

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 118 (2000)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Zum plastischen Tragverhalten von Holzbalken: Balken mit zusammengesetztem Querschnitt  
**Autor:** Brunner, Maurice  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79938>

### **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:** 17.03.2025

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

Maurice Brunner, Biel

# Zum plastischen Tragverhalten von Holzbalken

## Balken mit zusammengesetztem Querschnitt

**Für Tragsicherheitsnachweise werden Holzbauten noch immer nach der Elastizitätsmethode bemessen. Der wichtigste Kennwert für die Biegebemessung im Holzbau ist eine fiktive Biegefestigkeit  $f_M$ , die einem linearen Verlauf der Bruchspannungen entspricht. Der Ingenieur kann damit die guten plastischen Eigenschaften der Biegedruckzone nicht ausnutzen. Einfache Modelle zeigen, wie die vorhandenen Eurocodes – und damit auch die SIA-Normen – ergänzt werden könnten, um zeitgemässe, plastische Bemessungsregeln für den Holzbau zu erzielen.**

Für die Bemessung der Tragsicherheit von Stahl- und Stahlbetonbauten wird in den meisten internationalen Baunormen eine Plastifizierung des Querschnitts beim Biegebruch angenommen. Für die Biegebemessung im Holzbau hingegen werden nach wie vor Bemessungsregeln auf der konservativen Basis der Elastizitätstheorie befolgt. Aus zwei Gründen ist die Situation merkwürdig. Erstens ist es bestens bekannt, dass das Holz unter Druckbeanspruchung sehr gute plastische Eigenschaften aufweist. Zweitens haben Holzforscher zwischen den beiden Weltkriegen raffinierte Berechnungsmethoden entwickelt, um die Tatsache zu erklären, dass die Biegefestigkeit von fehlerfreien Proben wesentlich höher ist als die Druckfestigkeit. Es ist kurios, dass diese Erkenntnisse bisher nicht zu plastischen Bemessungsregeln in den Holzbaunormen geführt haben.

Natürlich gibt es Erklärungen dafür. Das Hauptproblem betrifft die unzuverlässige Zugfestigkeit. Selbst fehlerfreie Holzproben weisen ein sprödes Tragverhalten bei Zugbeanspruchung auf. Im Bauholz kann die Zugfestigkeit durch Fehler und den sogenannten «Volumeneinfluss» beträchtlich reduziert werden. Steiger [1] beschreibt den Volumeneinfluss: ein besonders wichtiger Faktor betrifft die Art der Spannungsverteilung im Querschnitt. Die Zugfestigkeit bei Biegebeanspruchung ist sehr viel höher als die Zugfestigkeit bei zentrischer Belastung, weil bei reiner Zugbeanspruchung eine grössere

re Fläche unter hoher Spannung steht, und damit die Wahrscheinlichkeit eines frühen Bruchs wegen des sogenannten «weakest link» steigt (Bild 1).

Im Eurocode EC5 – und auch im neuen Entwurf der Norm SIA 164 – wird die Plastifizierung des Querschnitts indirekt durch die Einführung einer nominalen Biegefestigkeit  $f_M$  berücksichtigt, die direkt in Biegeversuchen durch Annahme einer linearen Spannungsverteilung im Querschnitt errechnet wurde. Die Bemessung von Biegebalken mit rechteckigem Querschnitt mit dieser Biegefestigkeit entspricht einer ordentlichen, plastischen Bemessung. Das Gleiche gilt für die im Code aufgeführten BSH-Typen, die ebenfalls ausführlich untersucht wurden. Da in der Holzbaupraxis der Rechteckquerschnitt die Regel ist, wird dieses Bemessungsprinzip in der Tat zur gleichwertigen plastischen Bemessung in den meisten Holzbauten führen.

Es gibt einen kleinen, aber zukunfts-trächtigen Markt für hochbeanspruchte Holzbalken mit zusammengesetztem Querschnitt [2]. Für solche Anwendungen ist die Bemessungsmethode mit der fiktiven Biegefestigkeit ungenügend, weil die wahren Vorgänge beim Biegebruch vertuscht werden. Im Gegenteil, diese Bemessungsregel erweckt den falschen Eindruck, dass es keinen Unterschied zwischen der Zug- und der Druckzone eines Biegebalkens gäbe. Denn obwohl jeder Holzingenieur sehr wohl weiss, dass die Schwachstelle eines Holzbalkens in der spröden Zugzone liegt, werden zusammengesetzte Querschnitte sowohl in der Zug- wie in der Druckzone gleichermaßen verstärkt – z.B. Brettschichtholz. Das Gegenbeispiel fin-

det man im Stahlbetonbau, wo Tragbewehrungen nur auf der schwachen Zugseite platziert werden. Es könnte ingenieurtechnisch und wirtschaftlich Sinn machen, zukünftige Holzbalken viel mehr auf der Zug- als auf der Druckseite zu verstärken. Bild 2 zeigt einige einfache Ideen:

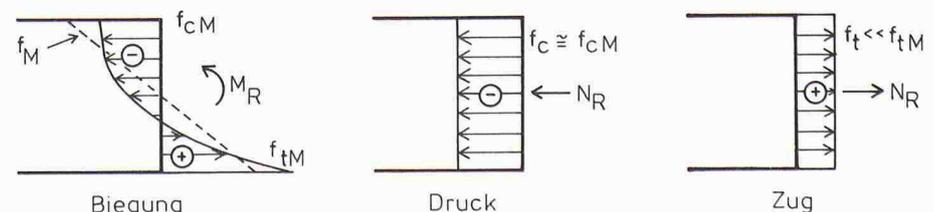
- Die Sortiertechnik sollte vermehrt dazu dienen, insbesondere die Zugseite von BSH-Balken mit den besten Lamellen zu versehen
- Beim aufgelösten Querschnitt sollte für den Zugflansch das beste Holz verwendet werden, bzw. könnte dieser eine grössere Fläche als der Druckflansch aufweisen
- Bei der Verstärkung bestehender Holzbalken könnte eine Stahl- oder CFK-Lamelle nur auf der Zugseite geplant werden.

