

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 94 (1976)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Zeitabhängige Verformungen von Holzbauteilen unter mechanischer und klimatischer Beanspruchung  
**Autor:** Meierhofer, Ulrich A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73118>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

bekämpfen, kommt den baulich-gestalterischen, material-technischen und konstruktiven Vorkehrungen bzw. dem Pilzbefall eine primäre Bedeutung zu. Falls solche Massnahmen die Durchfeuchtung von Holzbauteilen nicht sicher verhindern können, sollten auch im Hochbau chemische Holzschutzmittel eingesetzt werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] E. Schild, R. Oswald, D. Rogier: Untersuchungen über das Ausmass und die Schwerpunkte der Bauschäden im Wohnungsbau. Rhein.-Westf. Tech. Hochschule Aachen, Ber. PM-47, (1973), Seite 1 bis 11.
- [2] V. Würzler: Die Bauschaden-Dokumentation der EMPA. Material & Technik 4 (1976), S. 23-27.
- [3] J. Sell: Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. Veröffentlichung in Vorbereitung.
- [4] W. Frank: Einwirkung von Regen und Wind auf Gebäudefassaden. Ber. Bauforsch. (1973), H. 86, S. 17-40.
- [5] J. Sell, U. Leukens: Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen. Zweite Mitteilung: Verwitterungserscheinungen an ungeschützten Hölzern. Holz Roh-Werkst. 29 (1971), S. 23-31.
- [6] H. Kühne, J. Sell: Über Schäden an neuzeitlichen Holz-Aussenfenstern. Holz-Zbl. 94 (1968), S. 1857-1860.
- [7] E. Seifert, H. Froelich, J. Schmid, K. Laun: Untersuchung über die Ursachen von Schäden an Holzfenstern durch holzerstörende Pilze - Abschlussbericht 1970. Inst. f. Fenstertechnik e.V./Rosenheim (1971), S. 1-34.
- [8] H. Kühne: Holzschutz als Aufgabe des projektierenden Baufachmannes. Schweiz. Bauztg. 84 (1966), S. 99-106.
- [9] J. Sell: Grundsätzliche Anforderungen an Oberflächenbehandlungen für Holz im Aussenbau (Literaturübersicht). Holz Roh-Werkst. 33 (1975), S. 336-340.
- [10] O. Wälchli: Erfahrungen und Entwicklungen im Bauholzschutz. Schweiz. Zeitschr. Forstwesen 119 (1968), S. 446-464.
- [11] J. Sell: Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten hydrophobierender Holzschutzmittel und Oberflächenbehandlungen für Aussenbauteile. Holz-Zbl. 101 (1975), S. 1474-1475.

Adresse des Verfassers: J. Sell, a.i. Leiter der Abt. Holz der EMPA, 8600 Dübendorf.

## Zeitabhängige Verformungen von Holzbauteilen unter mechanischer und klimatischer Beanspruchung

Von Ulrich A. Meierhofer, EMPA, Dübendorf

DK 674.04

Verformungen von Holzbauteilen, wie sie unter langandauernder, mechanischer und klimatischer Beanspruchung auftreten können, gehören zu den alltäglichen Erscheinungen und sind vor allem bei alten Bauten zu beobachten. Es sei hier nur auf die «durchhängenden» Dachfirste hingewiesen, die zur pittoresken Erscheinung von Altstadt-Häuserzeilen beitragen (Bild 1). In den meisten Fällen haben diese, im Laufe der Jahrzehnte, manchmal auch Jahrhunderte entstandenen Durchbiegungen zu keinen Schäden oder Beeinträchtigungen der Nutzung geführt. Die Konstruktionsweise, zimmermannsmässiges Tragwerk und Ziegeldach erwies sich als verformungsunempfindlich.

Bei den heutigen Bauten sind im allgemeinen viel strengere Anforderungen bezüglich der maximalen Deformationen von Bauteilen zu erfüllen. Dies kann durch verschiedene Ursachen bedingt sein, so etwa durch die Kombination von Holz mit wesentlich steiferen Materialien, durch die Nutzung einer Bauteile mit mechanisierten Geräten, die eine Unterlage mit wenig Verformung voraussetzen oder zur Verhütung ungünstiger Auswirkungen wie die Wassersackbildung bei Flachdächern.

