
Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	vi
Verzeichnis häufig verwendeter Indizes	ix
Symbolverzeichnis	x
Abbildungsverzeichnis	xxv
Tabellenverzeichnis	xxix
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielstellung	2
1.3 Einschränkungen	2
2 Stand des Wissens, der Forschung und der Technik	3
2.1 Der Werkstoff Holz	3
2.1.1 Allgemeines	3
2.1.2 Anatomie des Holzes	4
2.1.2.1 Makroskopischer Aufbau	4
2.1.2.2 Mikroskopischer Aufbau	6
2.1.2.3 Submikroskopischer Aufbau	8
2.1.3 Physikalische Eigenschaften von Holz	11
2.1.3.1 Allgemeines	11
2.1.3.2 Dichte	12
2.1.3.3 Feuchtigkeitsaufnahme	13
2.1.3.4 Quell- und Schwindverhalten	14
2.1.3.5 Glasübergangstemperatur der Holzgrundsubstanzen	16
2.1.4 Elasto-plastische Eigenschaften von Holz	18
2.1.4.1 Allgemeines	18
2.1.4.2 Elasto-plastische Eigenschaften in Faserrichtung	20
2.1.4.3 Elasto-plastische Eigenschaften quer zur Faser	25
2.1.4.4 Elasto-plastische Eigenschaften bei Schubbelastung	30
2.2 Der Werkstoff Furnier	33
2.2.1 Allgemeines	33
2.2.2 Herstellungsbedingte Werkstoffveränderungen	34

2.2.3	Maßnahmen zur Verbesserung der Formbarkeit	39
2.2.4	Elastische Eigenschaften	40
2.2.4.1	Festigkeiten im Vergleich zu Vollholz	42
2.2.4.2	Steifigkeiten im Vergleich zu Vollholz	43
2.2.5	Formgebungsverfahren	44
2.2.6	Bewertungsmöglichkeiten der Formungsgrenzen	45
2.2.6.1	Erfahrungsbasierte Methoden	45
2.2.6.2	Experimentelle und modellgestützte Methoden	46
2.3	Grundlagen der Festkörper-Kontinuumsmechanik	50
2.3.1	Allgemeines	50
2.3.2	Grundlagen der Elastizitätstheorie	50
2.3.2.1	Kinematik des Kontinuums	51
2.3.2.2	Kinetik des Kontinuums	55
2.3.2.3	Konstitutive Beziehung	60
2.3.3	Grundlagen der zeitunabhängigen Plastizitätstheorie	65
2.3.3.1	Fließfunktion	67
2.3.3.2	Fließregel	67
2.3.3.3	Ver- und Entfestigungsvorschrift	68
2.3.3.4	Plastisches Dehnungsinkrement	71
2.3.3.5	Lokale Spannungsrückführung am Integrationspunkt	73
2.3.3.6	Mehrflächige Plastizität	74
2.3.3.7	VON MISES-Fließkriterium für isotrope Werkstoffe	75
2.3.3.8	Fließfunktionen für Holz	77
2.3.4	Grundlagen der Laminattheorie	84
2.4	Optische Dehnungsmessung	87
2.4.1	Allgemeines	87
2.4.2	3D-Dehnungsmesssystem ARAMIS	87
2.4.3	Modelle der Dehnungsberechnung	90
2.4.3.1	Ebenen-Modell	90
2.4.3.2	Spline-Modell	90
3	Modellrechnungen zum Formungsvermögen von Furnier	93
3.1	Einführung	93
3.2	Werkstoffkennwerte	93
3.2.1	Verhältniszahlen Druck/Zug bei Vollholz	94
3.2.1.1	Verhältniszahlen Steifigkeiten	96
3.2.1.2	Verhältniszahlen Festigkeiten	96
3.2.1.3	Verhältniszahlen für ausgewählte Klimaeinstellungen	96
3.2.2	Schubfestigkeiten von Furnier	97
3.3	Analytische Modelle	99
3.3.1	Reine Biegung – linearelastisch	100
3.3.2	Biegemoment und Normalkraft – elasto-idealplastisch	101
3.4	Numerische Modelle	106
3.5	Vergleich mit Versuchsergebnissen	110

