



Institut für Holzbau

Bauaufsichtlich anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
An der Hochschule 1· 86161 Augsburg · Tel.: 0821-5586-3136

Technischer Bericht

Kriechen von Brettsperrholz in der Nutzungsklasse 2

François Colling

Kurzfassung

Im Rahmen von zwei studentischen Projekten an der Hochschule Augsburg wurde das Kriechverhalten von Brettsperrholzträgern in der Nutzungsklasse 2 über einen Zeitraum von 15 Jahren untersucht.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die im EC 5 – NA für Brettsperrholz derzeit vorgesehenen Kriechbeiwerte k_{def} zu gering angesetzt sind.

Inhalt

1	Ausgangslage	2
2	Zustand der Prüfkörper	7
3	Durchbiegungen	7
4	Abschätzung von Kriechbeiwerten	8
4.1	Für die Prüfkörper	8
4.2	Für übliche Dach-/Deckenelemente	9
5	Literatur	10
6	Zusammenfassung, Fazit	10
7	Danksagung	10

1 Ausgangslage

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Hochschule Augsburg wurden in Zusammenarbeit mit der Fa. Merk Holzbau (heute: Merk Timber GmbH) in Aichach im Jahre 1999 Untersuchungen zur Bestimmung des Rollschubmoduls und des Kriechverhaltens von Bauteilen aus Brettsperrholz (BSPH) durchgeführt.

Die Untersuchungen über das Kriechverhalten wurden an 300 mm breiten MDH-Bauteilen mit einer Dicke von 85 mm (5 x 17 mm) und einer Stützweite von 1530 mm durchgeführt. Die verleimten Bretter wiesen Entlastungsnuten auf und die Bauteile wurden im Vakuumverfahren verklebt. Verwendet wurde dabei ein Melaminharzkleber Dynomel L 425 mit Härter 467.

Es wurden 3 Reihen mit unterschiedlicher Belastung untersucht (**Bild 1**):

- Reihe 1: Träger mit konstanter Momentenbeanspruchung,
- Reihe 2: Träger mit Dreipunktbelastung,
- Reihe 3: Träger mit Einzellast in Feldmitte

Von jeder Versuchsreihe wurden zwei Träger untersucht.

Reihe 1	
Reihe 2	
Reihe 3	

Bild 1 Versuchsreihen

Diese Versuchsreihen wurden so ausgewählt, dass sie unterschiedliche Querkraftbeanspruchungen und damit auch unterschiedliche Schubverformungsanteile an der Gesamtdurchbiegung aufweisen.

Die Belastung wurde so gewählt, dass in der äußersten Zuglamelle eine effektive Biegeandspannung von etwa 10,6 – 10,9 N/mm² auftritt (unter Berücksichtigung des wirksamen Flächenmomentes). Dies entspricht in etwa der damals geltenden zulässigen Biegeandspannung für Vollholz der Sortierklasse S 10.

Die Belastung wurde über eigens hergestellte Betongewichte aufgebracht. Diese hatten je nach Reihe ein Gewicht von 600 bis 800 kg.

Die Prüfkörper wurden in einem offenen, extra dafür hergestellten „Schuppen“ untergestellt. Sie waren damit dem Außenklima ausgesetzt, vor Niederschlägen jedoch weitestgehend geschützt. Diese Lagerung entspricht nach heutiger Zuordnung einer „ruppigen“ Nutzungsklasse 2.

In **Bild 2** bis **Bild 6** sind der Versuchsaufbau und die aufbrachten Belastungen dargestellt.



Bild 2 Überdachter „Schuppen“ mit eingebauten Prüfkörpern



Bild 3 Träger mit konstanter Momentenbeanspruchung (Reihe 1)



Bild 4 Betongewicht bei Träger mit konstanter Momentenbeanspruchung (Reihe 1)



Bild 5 Träger mit Drittelpunktbelastung (Reihe 2)



Bild 6 Träger mit Einzellast in Feldmitte (Reihe 3)

In **Tabelle 1** sind die erwarteten rechnerischen Anfangsdurchbiegungen infolge Querkraft- ($w_{Q,inst}$) und Momentenbeanspruchung ($w_{M,inst}$) zusammengestellt. Ebenfalls angegeben sind die jeweils zugehörigen Anteile an der Gesamtdurchbiegung.