Bei der Bemessung von Holztragwerken wird infolge der strengen Anforderungen oft das Verformungsverhalten massgebend, während die zulässigen Spannungen nicht ausgenutzt werden können. Da dies aus wirtschaftlichen Gründen unerwünscht ist, erscheint es sinnvoll, sowohl die Anforderungen wie auch die effektiv auftretenden Verformungen einer genauen Analyse zu unterziehen.

#### Verformungseigenschaften, Normwerte

Was die kurzzeitigen Verformungen von Holztragssystemen, von Material und Verbindungen unter mechanischer Beanspruchung betrifft, stehen heute reichlich Unterlagen und Angaben zur Verfügung. Auch für die Holzwerkstoffe (Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten) sind, wenn auch in bescheidenerem Mass, Untersuchungswerte, bzw. Normangaben vorhanden.

Die gegenwärtig in Neubearbeitung stehende SIA-Holzbaunorm soll gegenüber der bestehenden Norm vermehrte Richtwerke bezüglich Verformungseigenschaften, insbesondere

für Holzwerkstoffe und Verschiebungsmoduln für Verbindungsmittel enthalten.

In den gängigen Normen werden bisher die zeitabhängigen Verformungen im allgemeinen nur durch geringfügig verminderte Kurzzeit-Verformungsmoduln berücksichtigt, dies, obwohl die zeitabhängigen Verformungen unter ungünstigen Bedingungen ein Mehrfaches der ursprünglichen (elastischen) Verformungen betragen können.

Die detailliertesten Angaben über Langzeitverformungen innerhalb eines Normenwerks finden sich - soweit bekannt - in den französischen Règles C.B.71 [1]. Die zeitabhängige Verformung wird hier durch eine Modifikation des Kurzzeit-E-Moduls mit einem Faktor  $\Theta$  berücksichtigt.

$$E_{\infty} = \frac{E_i}{\Theta}$$

$$\Theta = 1 + \left( \frac{u + \Delta u}{12} \right) \left( \frac{\Delta u + 15}{20} \right) \left( \frac{\sigma_a}{\sigma_{zul}} - 0,2 \right)$$

wobei

$E_{\infty}$  = Rechnerischer E-Modul zur Ermittlung der langfristigen Verformungen

$E_i$  = Kurzzeit-E-Modul

$u$  = Einbaulolzfeuchte in %

$\Delta u$  = Differenz zwischen maximaler und minimaler Betriebsfeuchte in %

$\sigma_{zul}$  = Zulässige Spannung des Bauteils

$\sigma_a$  = Vorhandene Dauerspannung

Nach diesem Ansatz sind die Langzeitverformungen abhängig vom Spannungsniveau, d. h. vom Mass der mechanischen Beanspruchung, von der ursprünglichen Holzfeuchte und der maximalen Holzfeuchteänderung. Nicht berücksichtigt ist die Temperatur, obwohl deren Einfluss auf das Kriechverhalten seit längerem nachgewiesen ist [2, 3, 4].

Um die Grösse von  $\Theta$  aufzuzeigen, soll nachfolgend kurz ein Beispiel an einem Biegeträger aus einer Dachkonstruktion im Mittelland durchgerechnet werden:

Die Schneelast ist hier relativ klein und auch von mässiger Dauer, so dass ein Wert von 0,7 für  $\sigma_a/\sigma_{zul}$  gerechtfertigt er-

