

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 4

Bauingenieurwesen

Dipl.-Ing. Jörg Härtel,
Neustadt a. Rbge.

Nr. 159

**Experimentelle und
theoretische
Untersuchungen
zum Kriechverhalten
hölzerner Druckstäbe
unter baupraktischen
Bedingungen**

VDI VERLAG

HLuHB Darmstadt



14832270

Inhaltsverzeichnis

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	3
2.1 Allgemeines zum Kriechen von Holzbauteilen	3
2.2 Einfluss der Beanspruchungsart	4
2.3 Einfluss des Belastungsgrades	5
2.4 Einfluss der Prüfkörpergröße	7
2.5 Einfluss der Vorverformungen	8
2.6 Einfluss der Temperatur	9
2.7 Einfluss der Holzfeuchte	10
2.7.1 Allgemeines	10
2.7.2 Einfluss der Holzfeuchte auf die elastischen Eigenschaften des Holzes	13
2.7.3 Einfluss der Holzfeuchte auf die Querschnittsgeometrie	14
2.7.4 Einfluss der Holzfeuchte auf die Biegesteifigkeiten	15
2.7.5 Einfluss der Holzfeuchte auf die Materialfestigkeiten	16
2.7.6 Einfluss der Holzfeuchte auf die Kriechverformungen	16
2.8 Strukturmechanische Deutung des Kriechens von Holzbauteilen	17
2.8.1 Zusammensetzung und Aufbau des Holzes	17
2.8.2 Erläuterung der Kriechvorgänge im Holz	19
3 Experimentelle Untersuchungen	22
3.1 Allgemeines zur Durchführung von Kriechversuchen	22
3.2 Erkenntnisse zum Kriechen hölzerner Druckstäbe in der Literatur	23
3.3 Allgemeines zur Versuchsdurchführung	24
3.4 Definition der Versuchsrandbedingungen	25
3.4.1 Materialauswahl	25
3.4.2 Prüfkörperabmessungen	26
3.4.3 Schlankheit der Prüfkörper	27
3.4.4 Festlegung einer Lastausmitte	27
3.4.5 Wahl des Belastungsniveaus	31
3.4.6 Charakteristische Prüfkörpereigenschaften	33
3.4.6.1 Darr-Rohdichte	33
3.4.6.2 Elastizitätsmodul	34

3.4.7	Sonstige Prüfkörpereigenschaften	35
3.5	Beschreibung des Versuchsaufbaus	35
3.5.1	Allgemeines zum Prüfrahmen	35
3.5.2	Fixierung der Prüfkörper vor Versuchsbeginn	40
3.5.3	Messtechnische Überprüfung der aufgetragenen Belastungen	40
3.6	Messwerterfassung	41
3.6.1	Allgemeines	41
3.6.2	Verformungsmessungen	41
3.6.3	Holzfeuchtemessungen	44
3.7	Protokollierung der Messdaten	45
4	Klimatische Randbedingungen	47
4.1	Allgemeines	47
4.2	Wahl der klimatischen Randbedingungen	47
4.3	Variation der Versuchsreihen	48
4.4	Auswertung natürlicher Klimadaten	48
4.5	Jahreszeitliche Schwankungen des Klimas	51
4.6	Absoluter Feuchtigkeitsgehalt in der umgebenden Luft	54
4.7	Wechselwirkungen zwischen Klima und Holzfeuchte	60
4.8	Beurteilung der klimatischen Versuchrandbedingungen	61
5	Versuchsergebnisse	63
5.1	Umfang des Versuchsprogramms	63
5.2	Darstellung der Versuchsergebnisse	73
5.2.1	Versuchsreihen mit Prüfkörpern aus Brettschichtholz	73
5.2.1.1	Versuchsreihe <i>BSH_I</i>	74
5.2.1.2	Versuchsreihe <i>BSH_II</i>	75
5.2.1.3	Versuchsreihe <i>BSH_III</i>	76
5.2.2	Versuchsreihen mit Prüfkörpern aus Fichtenvollholz	77
5.2.2.1	Versuchsreihe <i>Fi_I</i>	79
5.2.2.2	Versuchsreihe <i>Fi_II</i>	80
5.2.2.3	Versuchsreihe <i>Fi_III</i>	81
5.2.2.4	Versuchsreihe <i>Fi_IV</i>	83
5.3	Bezogene Darstellung der Kriechverformungen	84
5.3.1	Zusammengesetzte Verformungen	84
5.3.2	Bezogene Darstellung der Versuchsergebnisse	86
6	Der Sorptionseinfluß auf die Prüfkörpereigenschaften	91
6.1	Allgemeines	91
6.2	Numerische Simulation des Sorptionsverhaltens	91