Tabelle 1 Erwartete rechnerische Anfangsdurchbiegungen

	Reihe 1		Reihe 2		Reihe 3	
	in [mm]	in [%]	in [mm]	in [%]	in [mm]	in [%]
$w_{Q,inst,erw.}$ ¹⁾	-	-	1,37	19,4%	1,36	23,6%
$w_{M,inst,erw.}$ ²⁾	6,85	100%	5,70	80,6%	4,41	76,4%
$w_{inst,erw.}$	6,85	100%	7,07	100%	5,77	100%

¹⁾ Berechnet unter Annahme folgender Werte:
 $G = 600 \text{ N/mm}^2$ für die Längslagen, $G_R = 60 \text{ N/mm}^2$ (Rollschubmodul) für die Querlagen,
 Wirksame Schubsteifigkeit $S = 2,225 \cdot 10^6 \text{ N}$ berechnet nach Eurocode 5-1-1:2010 NCI NA.5.6.2.2

²⁾ Berechnet nach elastischer Verbundtheorie unter Annahme folgender Werte:
 $E = 11.000 \text{ N/mm}^2$ und $I_{ef} = 12,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ unter Berücksichtigung des Querschnittsaufbaus

Aus dieser Tabelle ist zu erkennen, dass bei den Trägern mit Querkraftbeanspruchung (Reihe 2 und 3) die Anteile der Schubverformungen an den zugehörigen Gesamtverformungen beträchtlich sind (ca. 19,4% für Reihe 2 und ca. 23,6% für Reihe 3). Dies kann mit der vergleichsweise kurzen Stützweite ($\ell = 1,53 \text{ m}$) der Prüfkörper erklärt werden.

Unmittelbar nach Lastaufbringung (30. August 1999) wurden an den Prüfkörpern die Durchbiegungen w_{inst} gemessen. Die gemessenen Durchbiegungen sind in **Tabelle 2** zusammengestellt.

Tabelle 2 Gemessene Durchbiegungen in [mm]

	Reihe 1		Reihe 2		Reihe 3	
	PK 1	PK 2	PK 3	PK 4	PK 5	PK 6
gemessen: w_{inst}	4,94	5,18	6,42	9,83	5,54	4,82
Anmerkung:	Die angegebenen Werte stellen Mittelwerte von mehreren Messungen dar und sind kein Maßstab für die Genauigkeit der durchgeführten Messungen					

Die Durchbiegungen wurden während der nächsten 4 Monate (ca. 127 Tage) kontinuierlich gemessen. In den darauffolgenden 1 – 2 Jahren wurden die Durchbiegungen von Mitarbeitern der Fa. Merk nur noch sporadisch gemessen.

In **Bild 7** ist die Zunahme der Durchbiegungen bezogen auf die jeweilige Anfangsdurchbiegung dargestellt.

