

Berichte aus dem Maschinenbau

**Bernd Bellair**

**Beschreibung des anisotropen Materialverhaltens  
von Rotbuchenfurnier als Basis für rechnergestützte  
Umformsimulationen**

Shaker Verlag  
Aachen 2013

# Inhaltsverzeichnis

---

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielstellung der Arbeit.....	3
1.3	Aufbau der Arbeit.....	4
2	Stand der Technik.....	5
2.1	Struktur des Holzes.....	5
2.2	Furnier.....	9
2.3	Physikalische Eigenschaften von Holz.....	11
2.3.1	Allgemeines.....	11
2.3.2	Mechanische Eigenschaften von Vollholz und Furnier.....	13
2.4	Grundlagen der Elastizitätstheorie.....	19
2.4.1	Allgemeines.....	19
2.4.2	Kinematik des Kontinuums.....	20
2.4.3	Kinetik des Kontinuums.....	23
2.4.4	Konstitutive Beziehung.....	26
2.5	Grundlagen der Plastizitätstheorie.....	32
2.5.1	Allgemeines.....	32
2.5.2	Fließfunktion.....	33
2.5.3	Fließregel.....	41
2.5.4	Ver- und Entfestigung.....	42
2.5.5	Bestimmung der plastischen Parameter.....	43
3	Experimentelle Bestimmung der Materialkennwerte von Furnier.....	45
3.1	Thesen.....	45
3.2	Prüfvorschriften.....	49
3.3	Herstellung der Prüfkörper.....	52
3.3.1	Material der Prüfkörper.....	52
3.3.2	Herstellungsprozess Furnier.....	52
3.3.3	Herstellungsprozess der Furnierproben und Referenzdreiecke.....	54
3.3.4	Herstellungsprozess der Referenzproben aus Vollholz.....	58
3.4	Versuchsaufbau.....	59
3.4.1	Versuchsanordnung zur Prüfung der Furnierproben.....	59
3.4.2	Versuchsanordnung für die Prüfung der Referenzwürfel.....	70
3.5	Durchführung der Experimente.....	71
3.5.1	Geometrierfassung von Furnierproben und Referenzdreiecken.....	71
3.5.2	Vorkonditionierung der Furnierproben und der Referenzdreiecke.....	72
3.5.3	Gewichtsbestimmung der Referenzdreiecke.....	72

3.5.4	Zugversuch mit Temperierkammer .....	73
3.5.5	Zugversuch mit Prüfmodul .....	75
3.5.6	Ultraschallprüfung .....	76
3.6	Auswertung .....	77
3.6.1	Bruchbilder der Furnierproben .....	77
3.6.2	Lokale Dehnungsmessung .....	77
3.6.3	Dehnungsauswertung .....	81
3.6.4	Auswertung der Einzelprobe .....	88
3.6.5	Auswertung der Versuchsserien .....	93
3.6.6	Statistischer Vergleich der Serien .....	103
3.6.7	Ergebnisse der statistischen Auswertungen .....	106
3.6.8	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	114
4	Materialbeschreibung .....	123
4.1	Homogenisierung der Materialkennwerte .....	123
4.2	Verifikation des Materialmodells .....	143
4.3	FE-Modell der Schulterprobe .....	151
5	Versagenskriterien .....	159
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	165
7	Literaturverzeichnis .....	167
8	Anhang .....	175
A.1	Kennwerte der Messgeräte .....	175
A.2	Statistische Tabellen .....	177
A.3	Materialkennwert Serien-Elastizitätsmodul .....	179
A.4	Materialkennwert Serien-Zugfestigkeit .....	181
A.5	Materialkennwert Serien-Bruchdehnung .....	184
A.6	Materialkennwert Serien-korrigierte Bruchdehnung .....	187
A.7	Materialkennwert Serien-Poissonzahl .....	190
A.8	Feuchte und Darrdichte der Serien .....	192
A.9	Elastizitätsmodul der Referenzproben .....	192
A.10	Details zu den Sensibilitätsanalysen .....	193
A.10.1	Sensibilitätsanalyse 2 .....	193
A.10.2	Sensibilitätsanalyse 3 .....	194
A.10.3	4. Sensibilitätsanalyse .....	195
A.11	Robustheitsanalysen des Rechenmodells UnsymMat .....	197
A.12	Robustheitsanalysen des FE-Modells Schulterprobe .....	201