

a) *Darstellung der Forschungsarbeit*

1. SCHUBANALOGIEVERFAHREN

Wie bereits im Zwischenbericht 2004 erwähnt, wurde das ursprüngliche Vorhaben, die Differentialgleichung für den gekrümmten Kreisbogenträger mit elastischem Verbundquerschnitt aus zwei Einzelteilen herzuleiten und zu lösen, verworfen.

In Anlehnung an das Schubanalogieverfahren und Kreuzinger [5] wurde ein Federmodell für die Beschreibung der effektiven Biegesteifigkeit auf Verbundträger mit konstanter Krümmung angewendet. Dazu wird das fiktive Trägersystem in drei lineare Verschiebungsfedern aufgelöst. Zwei dieser Federn mit den Federsteifigkeiten $K_{A,B}$ und $K_{B,B}$ berücksichtigen die Biegeverformungen der beiden Träger A und B. Die dritte mit der Federsteifigkeit $K_{B,S}$ beschreibt die Schubverformung des Trägers B. Werden die beiden in Reihe geschalteten Federn des Trägers B parallel mit der Feder des Trägers A gekoppelt (Abbildung 1) und dieses System über eine Lastverteilungsplatte gleichmäßig belastet (Forderung gleicher Biegelinien), ergibt sich, ausgehend von den Differentialgleichungen für den Biegebalken, eine Gesamtfedersteifigkeit K . Diese Gesamtfedersteifigkeit entspricht der effektiven Steifigkeit EI_{eff} Verbundträgers mit einem doppelsymmetrischen Querschnitt aus bis zu drei Einzelteilen.

Für ausgewählte Laststellungen, bei denen sich eine sinusförmig über die Bogenlänge verteilte Krümmung ergibt, existiert eine ebenfalls über die Bogenlänge konstante effektive Biegesteifigkeit EI_{eff} . Diese wurde zur Ermittlung der Kraft- und Verschiebungsgrößen für das in Abbildung 1 dargestellte System hergeleitet.

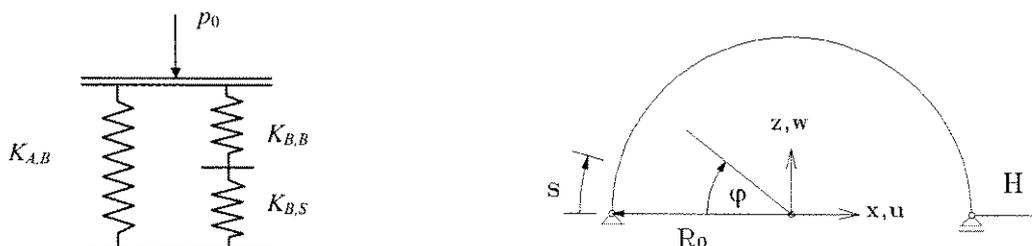


Abbildung 1: *Federmodell nach Kreuzinger [5] (links); Bogenträger mit Bogenschubkraft (rechts)*

2. RELAXATION DES ANFANGSSPANNUNGSZUSTANDES

Versuche zum Relaxationsverhalten von Biegespannungen in konstant gekrümmten Brett lamellen zeigten eine eindeutige Abhängigkeit des Spannungsabbaus von der Elastizität der Brett lamellen. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von 286 Tagen (6866 Stunden) durchgeführt. Nach diesem Zeitraum wird von einem weitgehenden Abschluss der Spannungsrelaxation ausgegangen, was durch eine entsprechende Konvergenz der aufgezeichneten Relaxationskurven bekräftigt wird. Demnach verbleiben in einer Brett lamelle der Festigkeitsklasse C35 noch etwa 76% der Anfangsbiegespannungen, bei einer Festigkeitsklasse C20 noch 64% (Abbildung 2). Dem Zusammenhang kann, zumindest in dem für die baupraktische Anwendung relevanten Bereich, Linearität unterstellt werden. Die