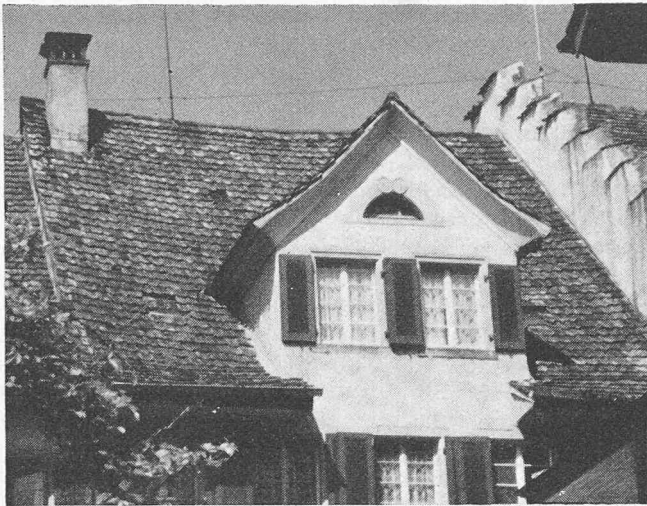


Bild 1. Beispiel einer Verformung unter Langzeitbeanspruchung: Durchhängender First an einem alten Haus in Grüningen (Kt. Zürich)

scheint. Eine anfängliche Holzfeuchte  $u$  von 30% berücksichtigt die Tatsache, dass das meiste Konstruktionsholz in feuchtem Zustand verbaut wird. Ferner sei eine jährliche Schwankungsbreite der Holzfeuchte von 6% angenommen. Damit wird

$$\Theta = 1 + \left( \frac{30 + 6}{12} \right) \left( \frac{6 + 15}{20} \right) (0,7 - 0,2)$$

$$\Theta = 2,58$$

Der rechnerische  $E$ -Modul wird folglich um einen Faktor 2,58 verringert, bzw. die Langzeitverformung beträgt gut das zweieinhalbfache der ursprünglichen Verformung.

Die Grundlagen, die zur Herleitung der Formel für  $\Theta$  geführt haben, sind uns leider nicht bekannt, und ausserdem erweckt die Formel – sicher zu Unrecht – den Eindruck grosser Genauigkeit. Diesen Gegebenheiten ist bei einer Anwendung Rechnung zu tragen. Zweckmässiger erscheint eine wesentlich vereinfachte, summarische Form der beschriebenen, französischen Methode; dies ist für die in Neubearbeitung stehende SIA-Holzbaunorm vorgesehen.

### Bisherige Untersuchungen

Die langfristigen Verformungen sind in der Praxis stets das Resultat einer Überlagerung von mechanischen Beanspruchungen (Spannungen aus Normalkraft, Biegemoment, Schub usw.) und klimatischer Beanspruchungen (Temperatur und Feuchte sowie vor allem deren zeitliche Veränderung). Konstante klimatische Verhältnisse treten höchstens unter Laborbedingungen oder in speziell klimatisierten Räumen auf.

An Holz und Holzwerkstoffen wurden sowohl bei konstanten wie variablen klimatischen Bedingungen eine erhebliche Anzahl von Untersuchungen zur Ermittlung der zeitabhängigen Verformungen angestellt. Im folgenden Überblick soll auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen kurz eingegangen werden.

### Langzeitverformungen bei konstanten klimatischen Verhältnissen

In Bild 2 ist der allgemeine Zusammenhang zwischen Belastungsniveau, Zeit und Verformung bei konstanten klimatischen Verhältnissen ersichtlich:

In Abhängigkeit von der Spannung nimmt die Verformungsgeschwindigkeit bis zu einem bestimmten Zeitpunkt ab, um dann wieder bis zum Bruch zuzunehmen [2, 5]. Aus der Darstellung geht auch hervor, dass zwischen Verformung

und Festigkeit, bzw. zwischen Bruchverformung und Bruchspannung sehr enge Beziehungen bestehen. Schon bei den Kriechuntersuchungen, die um das Jahr 1940 an der EMPA durchgeführt wurden – sie gehören zu den ersten Untersuchungen dieser Art –, wurde versucht, Kriechen und Festigkeit in eine Beziehung zueinander zu bringen. Bild 3 aus [17] enthält Resultate aus jenen Untersuchungen, welche deutlich die Vergrösserung der Verformungsgeschwindigkeit vor dem Bruch zeigen.

