

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Problemstellung	4
1.3	Lösungsansatz	6
1.4	Ziel der Arbeit	9
1.5	Gliederungsübersicht	9
2	Bruchmechanische Grundlagen	11
2.1	Vorbemerkungen	11
2.2	Griffithsches Reißmodell	11
2.3	Die drei grundlegenden Reißöffnungsarten	13
2.4	Der Spannungsintensitätsfaktor K	14
2.5	Griffith-Theorie für ideal spröde Körper	17
2.6	Die Energiefreisetzungsrates \mathcal{G}	19
2.7	Das J-Integral	23
2.8	Die „Compliance-Method“	25
3	Das K-Konzept	27
3.1	Allgemeines	27
3.2	Reißbruchkriterien des K-Konzeptes	28
3.2.1	Mode-1, Mode-2	28
3.2.2	Mixed-Mode	28
3.2.3	Aufspaltung des J-Integrals	30
3.3	Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren (SIF)	32
3.3.1	Allgemeines	32
3.3.2	Berechnung der SIF mit Hilfe der Finite-Elemente- Methode (FEM)	33
3.3.2.1	Grundlagen der FEM	33
3.3.2.2	Möglichkeiten zur Berechnung der SIF mit Hilfe der FEM	38
3.3.2.3	Energiefreisetzungsrates	39
3.3.2.4	J-Integral	40
3.3.2.5	Der Beanspruchungszustand an der Reißspitze	42

4	Konstitutive Beziehung für Holz	45
4.1	Voraussetzungen	45
4.2	Idealisierungen und Annahmen	45
4.3	Ebene Betrachtungen	51
4.3.1	ESZ in der LR-Ebene	51
4.3.2	ESZ in der LT-Ebene	51
4.3.3	EVZ in der LR-Ebene	51
4.3.4	EVZ in der LT-Ebene	52
4.4	Transformationsbeziehungen	52
4.4.1	Allgemeines	52
4.4.2	Spannungstransformation	52
5	Vergleichsrechnungen	55
5.1	Vorbemerkungen	55
5.2	Isotrope Werkstoffe	55
5.2.1	Mode-1	55
5.2.1.1	Anmerkungen zur Diskretisierung	56
5.2.1.2	Ergebnisse nach Energiefreisetzungsrates	59
5.2.1.3	Ergebnisse nach J-Integral	61
5.2.1.4	Zusammenfassung der Ergebnisse im Mode-1 und Angaben zur Diskretisierung	63
5.2.2	Mode-2 und Mixed-Mode	63
5.3	Orthotrope Werkstoffe	67
5.3.1	Mode-1	68
5.3.2	Mode-2	77
5.3.3	Mixed-Mode	79
6	Entwicklung der LEFM im Holzbau	83
6.1	Allgemeines	83
6.2	Auflistung der wichtigsten Arbeiten	84
6.3	Zusammenfassung der Fremduntersuchungen	110
6.3.1	Bruchzähigkeit	110
6.3.1.1	Einfluß der Temperatur auf die Bruchzähigkeit	110
6.3.1.2	Einfluß der Probenbreite auf die Bruchzähigkeit	110
6.3.1.3	Einfluß der Holzfeuchte auf die Bruchzähigkeit	111
6.3.1.4	Einfluß der Rohdichte auf die Bruchzähigkeit	111
6.4	Fazit	112
7	Eigene Untersuchungen und Erweiterungen	113
7.1	Voraussetzungen	113
7.2	Versuchsmaterial	116
7.3	Bruchzähigkeit im Mode-1	116
7.3.1	Vorbemerkungen	116
7.3.2	Untersuchungen an russischer Fichte	117
7.3.2.1	Auswahl und Vorbereitung der Proben	117
7.3.2.2	Versuchsdurchführung	117