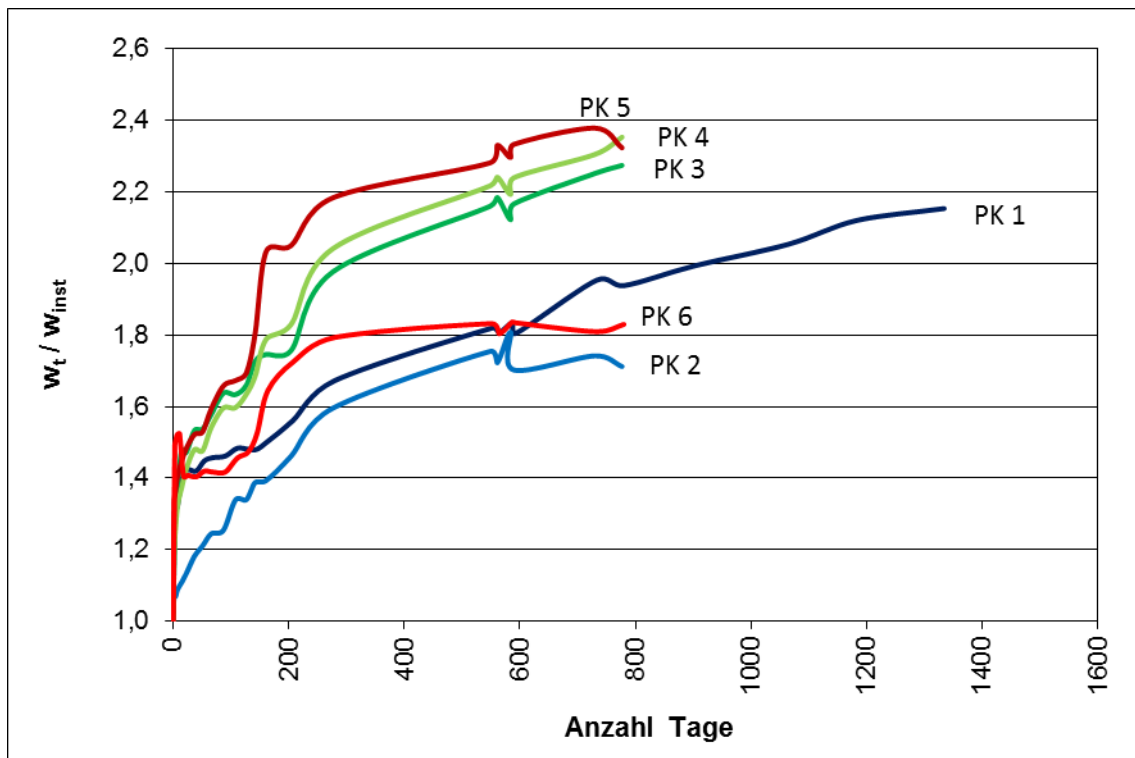


Bild 7 Verhältnis w_t / w_{inst}

Zu Beginn des Jahres 2014 wurden die Prüfkörper im Zuge eines weiteren studentischen Projektes noch einmal abschließend untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind nachfolgend beschrieben.

2 Zustand der Prüfkörper

An den Probekörpern wurden die Holzfeuchten an verschiedenen Stellen gemessen. Die gemessenen Werte lagen in einem einheitlichen Bereich von 14 – 15%. Diese Holzfeuchte ist für Holz in der NKL 2 als typisch anzusehen.

3 Durchbiegungen

An den Prüfkörpern wurden die Durchbiegungen nach zwischenzeitlich 15 Jahren Standzeit gemessen. In **Tabelle 3** sind die gemessenen Werte zusammengestellt.

Tabelle 3 gemessene Durchbiegungen w_{15y} nach 15 Jahren in [mm]

	Reihe 1		Reihe 2		Reihe 3	
	PK 1	PK 2	PK 3	PK 4	PK 5	PK 6
w_{15y}	9,77	8,62	21,81	31,37	16,59	23,74

Anmerkung: Die angegebenen Werte stellen erneut Mittelwerte von mehreren Messungen dar und sind kein Maßstab für die Genauigkeit der durchgeführten Messungen

In **Bild 8** ist das Verhältnis w_t / w_{inst} dargestellt, wobei der Zeitraum zwischen den kontinuierlichen Messungen und der jeweils letzten Messung nach 15 Jahren gestrichelt dargestellt ist.