6.2.1	Berechnungsgrundlagen der Finite-Element-Methode	91
6.2.2	Modellierung des Viertelholzquerschnitts	93
6.2.3	Beurteilung der Rechengenauigkeit des numerischen Modells	94
6.2.4	Numerische Berechnung der Flächenwerte	95
6.3	Funktionale Beschreibung der Holzfeuchteverteilung	96
6.3.1	Mathematische Formulierung des Feuchteverlaufs	96
6.3.2	Vergleichsrechnungen zum Feuchteverlauf	100
6.3.3	Feuchteabhängige Elastizitätszahlen und Ausdehnungskoeffizienten	102
6.4	Querschnittsgeometrie bei unterschiedlichen Ausgleichsfeuchten	103
6.5	Querschnittsgeometrie im Wechselklima	105
6.6	Sorptionsbedingte Änderungen der Flächenmomente 2. Grades	108
6.7	Der feuchteabhängige Elastizitätsmodul	110
6.8	Biegesteifigkeiten der Prüfkörper im Wechselklima	112
6.9	Zusammenfassung	116
7	Theorie der Bemessungskonzepte	117
7.1	Allgemeines	117
7.2	Vorbemerkungen zur DIN 1052 und zum EUROCODE 5	117
7.3	Gebrauchstauglichkeit biegebeanspruchter Bauteile	118
7.3.1	Berücksichtigung der Kriechverformungen gemäß DIN 1052	118
7.3.2	Berücksichtigung der Kriechverformungen gemäß EUROCODE 5	121
7.4	Knicksicherheit hölzerner Druckstäbe	123
7.4.1	Nachweis der Knicksicherheit gemäß DIN 1052	123
7.4.2	Nachweis der Knicksicherheit gemäß EUROCODE 5	126
7.5	Spannungstheorie II. Ordnung	130
7.5.1	Tragsicherheit nach Spannungstheorie II. Ordnung gemäß DIN 1052	130
7.5.2	Tragsicherheit nach Spannungstheorie II. Ordnung gemäß EUROCODE 5	134
7.6	Vergleich der Imperfektionsannahmen beider Normenkonzepte	136
7.7	Berücksichtigung des Kriechens bei Bauteilen aus Stahlbeton	138
7.7.1	Allgemeines	138
7.7.2	Beton u. Stahlbeton nach DIN 1045 bzw. DAfStb. Heft 220	138
7.7.3	Spannbeton nach DIN 4227, Teil 1	140
7.7.4	Stahlbeton und Spannbetontragwerke nach EUROCODE 2	142
7.7.5	Verbundkonstruktionen nach EUROCODE 4, Teil 1	145
8	Berechnungen nach Elastizitätstheorie II. Ordnung	146
8.1	Allgemeines	146
8.2	Tragsicherheitsnachweise gemäß DIN 1052 und EUROCODE 5	148
8.3	Berechnung der Stützenverformungen nach Theorie II. Ordnung	152

8.4	Vergleich der Berechnungen mit den Versuchsergebnissen	160
8.5	Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit	167
8.6	Kriechfaktoren und relative Kriechzunahmen	169
9	<i>Numerische Simulation des Kriechverhaltens</i>	177
9.1	Allgemeines	177
9.2	Nichtlineares Werkstoffgesetz	177
9.3	Beschreibung des viskoelastischen Materialverhaltens	179
9.3.1	Allgemeines zur funktionalen Beschreibung des Kriechens	179
9.3.2	Ausgewählte Ansatzfunktionen zur Beschreibung des Kriechverhaltens	180
9.3.2.1	Potenzansatz	181
9.3.2.2	Standard-Festkörper-Modell	181
9.3.2.3	Burgers-Modell	182
9.3.2.4	Verallgemeinertes Kelvin- bzw. Maxwell-Modell	183
9.3.2.5	Erweitertes Standard-Festkörper-Modell	183
9.3.3	Einfluss der Holzfeuchte auf die Beschreibung des Kriechverhaltens	185
9.3.4	Nichtlineare Regressionsanalyse	189
9.3.5	Bewertung der Residuen	190
9.3.6	Statistische Auswertung der Regressionskoeffizienten	192
9.3.7	Kurvenanpassung bei Kriechversuchen an hölzernen Druckstäben	192
9.3.7.1	Allgemeines	192
9.3.7.2	Vorgehensweise bei der Kurvenanpassung	193
9.3.7.3	Kurvenanpassung bei Versuchsreihen unter konstanten Klimabedingungen	194
9.3.7.4	Kurvenanpassung bei Versuchsreihen im Wechselklima	197
9.3.7.5	Zusammenfassung	199
9.4	<i>Numerische Simulation des Tragverhaltens hölzerner Druckstäbe</i>	201
9.4.1	Allgemeines	201
9.4.2	Simulation des nichtlinearen Tragverhaltens	201
9.4.3	Berücksichtigung des nichtlinearen Werkstoffverhaltens	202
9.4.4	Berücksichtigung der geometrischen Nichtlinearität	204
9.4.5	Programmablauf	205
10	<i>Berechnungen nach Plastizitätstheorie II. Ordnung</i>	206
10.1	Allgemeines	206
10.2	Spannungsumlagerungsvermögen des Querschnitts	206
10.3	Traglastberechnung von Holzdruckstäben	207
10.4	Numerische Simulation der Kriechverformungen	209
11	<i>Diskussion der Versuchsergebnisse</i>	216
11.1	Allgemeines	216
11.2	Vergleich der Kriechergebnisse von Biegeträgern und Druckstäben	216
11.2.1	Ergebnisse von Kriechversuchen an Holzbiegeträgern aus der Literatur	216

11.2.2	Ergebnisse der durchgeführten Kriechversuche an Holzdruckstäben	217
11.2.2.1	Kriechfaktoren	217
11.2.2.2	Relative Kriechzunahmen	218
11.2.2.3	Zusammenfassung	219
11.3	Verformungsberechnungen von Holzdruckstäben nach DIN 1052	220
11.4	Tragsicherheitsnachweise gemäß DIN 1052 und EUROCODE 5	222
11.5	Bemessungsverfahren und zeitabhängige Verformungen	223
11.5.1	Allgemeines	223
11.5.2	Knicksicherheitsnachweis nach DIN 1052	223
11.5.3	Spannungstheorie II. Ordnung nach DIN 1052	227
11.5.4	Knicksicherheitsnachweis nach EUROCODE 5	229
11.5.5	Spannungstheorie II. Ordnung nach EUROCODE 5	229
11.5.6	Zusammenfassung	230
12	Zusammenfassung und Ausblick	232
	Literaturverzeichnis	235