3.6	Schlussfolgerungen	112
4	Holzanatomische Untersuchungen an Messerfurnier	115
4.1	Einführung	115
4.2	Material und Methodik	115
4.3	Ergebnisse der Rissvermessung auf der Oberfläche	119
4.4	Ergebnisse der Rissvermessung im Querschnitt	121
4.4.1	Messgrößen	121
4.4.2	Furnierdicke	122
4.4.3	Querschnittsminderungen durch Ausbrüche	123
4.4.4	Risstiefe	123
4.4.5	Rissabstand	126
4.4.6	Risswinkel	128
4.5	Erfassung der Querschnittsschädigungen im Rechenmodell	130
4.5.1	Steifigkeiten basierend auf Vollholzkennwerten	130
4.5.2	Festigkeiten basierend auf Vollholzkennwerten	133
4.6	Schlussfolgerungen	134
5	Experimentelle Untersuchungen zum elasto-plastischen Materialverhalten von Furnier	137
5.1	Einführung	137
5.2	Hypothesen und Aufgabenstellung	138
5.3	Entwicklung des Formbiegeversuchs	138
5.3.1	Anforderungen und Konzept	138
5.3.2	Konzipierung der Prüfvorrichtung	140
5.3.3	Konstruktive Umsetzung der Prüfvorrichtung	142
5.4	Versuchsplanung	144
5.4.1	Begriffsdefinitionen	144
5.4.1.1	Bezeichnungsschema Dehnungs-Sets	144
5.4.1.2	Bezeichnungsschema Proben	144
5.4.1.3	Bezeichnungsschema Serien	145
5.4.2	Versuchsumfang	145
5.4.2.1	Ursprüngliche Stützpunktanzahl und Probenmenge	147
5.4.2.2	Modifizierte Stützpunktanzahl und Probenmenge	147
5.4.3	Erfassung des Versagensverhaltens	148
5.4.4	Erfassung der bleibenden Verformungen	148
5.5	Probenmaterial	150
5.5.1	Ausgangswerkstoff	150
5.5.2	Probenform und Herstellung	150
5.5.3	Grauwertmuster	151
5.6	Prüfvorschriften und Bezugsgrößen	152
5.6.1	Dehnungsmessung	152
5.6.2	Probenvorspannung	154
5.6.3	Belastungsgeschwindigkeit	155

5.6.4	Messung des verbleibenden Biegewinkels	156
5.6.5	Klimatisierung der Proben	157
5.6.5.1	Vorkonditionierung	157
5.6.5.2	Prüfbedingungen	158
5.6.6	Probenquerschnitt	158
5.6.7	Holzfeuchtegehalt und Darrdichte	158
5.7	Versuchsaufbau und -durchführung	159
5.8	Auswertung	161
5.8.1	Verformungsverhalten	161
5.8.2	Versagensverhalten	163
5.8.2.1	Faserlastwinkel 0°	164
5.8.2.2	Faserlastwinkel 90°	168
5.8.2.3	Modellhafte Betrachtung	168
5.8.3	Randfaserdehnungen	172
5.8.3.1	Aufbereitung der Versuchsdaten	172
5.8.3.2	Interpretation der Versuchsdaten	174
5.8.4	Minimale Biegeradien	175
5.8.5	Bleibende Verformungen	176
5.9	Vergleich mit Modellrechnungen	178
5.9.1	Strukturverhalten	178
5.9.2	Zugrunde gelegtes Materialmodell	180
5.10	Schlussfolgerungen	182
6	Zusammenfassung und Ausblick	185
	Literatur	191
	Anhang	203
A	Versuche	203
A.1	Druckversuch an Furnier	204
A.2	Formbiegeversuch	206
A.2.1	Holzfeuchte und Darrdichte der Serien	206
A.2.2	Probenquerschnitt	207
A.2.2.1	Probendicke	207
A.2.2.2	Probenbreite	208
A.2.3	Versagensverhalten	209
A.2.4	Randfaserdehnungen – Schaubilder	217
A.2.5	Randfaserdehnungen – Zahlentafeln	222
A.2.6	Minimale Biegeradien	231

B	Sonstiges	233
B.1	Werkstoffkennwertbestimmung an Rotbuchenholz – Literaturvergleich . .	234
B.1.1	Prüfungen nach PRODEHL	234
B.1.2	Druckversuche nach GABER	234
B.1.3	Druckversuche nach WINTER	235
B.1.4	Prüfungen nach FUCHS	235
B.1.5	Prüfungen nach OZYHAR	236
B.2	Proportionalitätsgrenzen von Rotbuchenholz nach FUCHS	237
B.3	Schubfestigkeiten von Rotbuchenfurnier	239
B.4	Geschwindigkeitsabhängiges Werkstoffverhalten von Rotbuchenholz	240
B.5	Bewertung von Furnierschädigungen nach Einsatzzweck	241