Die seit jener Zeit durchgeführten, zahlreichen Untersuchungen gaben Anlass zu umfangreichen, theoretischen Betrachtungen, um die Resultate durch mathematische Formulierungen und rheologische Modelle zu beschreiben [4, 6, 7, 8, 9, 10], oder durch reaktionskinetische Überlegungen zu erklären. Der Erfolg dieser Ansätze zur Umschreibung des versuchsmässig festgestellten Verhaltens erscheinen teilweise als unbefriedigend. So stimmen insbesondere Ansätze zum Beschrieb des Gesamtverhaltens, d. h. der spontanen und zeitlich verzögerten, reversiblen und irreversiblen Verformungen, sowie das Relaxationsverhalten nur mässig mit dem tatsächlichen Verhalten überein.

Dagegen konnten für Teilbereiche recht zutreffende Ansätze gefunden werden. Dies gilt z. B. für den Fall einer konstanten und andauernden Belastung (unterhalb ca. 50% der Kurzzeitfestigkeit), die eine stetig zunehmende Verformung bei stetig abnehmender Verformungsgeschwindigkeit verursacht. Als mathematische Umschreibung wurden hierfür beispielsweise vorgeschlagen:

$$a(1 - e^{-b\sqrt{t}}) \text{ [10], } C \cdot \log(t + 1) \text{ [11], } d \cdot t^n \text{ z. B. [4].}$$

Die letzte Beziehung ergibt sich auch aus reaktionskinetischen Überlegungen und ist auch auf andere Materialien als Holz anwendbar. Für Holz beträgt der Exponent  $n$  zwischen 0,15

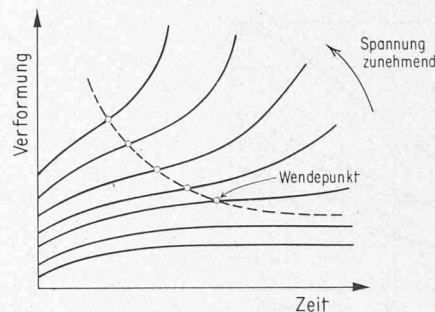


Bild 2. Allgemeines, zeitabhängiges Formänderungsverhalten von Holz in Abhängigkeit der mechanischen Beanspruchung und unter konstanten, klimatischen Verhältnissen

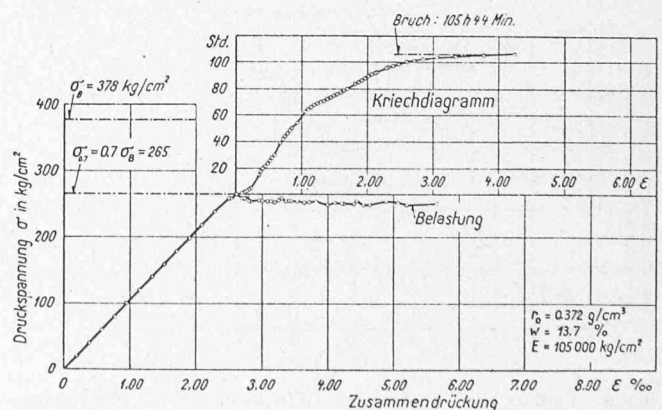


Bild 3. Längsdruck-Dauerversuch an Tannenholz bei einer Belastung von 70% der Kurzzeitfestigkeit  $\sigma_B$ .



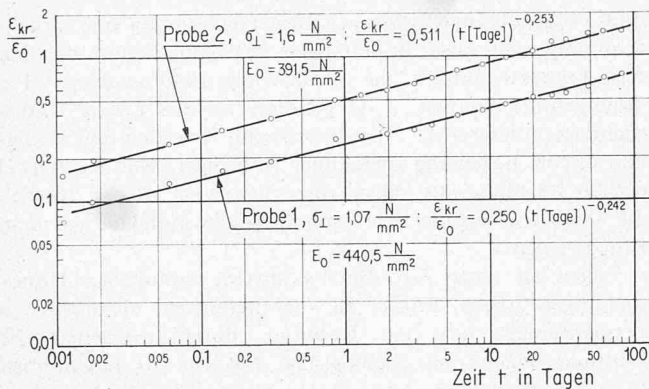


Bild 4. Querdruck-Zeitstandversuche an Abschnitten von lamellenverleimten Trägern aus Fichtenholz im Konstantklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte. Probengrösse L × B × H. Probe 1: 60 cm × 17 cm × 35 cm, Probe 2: 40 cm × 17 cm × 35 cm. Jahrringstellung der einzelnen Lamellen liegend bis 45°. E<sub>0</sub> = Kurzzeit E-Modul.