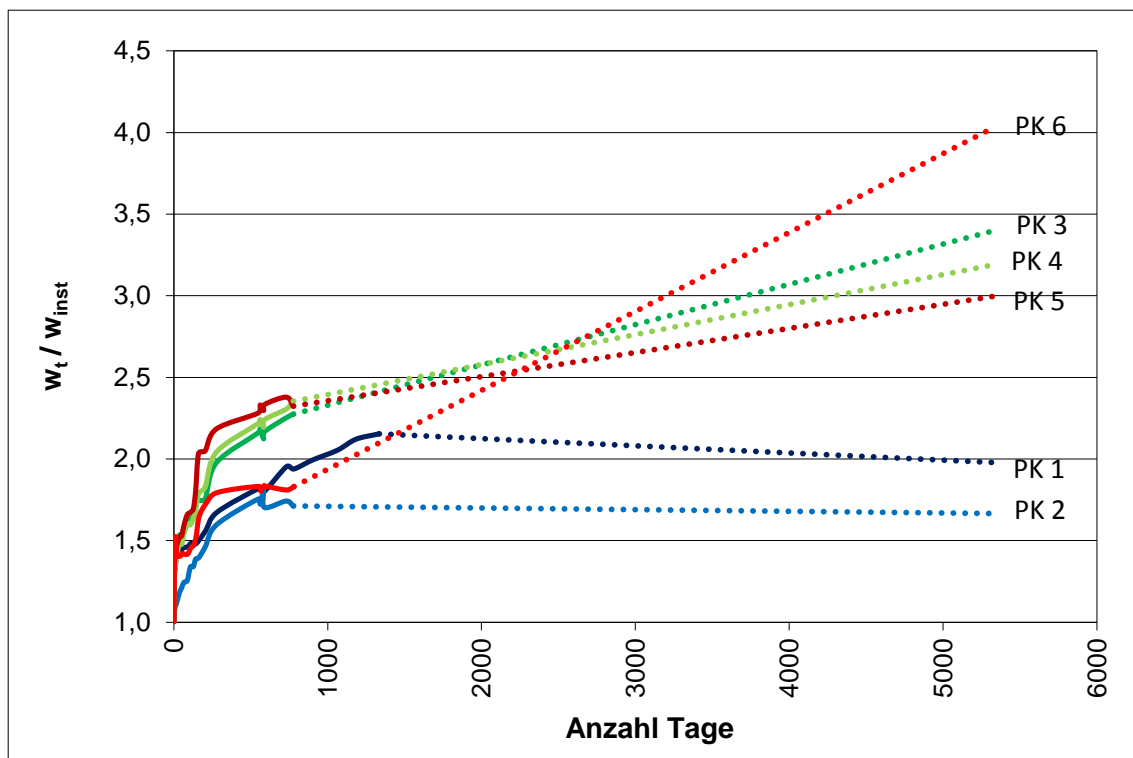


Bild 8 Verhältnis w_t / w_{inst}

Aus diesem Bild ist zu erkennen, dass die Prüfkörper PK 1 und 2 der Reihe 1 mit konstantem Moment keine weiteren Verformungen erfahren haben, während die Durchbiegungen der übrigen Versuchskörper z.T. noch erheblich zugenommen hat.

Anmerkung: Die Messung der Durchbiegungen in situ konnte sowohl bei den ersten Messungen als auch bei den jetzigen Messungen nur mit Zollstock und Schieblehre erfolgen. Die scheinbare Abnahme der Durchbiegungen bei den PK 1 und 2 sollte daher nicht überbewertet werden. Die Messungen erlauben aber eine sehr gute Aussage über Tendenzen.

Auffallend ist weiterhin das Verhalten des Prüfkörpers PK 6, dessen Durchbiegungen ungewöhnlich stark zugenommen haben. Eine Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden.

4 Abschätzung von Kriechbeiwerten

4.1 Für die Prüfkörper

Für die Versuchskörper PK 1 und PK 2 (Reihe 1) unter konstanter Momentenbeanspruchung kann die Enddurchbiegung w_{fin} wie folgt berechnet werden:

$$w_{fin} = w_{inst} \cdot (1 + k_{def,M}) \quad \text{Gl. (1)}$$

mit

- w_{fin} = Enddurchbiegung
- w_{inst} = elastische Anfangsdurchbiegung
- $k_{def,M}$ = k_{def} – Wert für Biegebeanspruchung

Mit dieser Gleichung kann der $k_{def,M}$ – Wert aus den gemessenen Durchbiegungen wie folgt berechnet werden:

$$k_{def,M} = \frac{w_{fin}}{w_{inst}} - 1 \quad \text{Gl. (2)}$$

Anhand von **Bild 8** kann für die PK 1 und 2 für eine Beanspruchung nach 15 Jahren das Verhältnis w_{15y} / w_{inst} im Mittel zu etwa 1,8 abgeschätzt werden. Dies entspricht einem k_{def} – Wert von etwa 0,8 und bestätigt den im EC 5 angegebenen k_{def} – Wert für Vollholzprodukte in der NKL 2.