Beschreibung durch eine entsprechende Näherungskurve wird vorgeschlagen (Abbildung 3). Der in der Literatur oft postulierte Zusammenhang zwischen dem Endmaß der Relaxation und der anfänglichen Querschnittsausnutzung ([1],[2],[3],[4]) konnte bei den durchgeführten Versuchsreihen hingegen nicht bestätigt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Initialspannungen infolge Brettkrümmung zu einem erheblichen Anteil bestehen bleiben und bei der Bemessung zu berücksichtigen sind. Die in der schweizerischen Holzbaunorm SIA 265 angegebenen Abminderungsfaktoren der Bemessungsspannung in Abhängigkeit des Krümmungsradius scheint diesen Sachverhalt nicht vollumfänglich zu berücksichtigen.

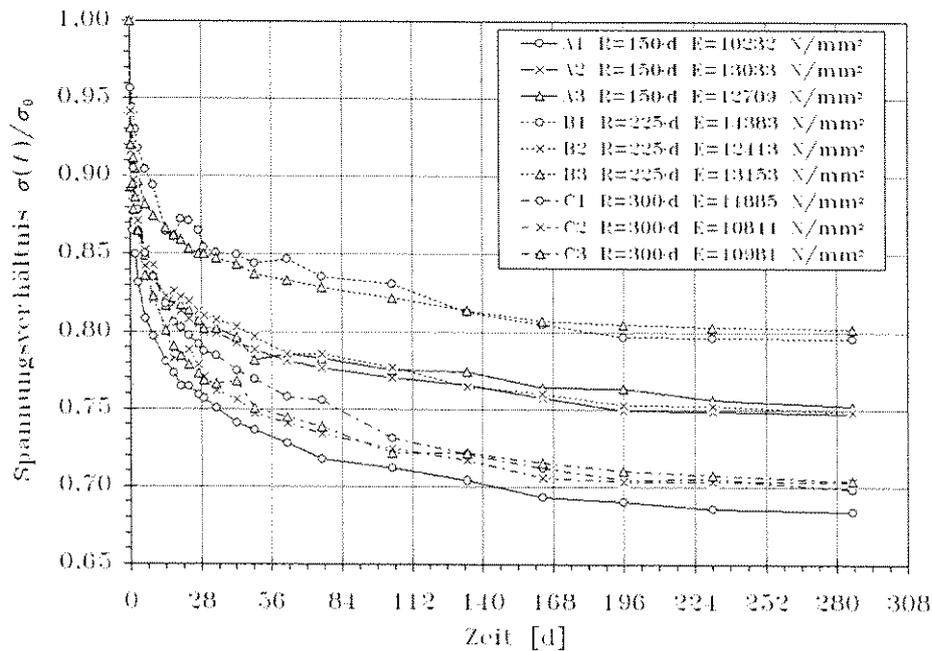


Abbildung 2: Gemessene Spannungsrelaxation der Einzelbrettversuche über einen Zeitraum von 286 Tagen

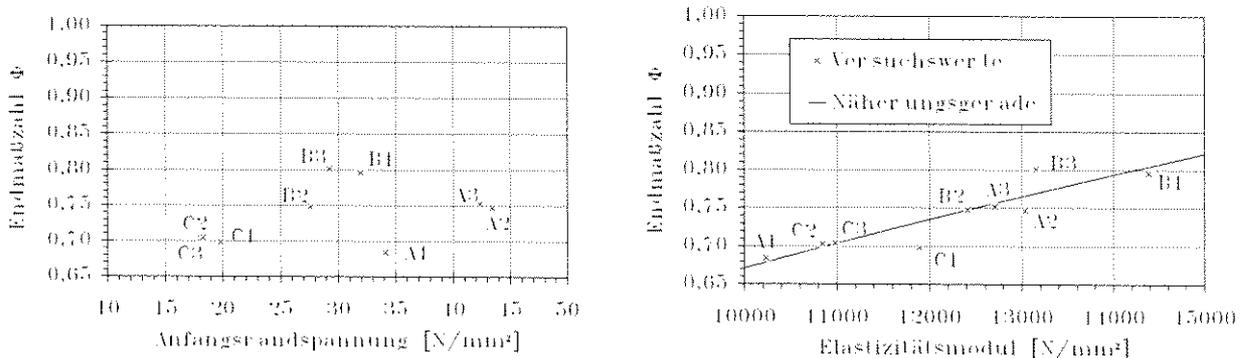


Abbildung 3: Endmaßzahl der Spannungsrelaxation nach einer Versuchsdauer von 286 Tagen in Abhängigkeit von der Anfangsrandspannung σ_0 (links) und vom Elastizitätsmodul (rechts)