und 0,40. Eine gute Übereinstimmung dieses Ansatzes mit Untersuchungsergebnissen zeigt Bild 4:

Querdruckkriechverformungen an lamellenverleimten Trägerabschnitten nehmen demnach ungefähr proportional zur vierten Wurzel der Zeit zu. Wenn man die Kurve der Probe 1, deren Spannung mit 1,07 N/mm<sup>2</sup> knapp unter der zulässigen Last nach SIA 164/1953 lag, auf 10, 50 und 200 Jahre extrapoliert, so erhält man Werte von  $\epsilon_{kr}/\epsilon_0 = 1,8; 2,7; \text{ bzw. } 3,7$ , d. h. die ursprüngliche (elastische) Einsenkung wird im Laufe von 2 Jahrhunderten auf fast das 5fache erhöht.

Höhere Temperaturen und/oder Holzfeuchtigkeiten wirken sich wie erhöhte Spannungen aus (vgl. Bild 2): Die Verformungen werden vergrössert. Das Mass dieser Auswirkung im Falle der Temperatur zeigt Bild 5 aus [3].

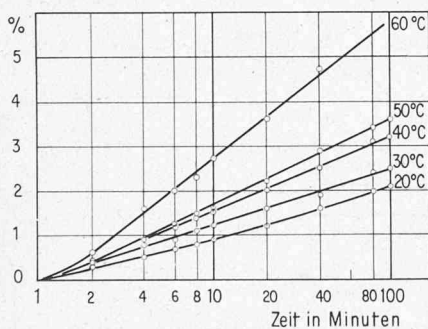


Bild 5. Zeit- und temperaturabhängige Biegeverformung von 30 cm × 2 cm × 1 cm-Stäben aus Weymouthsföhre

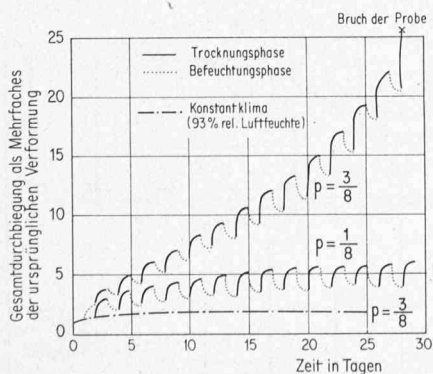


Bild 6. Einfluss einer wechselnden Holzfeuchte auf die zeitabhängige Biegeverformung von Birkenproben mit 2 mm × 2 mm Querschnitt. Befeuchtung und Trocknung durch Lagerung in 93% bzw. 0% rel. Luftfeuchte. P = Belastung im Verhältnis zur Kurzzeitfestigkeit