7.3.2.3	Last-Verformungs-Kurven	118
7.3.2.4	Ermittlung der Darr-Rohdichte	120
7.3.2.5	Versuchsergebnisse	120
7.3.2.5.1	Zusammenhang zwischen der Darr-Rohdichte und der kritischen Last	121
7.3.2.5.2	Zusammenhang zwischen der Darr-Rohdichte und der Anzahl der Jahresringe	121
7.3.2.6	Berechnung der Bruchzähigkeit	124
7.3.2.6.1	Allgemeines	124
7.3.2.6.2	Berechnung der Bruchzähigkeit mit Hilfe der FEM	124
7.3.2.6.3	Berechnung der Bruchzähigkeit nach der „Compliance-Method“	127
7.3.2.6.4	Bewertung	131
7.3.3	Untersuchungen an schwedischer Fichte	132
7.3.3.1	Auswahl und Vorbereitung der Proben	132
7.3.3.2	Versuchsergebnisse	132
7.3.3.2.1	Zusammenhang zwischen der Darr-Rohdichte und der Anzahl der Jahresringe	132
7.3.3.2.2	Abhängigkeit der kritischen Last von der Darr-Rohdichte und vom Winkel zwischen der Tangential- und Rißebeine	133
7.3.3.3	Berechnung der Bruchzähigkeit	135
7.3.3.4	Mikroskopische Untersuchung der Bruchflächen	137
7.3.3.4.1	Vorbemerkungen	137
7.3.3.4.2	Mikroskopischer Aufbau des Nadelholzes	137
7.3.3.4.3	Untersuchung der Bruchflächen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)	141
7.3.3.4.4	Interpretation der Versuchsergebnisse mit Hilfe der REM-Aufnahmen	143
7.3.3.5	Einfluß der Holzfeuchte in der LT-Ebene	148
7.4	Bruchzähigkeit im Mode-2	151
7.4.1	Vorbemerkungen	151
7.4.2	Auswahl und Vorbereitung der Proben	151
7.4.3	Last-Verformungs-Kurven	152
7.4.4	Versuchsergebnisse	153
7.4.5	Berechnung der Bruchzähigkeit	156
7.4.5.1	Vorbemerkungen	156
7.4.5.2	Beanspruchung aus Querdruk plus Schub	158
7.4.5.2.1	Kenntnisstand bei „inhomogener Beanspru- chung“	158
7.4.5.2.2	Kenntnisstand bei „homogener Beanspru- chung“	161
7.4.5.2.3	Erweiterte Bruchhypothese	162
7.4.5.2.4	Berechnung der Bruchzähigkeit unter Ver- wendung der erweiterten Bruchhypothese	165

7.5	Abschließende Bemerkungen	167
8	Beanspruchung aus Querdruck plus Schub	169
8.1	Vorbemerkungen	169
8.2	Auswahl und Vorbereitung der Proben	169
8.3	Last-Verformungs-Kurven	170
8.4	Versuchsergebnisse	172
8.5	Berechnung der kritischen Last	174
8.5.1	Allgemeines	174
8.5.2	Abschätzung der Rißlängenkorrektur a_{pl}	174
8.5.2.1	Voraussetzungen und Annahmen	174
8.5.2.2	Isotrope Werkstoffe	175
8.5.2.3	Orthotrope Werkstoffe	176
8.5.3	Ergebnisse der Berechnungen	183
8.5.4	Bewertung	185
9	Anwendungen und Ergänzungen	187
9.1	Vorbemerkungen	187
9.2	Vollholz	188
9.2.1	Zapfenträger	188
9.2.1.1	Normalzapfen	188
9.2.1.1.1	Versuchsergebnisse	188
9.2.1.1.2	Ergebnisse der Berechnungen	189
9.2.1.1.3	Zusammenfassung	191
9.2.1.2	Einfluß der Zapfenhöhe ($h_z = 4cm$)	192
9.2.1.2.1	Versuchsergebnisse	192
9.2.1.2.2	Ergebnisse der Berechnungen	192
9.2.1.2.3	Zusammenfassung	193
9.2.1.3	Einfluß der Zapfenlänge	194
9.2.1.3.1	Versuchsergebnisse	195
9.2.1.3.2	Ergebnisse der Berechnungen	195
9.2.1.3.3	Zusammenfassung	195
9.2.1.4	Einfluß einer Zapfenbrust	195
9.2.1.4.1	Versuchsergebnisse	195
9.2.1.4.2	Ergebnisse der Berechnungen	196
9.2.1.4.3	Zusammenfassung	196
9.2.2	Zapfenlochträger	197
9.2.2.1	Versuchsergebnisse	197
9.2.2.2	Ergebnisse der Berechnungen	198
9.2.2.3	Zusammenfassung	199
9.2.3	Unten ausgeklinkte Träger	199
9.2.3.1	Versuchsergebnisse	200
9.2.3.2	Ergebnisse der Berechnungen	202
9.2.3.3	Zusammenfassung	202
9.2.3.4	Einfluß der Holzfeuchte	203
9.2.4	Oben ausgeklinkte Träger	204

9.2.4.1	Versuchsergebnisse	205
9.2.4.2	Ergebnisse der Berechnungen	205
9.2.4.3	Zusammenfassung	206
9.3	Brettschichtholz	207
9.3.1	Besonderheiten	207
9.3.1.1	Einfluß der Verleimung auf die Bruchzähigkeit	209
9.3.1.2	Einfluß einer Kerbausrundung	211
9.3.2	Unten ausgeklinkte Träger	213
9.3.2.1	Versuchsergebnisse	214
9.3.2.2	Ergebnisse der Berechnungen	214
9.3.2.3	Zusammenfassung	215
9.3.3	Rechteckige Trägerdurchbrüche	216
9.3.3.1	Versuchsergebnisse	216
9.3.3.2	Ergebnisse der Berechnungen	217
9.3.3.3	Zusammenfassung	218
10	Schlußbetrachtung	221
10.1	Zusammenfassung	221
10.2	Ausblick	225
	Literaturverzeichnis	227
	Anhang	240