

**Modellierung der Werkstoffeigenschaften
von Papierfaserprodukten
als Grundlage für deren konstruktive Gestaltung**

Von der Fakultät Maschinenbau
der Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. MSIE Alexander Baar

aus Salzgitter

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne
Mitberichter: Prof. Dr. rer. nat. Bob Svendsen

Mündliche Prüfung: 16. Dezember 2005

1	Einleitung	1
2	Grundlagen des Faserformverfahrens	2
2.1	Historische und derzeit verwendete Faserformprodukte	2
2.2	Rohstoffe der Faserformherstellung	3
2.3	Prozessschritte des Faserformverfahrens	4
2.3.1	Stoffaufbereitung	5
2.3.2	Anformvorgang	5
2.3.3	Pressen und Trocknen	8
2.4	Charakteristika von Faserformprodukten	9
2.4.1	Makroskopische Merkmale	9
2.4.2	Mikroskopische Merkmale	11
3	Stand der Technik	14
3.1	Auslegungskriterien für räumliche Verpackungsprodukte aus Papierfaserstoffen	14
3.1.1	Verfahren zur Prüfung versandfertiger Packstücke und Packmittel	15
3.1.2	Beanspruchungsgerechte Auslegung von Faltschachteln aus Wellpappe	18
3.1.3	Auslegungskriterien für Faserform-Verpackungen	20
3.2	Prüfverfahren für Packstoffe aus Papierfaserstoffen	21
3.3	Auslegungskriterien für technische Produkte aus Papierfaserstoffen	22
4	Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehen	23
4.1	Problemstellung	23
4.2	Zielsetzung	26
4.3	Vorgehen	26
5	Kontinuumsmechanische Grundlagen	28
5.1	Spannungen	28
5.2	Elastisches Materialverhalten	30
5.3	Plastisches Materialverhalten	30
5.3.1	Fließbedingung	31
5.3.2	Fließregel	43
5.3.3	Verfestigungsgesetz	43
5.3.4	Vergleichsspannung und plastische Vergleichsdehnung	44
5.4	Inkrementeller Spannungs-Verzerrungs-Zusammenhang	46
5.5	Festlegung der zu ermittelnden Werkstoffdaten	47
6	Entwicklung der Prüfverfahren und der Belastungsvorrichtung	49
6.1	Übersicht standardisierter Prüfmethode und deren Anpassung	49
6.1.1	Zugversuch	49
6.1.2	Druckversuch	55
6.2	Zug-Druck-Prüfmaschine	58
7	Unidirektionale Untersuchung fremdgefertigter Faserformprodukte	61
7.1	Versuchsdurchführung	61
7.2	Versuchsauswertung	69
7.2.1	Materialverhalten unter uni-axialer Zug- und Druckbeanspruchung	70
7.2.2	Auswertung der Messergebnisse	72
7.2.3	Abschätzung der Anwendbarkeit bestehender Festigkeitshypothesen	87

8	Uni- und bidirektionale Untersuchung selbstgefertigter Proben	90
8.1	Ermittlung signifikanter Einflussfaktoren	92
8.1.1	Festlegung zu untersuchender Einflussgrößen	92
8.1.2	Festlegung der Faktorstufen und Aufstellen des Versuchsplans	93
8.1.3	Versuchsdurchführung	98
8.1.4	Versuchsauswertung und Ergebnisinterpretation	101
8.2	Modellierung der Versagenskenngößen	105
8.2.1	Festlegung der Faktorstufen und Aufstellen des Versuchsplans	106
8.2.2	Versuchsauswertung und Ergebnisinterpretation	109
8.3	Auswahl einer geeigneten Fließbedingung	122
9	FEM-Modellierung.....	127
9.1	Beschreibung elastisch-plastischen Materialverhaltens von Faserformprodukten...	128
9.2	Durchführung einer belastungsgerechten Dimensionierung mittels FEM	134
10	Zusammenfassung	136
11	Literaturverzeichnis.....	138