### Langzeitverformungen unter gleichzeitiger mechanischer und klimatischer Beanspruchung

Während die Temperatur und das Feuchteniveau zwar einen deutlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit der zeitabhängigen Verformung ausüben, wird ihr Einfluss unter praxisnahen klimatischen Bedingungen übertroffen von den Auswirkungen der Feuchteschwankungen, was durch zahlreiche Publikationen belegt ist [4, 5, 13, 14 usw.]. Bild 6 aus [14] zeigt ein typisches Formänderungsverhalten unter wechselnder Holzfeuchtigkeit; es ist dadurch charakterisiert, dass in der Trocknungsphase (Desorption) die Verformung rasch zunimmt, während in der Befeuchtungsphase (Adsorption) die Verformungen sich teilweise wieder zurückbilden. Der massgebende Einfluss des Adsorption-Desorptionswechsels ist ebenso bei zunehmender, wie bei abnehmender, zeitabhängiger Verformung nach Entlastung (Erholung) festzustellen [15]. Über die Ursachen dieser Erscheinungen bestehen verschiedene Meinungen, wobei vieles dafür spricht, dass der Mechanismus des Einbaus der Wassermoleküle in die Molekularstruktur der Cellulose eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Praktisch und versuchsmässig stehen die Verformungserscheinungen an Biegeelementen im Vordergrund. Es wurden jedoch auch Druck- und Zugversuche angestellt [13] und ähnliches Verhalten beobachtet. Hingegen liegen über das Kriechen unter Schubbeanspruchung und über das Relaxationsverhalten [16] – soweit bekannt – lediglich Untersuchungen unter konstanten klimatischen Bedingungen vor.

All diese Untersuchungen über die zeitabhängigen Verformungen von Holz unter mechanischer und klimatischer Beanspruchung haben fast ausnahmslos wenig Bezug zur Holz-anwendung in der Praxis. Aus den nachfolgend aufgeführten Gründen sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen zwar sehr aufschlussreich für das qualitative Verhalten, quantitative Folgerungen für die Praxis können mit den bisherigen Unterlagen jedoch schwerlich gezogen werden. Ein erster Grund für die Diskrepanz zwischen Laboruntersuchungen und der Praxis liegt in der Verwendung von sehr kleinen Proben aus struktur-störungsfreiem Holz. Im Konstruktionsholz sind jedoch stets Strukturstörungen (Äste, Schrägfasrigkeit, Risse usw.) vorhanden, die zusammen mit der Grösse eines Tragelements einen wesentlichen Einfluss auf dessen Verformungsverhalten ausüben.

Im weiteren können die in Laborversuchen zur Anwendung gebrachten Holzarten, Spannungs-, Temperatur- und Feuchtebereiche selten mit den Verhältnissen in der Praxis verglichen werden. Gerade die klimatischen Verhältnisse in der Praxis sind einer der Hauptgründe, die ein Übertragen von

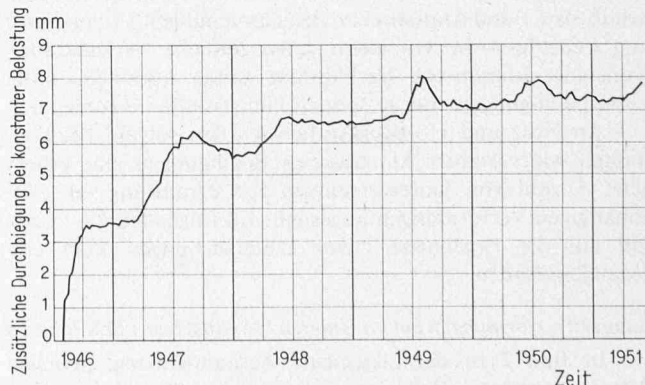


Bild 7. Zeitabhängige Verformungen eines Biegeelementes aus Tannenholz ohne Strukturstörungen mit einem Querschnitt von 5 cm × 5 cm und einer Spannweite von 90 cm. Maximale Spannung bei mittiger Belastung 338 kp/cm<sup>2</sup>, entsprechend ca. 40% der Kurzzeitfestigkeit. Ausgangsholzfeuchte: 12%. Darrdichte 0,455 g/cm<sup>3</sup>. Anfängliche Durchbiegung: 1,2 mm. Lagerung der Probe in einem relativ offenen Schuppen

Laborresultaten in die Praxis erschweren oder verunmöglichen. Während im Labor mit einfachen, zeitperiodischen Veränderungen der Luftfeuchte experimentiert wird (wobei das Verhältnis Periodenlänge zu Prüfkörperdicke relativ gross ist), folgt die Beanspruchung durch das natürliche Klima komplexeren Abläufen, die sich aus der Überlagerung von mehr oder weniger zyklischen Ereignissen unterschiedlicher Dauer ergeben: *Tagesverlauf, Grosswetterlage, Jahreszeiten*.