3. STIFFFÖRMIGE VERBINDUNGSMITTEL

Bei der Brettrippenbauweise sowie bei auf Biegung mit Querkraft beanspruchten mehrschichtigen Verbundkonstruktionen, bei denen zum Fügen der Einzelquerschnittsteile stiftförmige Verbindungsmittel zur Verwendung kommen, liegen oft vergleichsweise gedrungene Verbindungsschlankheiten vor. Auf Grund fehlender Einspannung des Verbindungsmittel und infolge des punktsymmetrischen Verschiebungsverhaltens des Stiftes weicht das mechanische Verhalten des einzelnen Verbindungsmittels sowohl in Bezug auf seine Tragfähigkeit, als auch hinsichtlich seiner Verschiebungssteifigkeit von den in den Normen angegebenen Rechenwerten ab. Diese können daher nur bedingt zum Nachweis der Grenzzustände angesetzt werden. Eine Modifizierung der Tragmodelle nach Johansen wurde für die maßgebenden Versagensfälle für entsprechende zwei- und dreischnittige Verbindungen vorgenommen. Zur Evaluation der theoretischen Rechenwerte wurden Abscherversuche unter Ansatz verschiedener Verbindungsschlankheiten durchgeführt. Die Mittelwerte der Tragfähigkeiten stimmen gut mit den theoretischen Werten überein. Bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit sind für die Materialeigenschaften die Fraktilwerte zu verwenden. Auf Grund der ausgeprägten Duktilität der untersuchten Verbindung und des sehr hohen Grades an statischer Unbestimmtheit scheint es gerechtfertigt, diese Nachweise mit einem Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialeite von $\gamma_M=1,10$ zu führen.

Die Mittelwerte der Anfangsverschiebungsmoduln aus den Versuchsreihen wurden den empirischen Werten nach SIA 265 und DIN 1052 gegenübergestellt. Es zeigen sich zum Teil erhebliche Unterschiede. Für die baupraktisch relevanten Fälle ergeben sich bei allen untersuchten Verbindungen Steifigkeitswerte, die sehr viel kleiner sind als die Rechenwerte nach den Normen. Es konnte eine Grenzschlankheit ermittelt werden ab der sich die Anfangssteifigkeit der vorliegenden Verbindungen mit den Rechenwerten nach SIA 265 bestimmen lassen. Diese ist vergleichsweise hoch und hat für die behandelte Brettrippenbauweise kaum baupraktische Bedeutung. Die allgemeingültige Angabe eines der Verbindung angepassten Wertes anhand der Versuchsergebnisse ist auf Grund des vergleichsweise kleinen Umfanges der einzelnen Versuchsreihen und der vorgefundenen Komplexität kaum möglich. Für den baupraktisch relevanten Fall unter Verwendung von Brett lamellen mit einer Abmessung von 27x80 mm² und selbstbohrenden Schrauben mit einem Durchmesser von 7,5 mm können die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit näherungsweise mit einem Drittel des Rechenwertes des Anfangsverschiebungsmoduls K_{ser} nach SIA 265 geführt werden.

Bei geschraubten Verbindungen kann durch das wechselseitig geneigte Einbringen der Verbindungsmittel eine erhebliche Steigerung der mechanischen Eigenschaften erzielt werden. Bei einer Neigung um 30° von der Brettnormalen kann bereits mehr als eine Verdoppelung sowohl der Tragfähigkeit als auch der Anfangssteifigkeit festgestellt werden. Für diesen Fall scheinen die Steifigkeitswerte nach SIA 265 anwendbar zu sein. Allerdings sind die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf Grund der vergleichsweise geringen Duktilität dieser Verbindungen mit einem erhöhten Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M=1,3$ zu führen.

