

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Stand der Erkenntnisse	3
2.1	Grundlagen der Klebtechnik.....	3
2.2	Grundlagen der Bruchmechanik.....	7
2.2.1	Theoretische Grundlagen der Bruchmechanik	7
2.2.2	Spannungsintensitätsfaktoren	8
2.2.3	Energiefreisetzungsraten	10
2.2.4	Einfluss des Spannungszustandes auf die plastische Zone an der Rissspitze und die Bruchzähigkeitswerte	10
2.3	Anwendung der Bruchmechanik bei geklebten Verbindungen.....	12
2.3.1	Proben zur Untersuchung des Bruchverhaltens bei Klebverbindungen.....	12
2.3.2	Einfluss des Spannungszustandes bei geklebten Verbindungen	15
2.3.3	Dehnraten- und Temperatureffekte	16
2.4	Bruchhypothesen zur Bewertung von Mixed-Mode Beanspruchungen.....	18
3	Zielsetzung und Lösungsweg des Forschungsvorhabens.....	21
4	Versuchseinrichtungen.....	23
4.1	Zugprüfeinrichtungen	23
4.2	Torsionsprüfeinrichtung MTS Drehzylinder.....	24
4.3	Ebene Spannungsoptik	25
4.3.1	Prinzip der Spannungsoptik.....	25
4.3.2	Einsatz des Phasenshiftverfahrens.....	28
4.3.3	Synthese von Spannungsoptik und Bruchmechanik.....	29
4.4	Verformungsmessung nach dem Grauwertkorrelationsverfahren.....	31
4.5	Rasterelektronenmikroskop.....	32
4.6	Eingesetzte FEM Programme.....	34
4.6.1	ABAQUS.....	34
4.6.2	FEM Programm StressCheck	35
5	Verwendete Versuchswerkstoffe	37
5.1	Fügeteilwerkstoffe.....	37
5.2	Klebstoffe	37

6	Experimentelle und numerische Untersuchungen an geklebten CTS-Proben zur Ermittlung des Bruchverhaltens.....	41
6.1	Fertigung der CTS-Proben und Untersuchung des Einflusses der Singularität auf die Bruchkräfte	41
6.2	Untersuchte Probenvariationen	43
6.3	Quasistatische Prüfung der geklebten CTS-Proben unter Variation des Belastungswinkels	44
6.4	Makroskopische- und REM Bruchflächenanalyse der geprüften CTS-Proben.....	49
6.5	REM Untersuchung der Bruchflächen der CTS-Proben	50
6.6	Ermittlung von Spannungsintensitätsfaktoren mit Hilfe der Finite Elemente Methode.....	54
6.6.1	Vergleich der unterschiedlichen FEM Berechnungsmodelle für geklebte CTS-Proben zur Konvergenzabschätzung	54
6.6.2	Berechnung von SIF an homogenen CTS-Stahlproben und Vergleich mit Lösungen gemäß Kapitel 2.3.1	56
6.6.3	Bestimmung von Bruchgrenzkurven mittels FEM für die drei Klebstoffe	57
6.7	Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen an geklebten CTS-Proben.....	60
7	Verifikation der FEM Berechnungsmethodik mit Hilfe der Spannungsoptik.....	61
7.1	Verifikation über die Hauptgleichung der Spannungsoptik	62
7.2	Verifikation über den Betrag der Normalspannungsdifferenz bzw. der Schubspannungsverteilung	64
7.3	Bestimmung der Spannungsintensitätsfaktoren mit Hilfe der Multiparametermethode	66
7.4	Zusammenfassung der spannungsoptischen Untersuchungen.....	68
8	Bruchmechanische Untersuchungen an Klebstoffsubstanzproben	69
8.1	Probenfertigung	69
8.2	CTS-Prüfung der Klebstoffsubstanzproben	70
8.3	Zusammenfassung der CTS-Prüfung an Klebstoffsubstanzproben.....	74
9	Verifikation der Submodellberechnung zur Ermittlung von bruchmechanischen Kennwerten	75
9.1	Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen zur Submodelltechnik	84
10	Untersuchungen zum Versagensverhalten geklebter Hutprofilproben	85
10.1	Fertigung der Hutprofilproben	85
10.2	Quasistatische Torsionsprüfung der Hutprofilproben	87

10.2.1	Versagensbilder der Hutprofilproben	91
10.3	Ursachenbestimmung für den Drehmomentenabfall mit Hilfe des Grauwertkorrelationsverfahrens	92
10.4	FEM Berechnungen zur Ermittlung von Bruchkennwerten an den Hutprofilproben	93
10.5	Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen an rissbehafteten Hutprofilproben	99
11	Experimentelle und numerische Untersuchungen an dünnen Zugscherproben	100
11.1	Fertigung der dünnen rissbehafteten Zugscherproben	100
11.2	Quasistatische Prüfung an der dünnen Zugscherprobe	101
11.3	Bruchflächenuntersuchung bei den Zugscherproben	106
11.4	FEM Berechnungen zur Bestimmung der Bruchzähigkeiten an den Zugscherproben	108
11.5	Zusammenfassung zu den Untersuchungen an den dünnen Zugscherproben	112
12	Untersuchung des Mode III Einflusses anhand einer Mixed-Mode Probenform.....	113
12.1	Fertigung der Proben	113
12.2	Uniaxiale Prüfung der Proben	114
12.3	Bruchbilder der Proben zur Untersuchung des Mode III Einflusses	115
12.4	Bestimmung kritischer SIF mittels FEM Berechnung	116
12.5	Bewertung des Mode III Einflusses mittels Bruchhypothesen.....	117
12.6	Zusammenfassung der Untersuchungen unter einer nicht ebenen Mixed-Mode Belastung	119
13	Numerische Untersuchung weiterer Einflussparameter auf das Bruchverhalten.....	120
13.1	Einfluss der Probenform und der äußeren Belastungsgeschwindigkeit auf die Dehnrage	120
13.2	FEM Studie zur Untersuchung des E-Modul- sowie des Klebschichtdickeneinflusses	122
13.3	Zusammenfassung der numerischen Untersuchungen	125
14	Zusammenfassung	126
15	Literaturverzeichnis	130