So lässt sich bei der zeitabhängigen Verformung des in Bild 7 dargestellten Biegeelementes eine deutliche, saisonale Abhängigkeit der Verformungsgeschwindigkeit erkennen. Hierbei überlagert sich der Einfluss der höheren Temperaturen im Sommer demjenigen der abnehmenden Feuchtigkeit. Der allgemeine Verlauf der Kurve unterscheidet sich (abgesehen von der logarithmischen Skalierung) aber nicht grundsätzlich von dem in den Bildern 2, 4 und 5.

Da ferner die Holzbauteile in der Praxis meist erhebliche Ausdehnung aufweisen und teilweise mit schützenden Oberflächenbehandlung versehen sind, machen sich die klimatischen Auswirkungen im Innern des Bauteils nur mehr oder weniger gedämpft und verzögert bemerkbar. Je grösser die Distanz von der Oberfläche, je diffusionsdichter die Oberflächenbehandlung und je kurzfristiger die Zyklen, desto grösser die Dämpfung. Schliesslich verursachen die klimatischen Wechsel zeitabhängige, nichtlineare Feuchte- und Temperaturgradienten über den Querschnitt und somit entsprechende Eigenspannungen, die zusätzlich der Relaxation unterworfen sind.

Die skizzierten Vorgänge sind derart komplex, dass sich bereits die Einflussfaktoren lediglich statistisch erfassen lassen und dass es bei weiteren, für die Praxis notwendigen Untersuchungen ratsam erscheint, *phänomenologisch* vorzugehen. Eine entsprechende Methode wurde gewählt bei gegenwärtig laufenden Untersuchungen an der Abteilung Holz der EMPA, bei denen an lamellenverleimten Trägern von 17 cm × 35 cm Querschnitt, Temperatur und Feuchte in verschiedenen Messquerschnitten sowie Dimensionsänderungen und Verformungen bei Biegebeanspruchung registriert werden.

### Schlussfolgerungen

Die vorangehenden Ausführungen haben gezeigt, dass aufgrund einer grösseren Anzahl von Untersuchungen genaue Vorstellungen über das qualitative Langzeitverhalten von Holzbauteilen unter mechanischer und klimatischer Beanspruchung entwickelt wurden. Die unterschiedlichen Voraussetzungen verunmöglichten jedoch allgemeine, quantitative Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen auf praktische Verhältnisse zu ziehen. Entsprechende Unterlagen können erst aus praxisnahen Untersuchungen erwartet werden.

Dem Konstrukteur, der neben Festigkeits- und Stabilitätsproblemen, den bauphysikalischen Verhältnissen und den Gesichtspunkten der Dauerhaftigkeit auch dem Verformungsverhalten angemessene Aufmerksamkeit schenkt, empfiehlt sich – solange genauere Angaben nicht zur Verfügung stehen – die Verformungen unter Langzeitbeanspruchung wie folgt zu berücksichtigen: Vergrösserung der mit den üblichen Kurzzeit-

Moduln gerechneten Verformungen um einen Faktor zwischen 1 und 3, der um so grösser sein sollte,

- je höher die Dauerbelastung (keine Berücksichtigung falls die Dauerlast weniger als ca. 40% der max. zulässigen Last beträgt),
- je kleiner die Abmessungen eines Bauteils,
- je länger die Standzeit der Konstruktion,
- je grösser die Verformungsempfindlichkeit der Konstruktion (Sicherheit),
- je höher die Temperaturen,
- je höher die durchschnittlichen Feuchtigkeiten,
- je grösser die zeitabhängigen, mittleren Feuchteunterschiede der Bauelemente, wobei kleine Unterschiede beispielsweise in Hallenbädern mit kontrolliertem Klima, grosse Unterschiede bei direkt bewitterten (beregneten und besonnten) Bauteilen auftreten.

