Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxi
Symbolverzeichnis	xxiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielvorstellung	2
1.3 Stand der Technik	3
1.3.1 Stabilitätsverhalten von schräg versteiften Strukturen	4
1.3.2 Damage Tolerance Verhalten von schräg versteiften Strukturen	5
1.3.3 Anwendungsbeispiele schräg versteifter Strukturen im Flugzeugbau	6
1.4 Vorgehensweise	6
2 Theoretische Grundlagen	9
2.1 Nichtlineare Finite Elemente Methode	9
2.2 Stabilitätsverhalten von versteiften Strukturen	11
2.2.1 Lokales Beulen / Lineare Stabilitätsanalyse	12
2.2.2 Globales Beulen	15
2.2.3 Stabilitätsanalyse mit Hilfe der Finite Elemente Methode	19
2.2.4 Stabilität des Spantprofils	21
2.3 Fatigue und Damage Tolerance im Flugzeugbau	23
2.3.1 Bruchmechanischer Ansatz	23
2.3.2 Spannungsintensitätsfaktoren	24
2.3.3 Rissfortschrittsverhalten	25
2.3.4 Rissausbreitungsrichtung	27
2.3.5 Restfestigkeit	28
2.3.6 Bruchmechanische Analyse mit Hilfe der Finite Elemente Methode	29
2.3.7 Bulging-Effekt bei Längsrissen in innendruckbelasteten Zylinderstrukturen	31
2.4 Strukturdimensionierung eines globalen Flugzeugmodells	32
2.4.1 Strukturauslegung mit Hilfe des Fully Stressed Designs	33
2.4.2 Antwortflächenverfahren - Response Surface Methode	33
3 Finite Elemente Teilschalenstrukturen	35
3.1 Modellbeschreibung	36
3.2 Belastungskombinationen	37

3.2.1	Lastfälle für die Untersuchung des Stabilitätsverhaltens	37
3.2.2	Betrachtete Risszenarien	38
3.3	Randbedingungen für Stabilitätsuntersuchungen	40
3.4	Randbedingungen für gerissene Strukturen	42
3.4.1	Lastfall und Randbedingungen für Risse in Umfangsrichtung	42
3.4.2	Lastfall und Randbedingungen für Risse in Längsrichtung	42
3.5	Risse im Finite Elemente Teilschalenmodell	43
3.5.1	Rissimplementierung	43
3.5.2	Postprocessing bezüglich des Damage Tolerance Verhaltens	44
3.6	Materialmodell	45
3.6.1	Fließbedingung und Verfestigung	45
3.6.2	Berücksichtigung von elastisch-plastischem Materialverhalten	46
3.6.3	Damage Tolerance Eigenschaften	47
4	Dimensionierung über das modifizierte WIDEMER-Tool	49
4.1	Modellbeschreibung	50
4.2	Preprocessor der Dimensionierung	51
4.3	Dimensionierungsroutine	51
4.3.1	Dimensionierung bezüglich einer maximal zulässigen Spannung	52
4.3.2	Stabilitätsdimensionierung	53
4.3.3	Dimensionierung der Spantelemente	54
4.4	Integration schräg versteifter Strukturen	55
4.4.1	Dimensionierung schräg versteifter Strukturen	55
4.4.2	Dimensionierung der Spantelemente	56
5	Stabilitätsverhalten versteifter Strukturen	57
5.1	Lokales Beulverhalten	58
5.1.1	Vergleich der Versteifungskonzepte	58
5.1.2	Lokales Beulverhalten der schräg versteiften Struktur	60
5.1.3	Lokales Beulverhalten der rechtwinklig versteiften Struktur	62
5.2	Globales Beulverhalten	65
5.2.1	Verfahren zur Erzielung der Schub-Druck/Zug-Interaktionskurven	65
5.2.2	Vergleich der Versteifungskonzepte	68
5.2.3	Globales Beulverhalten der schräg versteiften Struktur	70
5.2.4	Globales Beulverhalten der rechtwinklig versteiften Struktur	71
5.3	Response Surfaces für die Dimensionierung	73
5.3.1	Response Surfaces für schräg versteifte Strukturen	74
5.3.2	Response Surfaces für rechtwinklig versteifte Strukturen	79
5.4	Stabilität des Spantprofils	82
5.4.1	Spantprofil und variierte Parameter	82
5.4.2	Lokale Instabilität des Spantprofils	83
5.4.3	Beulen des Steges	83
5.4.4	Seitliches Ausweichen des Gesamtprofils	85
5.4.5	Spantelemente schräg versteifter Strukturen	86

6	Damage Tolerance Verhalten versteifter Strukturen	87
6.1	Rissfortschrittsverhalten	88
6.1.1	Umfangsrisse unter einer Längszugspannung	88
6.1.2	Längsrisse unter einer Umfangszugspannung	92
6.2	Restfestigkeit	93
6.2.1	Restfestigkeit gerissener rechtwinklig versteifter Strukturen	94
6.2.2	Restfestigkeit gerissener schräg versteifter Strukturen	94
6.2.3	Vergleich der Versteifungskonzepte	95
6.3	Zulässige Spannungen für die Dimensionierung	96
6.3.1	Zulässige Spannungen bezüglich des Rissfortschrittskriteriums	96
6.3.2	Zulässige Spannungen bezüglich des Restfestigkeitskriteriums	96
 7	 Anwendungsbeispiel Airbus A320	 99
7.1	Modellbeschreibung	99
7.2	Berücksichtigte Lastfälle	100
7.2.1	Lastfälle	100
7.2.2	Zuordnung der Dimensionierungskriterien	101
7.3	Validierung der Ergebnisse einer rechtwinklig versteiften Struktur	102
7.4	Anwendung von schräg versteiften Strukturen in einem Flugzeugrumpf	104
7.4.1	Ergebnis einer teilweise schräg versteiften Flugzeugrumpfstruktur	105
7.5	Sensitivitäten der Dimensionierungsergebnisse gegenüber Parametervariationen	106
7.5.1	Veränderte Materialeigenschaften	106
7.5.2	Einfluss von Materialvariationen auf das Dimensionierungsergebnis	110
7.5.3	Einfluss von Belastungsvariationen auf das Dimensionierungsergebnis	112
7.5.4	Position der schräg versteiften Teilstruktur	115
 8	 Zusammenfassung	 117
 Literaturverzeichnis		 119
 Anhang		 125
A	Modifiziertes WIDEMER-Tool	125
B	Abbildungen	133
C	Tabellen	169