Die z.T. erhebliche Zunahme der Durchbiegungen bei den übrigen Prüfkörpern (Reihen 2 und 3) kann daher nur mit zusätzlichen Schubverformungen erklärt werden. Setzt man unterschiedliche k_{def} – Werte für Biegung und Rollschub an, so kann die Enddurchbiegung für diese Träger wie folgt berechnet werden:

$$w_{fin} = w_{inst,Q} \cdot (1 + k_{def,Q}) + w_{inst,M} \cdot (1 + k_{def,M}) \quad \text{Gl. (3)}$$

mit

- w_{fin} = Enddurchbiegung
- $w_{inst,Q}$ = elastische Anfangsdurchbiegung infolge Querkraftbeanspruchung
- $k_{def,Q}$ = k_{def} – Wert für Rollschubbeanspruchung
- $w_{inst,M}$ = elastische Anfangsdurchbiegung infolge Momentenbeanspruchung
- $k_{def,M}$ = k_{def} – Wert für Momentenbeanspruchung
= 0,8 (siehe oben)

Anhand von **Tabelle 1** kann abgeschätzt werden, dass bei den Prüfkörpern der Reihe 2 (Drittelpunktbelastung) der rechnerische Anteil der Schubverformung w_Q an der Gesamtdurchbiegung etwa 19,4% beträgt, und bei den Prüfkörpern der Reihe 3 (Einzellast in Feldmitte) etwa 23,6%. Damit kann Gl.(3) für diese Versuchsreihen wie folgt umgeformt werden:

$$\text{Reihe 2: } w_{fin} = 0,194 \cdot w_{inst} \cdot (1 + k_{def,Q}) + 0,806 \cdot w_{inst} \cdot (1 + k_{def,M}) \quad \text{Gl.(4a)}$$

$$\text{Reihe 3: } w_{fin} = 0,236 \cdot w_{inst} \cdot (1 + k_{def,Q}) + 0,764 \cdot w_{inst} \cdot (1 + k_{def,M}) \quad \text{Gl.(4b)}$$

Diese Gleichungen können dann zur Bestimmung von $k_{def,Q}$ wie folgt umgeformt werden:

$$\text{Reihe 2: } k_{def,Q} = \frac{\frac{w_{fin}}{w_{inst}} - 0,806 \cdot (1 + k_{def,M})}{0,194} - 1 \quad \text{Gl.(5a)}$$

$$\text{Reihe 3: } k_{def,Q} = \frac{\frac{w_{fin}}{w_{inst}} - 0,764 \cdot (1 + k_{def,M})}{0,236} - 1 \quad \text{Gl.(5b)}$$

In **Tabelle 4** sind die so abgeschätzten $k_{def,Q}$ – Werte für die jeweiligen Prüfkörper zusammengestellt.

Tabelle 4 abgeschätzte $k_{def,Q}$ - Werte

	w_{fin} [mm]	w_{inst} [mm]	$k_{def,M}$	$k_{def,Q}$
PK 3	21,81	6,42	0,8	9,0
PK 4	31,37	9,83		8,0
PK 5	16,59	5,54		5,9
PK 6	23,74	4,82		14,0

Aus dieser Zusammenstellung ist zu erkennen, dass der Kriechbeiwert für eine Rollschubbeanspruchung deutlich über dem bislang angenommenen Wert von 0,8 liegt. Die durchgeführten Untersuchungen deuten darauf hin, dass der Kriechbeiwert für Schubbeanspruchung etwa 10mal größer ist als derjenige für Biegebeanspruchung.

4.2 Für übliche Dach-/Deckenelemente

Die untersuchten Prüfkörper wiesen sehr kurze Stützweiten auf, bei denen der Anteil der Schubverformung deutlich über dem liegt, was bei Dach-oder Deckenelementen üblich ist. Nachfolgend soll für ein Dachelement ein „gemittelter“ Kriechbeiwert k_{def} – Wert berechnet werden.