### Literatur

- [1] Règles de calcul et de conception des charpentes en bois. Règles CB 71, Edition Eyrolles, Paris, 1972.
- [2] R. S. T. Kingston und L. N. Clarke: Some aspects of the rheological behaviour of wood. Part I: The effect of stress with particular reference to creep. *Austr. J. Appl. Sci.* 12 (1961), S. 211–226.
- [3] R. W. Davidson: The influence of temperature on creep in wood. *Forest Prod. J.* 12 (1962) 8, S. 377–381.
- [4] A. P. Schniewind: Über den Einfluss von Feuchtigkeitsänderungen auf das Kriechen von Buchenholz quer zur Faser unter Berücksichtigung von Temperatur und Temperaturänderungen. *Holz Roh/Werkstoff* 24 (1966) 3, S. 87–98.
- [5] R. S. T. Kingston und L. D. Armstrong: Creep in initially green wooden beams. *Austr. J. Appl. Sci.* 2 (1951), S. 306–325.
- [6] G. Kitazawa: Relaxation of wood under constant strain. The New York State College of Forestry. Technical publication Nr. 47, 1947.
- [7] E. J. Williams und N. H. Kloot: Stress-strain relationship, a mathematical model. *Austr. J. Appl. Sci.* 3 (1952) 1, S. 1–13.
- [8] F. Kollmann: Rheologie und Strukturfestigkeit von Holz. *Holz Roh/Werkstoff* 19 (1961), S. 73–80.
- [9] L. Bach und B. Rovner: Stress relaxation in wood at different grain angles. Forest Products Laboratory, Vancouver, British Columbia. Information Report VP - x - 14, 1967.
- [10] H. W. Reinhardt: Zur Beschreibung des theologischen Verhaltens von Holz. *Holz Roh/Werkstoff* 31 (1973), S. 352–355.
- [11] E. G. King: Time-dependent strain behavior of wood. *Forest Prod. J.* 11 (1961) 3, S. 156–165.
- [12] R. S. T. Kingston: Creep, relaxation and failure of wood. *Research* 15 (1964), S. 164–170.
- [13] L. D. Armstrong und R. S. T. Kingston: The effect of moisture content changes on the deformation of wood under stress. *Austral. J. Appl. Sci.* 13 (1962) 4, S. 257–276.
- [14] R. F. S. Hearmon und J. M. Paton: Moisture content changes and creep in wood. *Forest Prod. J.* 14 (1964) 8, S. 357–359.
- [15] E. J. Gibson: Creep of wood: Role of water and effect of a changing moisture content. *Nature* 206 (1965), S. 213–215.
- [16] K. Möhler und G. Maier: Kriech- und Relaxationsverhalten von luftgetrocknetem und nassem Fichtenholz bei Querdruckbeanspruchung. *Holz Roh/Werkstoff* 28 (1970) 1, S. 14–20.
- [17] E. Staudacher: Schweizerische Bau- und Werkhölzer, Mitt. der Eidg. Anstalt f. d. forstliche Versuchswesen 22 (1942).

Adresse des Verfassers: U. A. Meierhofer, dipl. Ing. ETH, Abteilung Holz, EMPA, 8600 Dübendorf.

## Bauen und Gestalten mit Holz

Von Walter Bogusch, Zürich

DK 691.11

Den wirtschaftlichen und rationellen Erfordernissen zeitgemässer Baugesinnung entsprechend, hat sich beim Bauen mit Holz ein erstaunlicher Wandel vollzogen. Dank grosszügiger Investitionen und der Verwendung moderner Maschinen haben sich die Holzbauunternehmen von der vorwiegend handwerklichen Bearbeitung auf *industrielle Produktionsformen* umgestellt. Die Methoden der *Zwischenverarbeitung*, des

*Verleimens von Schichten zu grossen Konstruktionselementen* und die *Entwicklung kraftschlüssiger Verbindungsmittel für Fachwerkträger* sind weitgehend ausgereift. Die Verwertung neuester Erkenntnisse aus Forschung und Technik hat das Bauen mit Holz schneller, sicherer und rentabler gemacht. Die vorteilhaften Materialeigenschaften von Holz, seine Verbundfreundlichkeit, das günstige Verhältnis von Festigkeit