs und Ermittlung eines Prozessfensters.....	56
5.4	Fehlerbilder.....	57
5.5	Vorversuche zur Ableitung eines Prozessfensters	58
5.6	Versuchsplanung zur systematischen Analyse des Kombinationsverfahrens.....	61
5.7	Einfluss der Prozessparameter auf die erzielbare Bauteilqualität.....	62
5.7.1	Weichstahl DC04.....	63
5.7.2	Höherfester Stahl HC300.....	65
5.8	Einfluss der Blechdicke auf die erzielbare Umformqualität bei verzinktem Weichstahl des Typs DX51	68
5.9	Einfluss der Rippengeometrie auf die Blechdickenverteilung.....	71
5.10	Analyse des 2. Umformschrittes mithilfe von Werkzeuginnendrucksensorik	73
5.11	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	77
6	EINFLUSS DER DEHNBEANSPRUCHUNG DES HAFTVERMITTLERS AUF DIE VERBUNDFESTIGKEIT	79
6.1	Analyse der Dehnbeanspruchung des Haftvermittlers beim Kombinationsverfahren	79
6.2	Ansatz zum Transfer der Dehnbeanspruchung auf einen Scherzugprüfkörper	81
6.2.1	Vordehnung von Blechplatten	83
6.2.2	Validierung des Ansatzes zum Transfer der Dehnbeanspruchung	84
6.2.3	Geometrie des Zugscherprüfkörpers.....	85
6.3	Versuchsplanung zur Analyse des Einflusses der Dehnbeanspruchung auf die Zugscherfestigkeit des Haftvermittlers.....	87
6.3.1	Verwendete Formmassen.....	87
6.3.2	Verwendete Haftvermittlersysteme und Blechtypen	88
6.4	Zugscherfestigkeit in Abhängigkeit der Vordehnung	89
6.5	Analyse der Bruchflächen in Abhängigkeit der Blechvordehnung.....	96
6.6	Analyse der Haftvermittleroberfläche nach der Vordehnung.....	101
6.6.1	Analyse von Schlibbildern der Anbindung.....	104
6.7	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	106
7	FAZIT UND AUSBLICK	108
8	ZUSAMMENFASSUNG UND SUMMARY	112
8.1	Zusammenfassung	112
8.2	Summary.....	113
9	ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN, INDIZES.....	114
9.1	Abkürzungen	114
9.2	Formelzeichen	115
9.3	Indizes.....	116
10	LITERATUR.....	117

11	ANHANG A: ZUSAMMENFASSUNG DER MATERIALDATEN	129
11.1	Verwendete Formmassen.....	129
12	ANHANG A: PROZESSPARAMETER UND ERGÄNZENDE AUSWERTUNG	131
12.1	Konstante Prozessparameter der Vorversuche für die Blechtypen DC04 und HC300.....	131
12.2	Versuchsplan und Einstellparameter für die Analyse der Haftfestigkeit.....	132
12.3	Zugscherfestigkeiten der untersuchten Materialkombinationen	133
13	ANHANG B: DARSTELLUNG DER MESS- UND AUSWERTEMETHODEN	134
13.1	Geometrische Analyse mittels 3D-Scanner	134
13.2	Geometrische Analyse zur Ermittlung des Ausformgrades.....	135
13.3	Mikroskopische Analyse der Blechdickenverteilung.....	136