

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung - CFK-Bauteile im Automobilbau	1
1.1. Ausgangssituation - thematische Einführung	1
1.2. Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2. Grundlagen - Stand der Technik	5
2.1. Zerstörungsfreie Prüfung	5
2.1.1. Radiografische Verfahren	7
2.1.2. Elektrische Verfahren	9
2.1.3. Optische Verfahren	11
2.1.4. Thermografische Verfahren	13
2.1.5. Akustische Verfahren	16
2.2. Qualitätssicherung	20
2.2.1. Aufgaben der Qualitätssicherung im Produktentstehungsprozess	20
2.2.2. FMEA und Fehlerbaumanalyse	22
2.2.3. Qualitätsprüfung und Rolle der zerstörungsfreien Prüfung	25
2.2.4. Qualitätssicherung in der Fertigung im Automobilbau	26
3. Analyse potentieller Fehler im Fertigungsprozess von CFK-Bauteilen	29
3.1. Fehler und ihre Fehler-Schadens-Grenze	29
3.2. Durchführung einer FMEA im CFK-Fertigungsprozess	32
3.2.1. Durchführung FMEA - RTM-Fertigung	33
3.2.2. Ergebnisse FMEA	37
3.3. Spezifische Bauteilfehler	39
3.3.1. Lufteinschlüsse	39
3.3.2. Fremdstoffeinschlüsse	40
3.3.3. Delaminationen	41
3.3.4. Stoß- bzw. Schlagbeanspruchung - Impact	42
4. Systematische Untersuchungen - ZfP von CFK-Prüfkörpern	45
4.1. Auswahl geeigneter zerstörungsfreier Prüfverfahren	45
4.2. Versuchsaufbau und Prüftechnik	49
4.2.1. Thermografie-Untersuchungen	49
4.2.2. Röntgen-Untersuchungen	52
4.2.3. Ultraschall-Untersuchungen	54
4.3. Prüfkörperaufbau und -herstellung	59
4.3.1. Erzeugung von künstlichen Imperfektionen	60
4.3.2. Einfluss der Prüfkörperoberfläche	67
4.3.3. Einfluss der Fertigungsparameter	70
4.4. Diskussion der Ergebnisse der Platten-Prüfkörper	79
4.4.1. Ultraschall-Tauchbad-Untersuchungen	79
4.4.2. Gegenüberstellung unterschiedlicher Ultraschallprüftechniken	86
4.4.3. Untersuchungen mit optisch angeregter Lockin-Thermografie	87
4.4.4. Röntgen-Untersuchungen	94
4.5. Diskussion der Ergebnisse der Profil-Prüfkörper	102
4.5.1. Profil PR01 - Geometrien	102

4.5.2. Profil PR02 - Hohlprofil mit Verklebungen	105
4.5.3. Profil PR03 - mit PUR-Hartschaumstoff	109
4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse	112
5. Anwendung - Überprüfung der Anwendbarkeit der ZfP-Methoden an einem CFK-Bauteil	115
5.1. Versuchsaufbau und Prüftechnik	115
5.2. Diskussion der Ergebnisse	117
6. ZfP im Serienprozess - Fertigungsbegleitende QS im Automobilbau	124
6.1. Anforderungen an eine fertigungsbegleitende QS	124
6.2. Eingliederung in die Serienfertigung	126
6.3. Prüfkonzept und technische Aspekte	128
6.3.1. Variationen im Aufbau einer Prüfanlage	128
6.3.2. Erprobung einer möglichen Serienprüfung am Beispiel Thermografie	131
6.3.3. Einflussgrößen auf die Prüfung in der automobilen Serienanwendung	132
6.4. Fazit der Konzeptuntersuchungen einer serienbegleitenden ZfP	138
7. Zusammenfassung	139
Literaturverzeichnis	141
A. Anhang	i
A.1. FMEA - Fehlerfunktionsanalyse	i
A.2. FMEA - Ergebnisse	iv
A.3. Übersicht Prüfkörper	xi
A.4. ZfP Normen	xvii