Gegeben: Einfeld-Dachelement mit 5 Lagen à 27 mm ($D = 135$ mm) in der NKL 2 mit einer Stützweite von $\ell = 4,50$ m. Belastung: $g_k = 3,0$ kN/m²

Rechenwerte: $G = 600$ N/mm², $G_R = 60$ N/mm², $E = 11000$ N/mm², $I_{ef} = 162,385 \cdot 10^6$ mm⁴

Durchbiegungen: $w_Q = 0,64$ mm

$$\underline{w_M = 8,97 \text{ mm}}$$

$$w_{inst} = 9,61 \text{ mm } (= \ell/470)$$

Unter Ansatz eines Kriechbeiwertes für Biegung von $k_{\text{def},M} = 0,8$ und für Rollschub von $k_{\text{def},Q} = 10 \cdot 0,8 = 8,0$ ergibt sich die Enddurchbiegung w_{fin} nach Gl. (3) zu:

$$w_{\text{fin}} = 0,64 \cdot (1 + 8,0) + 8,97 \cdot (1 + 0,8) = 21,9 \text{ mm} \quad (= \ell/205)$$

Bezieht man die Enddurchbiegung w_{fin} auf die gesamte Anfangsdurchbiegung w_{inst} , so ergibt sich für das Deckenelement in der NKL 2 ein „gemittelter“ Kriechbeiwert $k_{\text{def,mean}}$ von:

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} \cdot (1 + k_{\text{def,mean}}) \rightarrow k_{\text{def,mean}} = 1,28$$

Dieser Wert ist deutlich größer als der derzeit für die NKL 2 angenommene Wert von 0,8.

5 Literatur

- [1] EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General - Common rules and rules for building.
- [2] DIN EN 1995-1-1/NA: National Annex – Nationally determined parameters.
- [3] DIN 1052:1988: Holzbauwerke.
- [4] Jöbstl, R.A.; Schickhofer, G. 2007: Comparative Examination of Creep of GTL and CLT-Slabs in Bending“, CIB-W18/40-12-3, Bled.

6 Zusammenfassung, Fazit

Im Rahmen von zwei studentischen Arbeiten an der Hochschule Augsburg wurden die Durchbiegungen von insgesamt 6 Versuchskörpern, die etwa 15 Jahre lang im Freien überdacht einer Belastung in der Größenordnung der „zulässigen“ Spannung nach DIN 1052-„alt“ ausgesetzt waren, untersucht.

Anhand der gemessenen Durchbiegungen ist davon auszugehen, dass das Rollschub-Kriechen deutlich ausgeprägter ist, als das Kriechen unter Biegebeanspruchung. Die Versuche deuten darauf hin, dass der Kriechbeiwert für Rollschubbeanspruchung in der NKL 2 etwa 10-mal größer ist als der Kriechbeiwert für Biegebeanspruchung.

Überträgt man diese Ergebnisse auf Dach- und Deckenelemente mit üblichen Spannweiten, so führt dies zu einem „gemittelten“ Kriechbeiwert von $k_{\text{def,mean}} \approx 1,28$ (für die NKL 2), was deutlich über dem im EC 5 angenommenen Wert von $k_{\text{def}} = 0,8$ liegt.

Somit deuten die durchgeführten Untersuchungen darauf hin, dass die derzeit im EC 5 – NA vorgesehenen Kriechbeiwerte für Brettsperrholz zu gering angesetzt sind.

Bei der Bewertung dieses Ergebnisses sind jedoch folgende Punkte zu beachten:

- Das Ergebnis gilt nur für die untersuchte NKL 2 und kann allenfalls „tendenziell“ auf die bei Brettsperrholzdecken üblicherweise gegebene NKL 1 übertragen werden.
- Weiterhin gilt die gemachte Aussage streng genommen nur für die untersuchten 5-lagigen Prüfkörper mit Brettdicken von 17 mm und vorhandenen Entlastungsnuten. Eine Extrapolation auf andere Querschnittsaufbauten mit anderen Brettdicken und ohne Entlastungsnuten ist nur bedingt möglich.

7 Danksagung

Folgenden Studenten sei herzlich für ihr Engagement bei diesem Projekt gedankt:

Anna Brechenmacher, Alessandra Kapfer, Adrian Knoll, Andrea Paul, Andreas Gruber