4. ZUR STATISCHEN BERECHNUNG VON GITTERSCHALEN IN BRETTRIPPENBAUWEISE

Zur Abschätzung des Einflusses bestimmter Parameter auf die Gesamtsteifigkeit einer Rippenschale wurde eine Studie am Beispiel einer einfach gekrümmten Tonnenschale in Rippenbauweise durchgeführt. Die Struktur wurde unter Ansatz des Dreischichtenmodells nach dem Schubanalogieverfahren berechnet. Es konnte gezeigt werden, dass für den untersuchten Fall und bei einer Verwendung von vergleichsweise schubweichen Verbundquerschnitten auf eine Berücksichtigung der verminderten Steifigkeit im Bereich der Knoten dann verzichtet werden kann, wenn die jeweils äußeren Brettlamellen als durchlaufend ausgebildet werden. Die Zunahme der Verformung unter Ansatz eines zu 60% mobilisierten Feldbereiches betragen im untersuchten Fall etwa 10%. Infolge der Spannungskonzentrationen im Bereich der geschwächten Knoten müssen diese Stellen bei den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit aber mit ihrem verminderten Widerstand berücksichtigt werden.

5. LITERATUR:

- [1] Bach, L.; Rovner, B.: Stress Relaxation in Wood at Different Grain Angles. Canadian Forest Production Laboratory, Information Report VP-X-14, Vancouver 1967
- [2] Becker, H.; Reiter, L.: Über den Einfluss von Temperatur und Holzfeuchtigkeit auf die Relaxation der Biegespannungen in Rotbuchenholz. Holz- als Roh- und Werkstoff 28 (1970) 7, S. 264-270
- [3] Echenique-Manrique, R.: Stress Relaxation of Several Levels of Strain. Wood Science and Technology 3 (1969), S. 49-73
- [4] Kingston, R.S.T.; Clarke, N.L.: Some Aspects of the Rheological Behaviour of Wood. Australian Journal of Applied Science 12 (1961) 2, S. 211-240
- [5] Kreuzinger, H.: Verbundbauteile aus nachgiebig miteinander verbundenen Querschnittsteilen. Ingenieurholzbau; Karlsruher Tage 2000, Forschung für die Praxis 28 (2000), S. 42-55

Autor dieses Zwischenberichtes:

Dipl.-Ing. Claudio Pirazzi

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbaukonstruktionen der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne

Prof. Julius Natterer

Ehem. Lehrstuhlinhaber des Lehrstuhls für Holzbaukonstruktionen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne

b) *Publikationen, die im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgten.*

Leichte Flächentragwerke aus Holz - Beschreibung geodätischer Linien auf Freiformflächen. Holzforschung Schweiz 12 (2004) 2, S. 4-7

c) *Publikationen, die sich noch im Druck befinden und später nachgeliefert werden.*

Leichte Flächentragwerke aus Holz: Zur Berechnung und Konstruktion von Gitterschalen in Brettrippenbauweise mit elastischem Verbundquerschnitt. Dissertation ETH Lausanne. Abschluss voraussichtlich 4/2005

d) *Sind Publikationen vorgesehen?*

- Die Relaxation von Biegespannungen in gekrümmten Holzlamellen (Arbeitstitel). Holzforschung Schweiz 13 (2005) 1
- Relaxation of Bending Stress in Curved Timber Lamellas. Holz als Roh- und Werkstoff
- Besonderheiten im Einsatz von stiftförmigen Verbindungsmitteln für mehrschichtige Verbundträger aus dünnen Lamellen am Beispiel von Gitterschalen in Brettrippenbauweise. Bautechnik oder Bauingenieur
- Die Entwicklung eines Werkzeuges zur Beschreibung geodätischer Linien auf einer Fläche und deren Bedeutung für die Konstruktion von Holzrippenschalen. Bautechnik oder Bauingenieur