Das in den meisten europäischen Baunormen inklusive der Norm SIA 164 verankerte Konzept der fiktiven Biegefestigkeit erlaubt dem Ingenieur nicht, die guten plastischen Eigenschaften von Holz auf der Biegedruckseite vorteilhaft in die Bemessung einfließen zu lassen. Ziel dieses Papiers ist es, einfache Berechnungsmodelle vorzustellen und Vorschläge für Ergänzungen – nicht Änderungen – in den bisherigen Eurocodes anzuregen, damit eine zeitgemässe plastische Bemessung für Holzbalken mit komplexem Querschnitt möglich wird.

## Übersicht Plastizität der Baustoffe

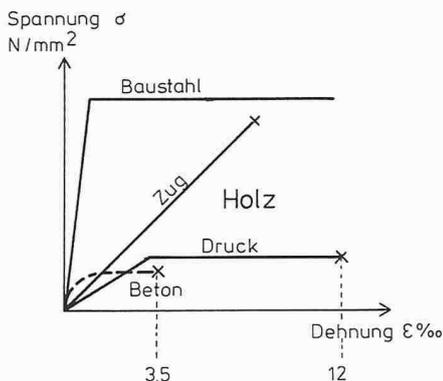
Wie die meisten Metalle weist ein Stahlstab bei Zug- oder Biegebeanspruchung zunächst ein lineares Verhalten hinsichtlich Spannung  $\sigma$  (Kraft) und Dehnung  $\epsilon$  (Deformation) auf (Bild 3). Nach dem Erreichen der Fließgrenze  $f_y$  bleibt die Spannung konstant, während die Dehnung erheblich zunehmen kann. Im Falle des Baustahls FeE235 erfolgt der Bruch erst bei einer Dehnung von etwa 250%, während die Fließgrenze schon bei einer Dehnung von 1,1‰ erreicht wird. Solche so genannt «duktilen» Baustoffe weisen im

1 Einfluss der Spannungsverteilung auf die Grösse der Zugfestigkeit





2 Vision für zukünftige Produktentwicklungen im Holzbau: einseitige Verstärkung der kritischen Zugseite



3 Spannungs-Dehnungs-Diagramme der Baustoffe

Bruchzustand folgende Vorteile auf:

- Ankündigung des bevorstehenden Bruchs durch das Auftreten grösserer Deformationen
- Erhöhung des Biege widerstands durch so genannte «Plastifizierung» des Querschnitts
- Bei statisch unbestimmten Tragwerken Erhöhung der Traglasten durch die Bildung von plastischen Gelenken, was zu günstigen Schnittkraftumlagerungen führen kann.

Die Plastizitätstheorie wurde ursprünglich für den Stahlbau entwickelt. Inzwischen findet sie auch im Betonbau rege Anwendung. In diesen Verbundbaustoff werden Stahlstäbe eingelegt, um die bei Biegebeanspruchung auftretenden Zugspannungen aufzunehmen, während der Beton selbst mit den Druckspannungen fertig wird. Mit dem Einhalten der sogenannten «Duktilitätsbedingung» stellt der Betonstatiker sicher, dass die Schwachstelle im Stahlbeton die Bewehrung ist. Bei grösserer Beanspruchung fliesst der Stahl vor dem Betonversagen: der Bruch erfolgt auf duktile Weise ähnlich wie beim Baustahl. Im Vergleich zu Stahl besitzt der Beton ein ziemlich sprödes Tragverhalten. Schon eine Stauchung von rund 3,5% führt zum Bruch. Das duktile Tragverhalten des Stahlbetons kommt hauptsächlich vom Fließen der verhältnismässig knapp bemessenen Stahlbewehrung her. Im Trag sicherheitsnachweis darf jedoch die Plastifizierung der Betondruckseite mit berücksichtigt werden, was zu schlankeren und wirtschaftlichen Abmessungen führen kann.

Fehlerfreies Holz weist für Zug- und Druckbeanspruchung ein unterschiedliches Tragverhalten auf (Bild 3). Bei Zug bleibt das Spannungs-Dehnungs-Diagramm bis zum spröden Bruch linear. Bei Druckbeanspruchung hingegen verläuft das Spannungs-Dehnungs-Diagramm nur zunächst linear, wobei die Elastizitätsmoduln für Zug- und Druckbeanspruchung nicht immer gleich gross sind. Bei etwa 3% Stauchung wird eine «Fließgrenze» infolge Ausknicken der einzelnen Holzfasern erreicht. Die Spannung bleibt dann bei steigender Stauchung konstant, und der Bruch erfolgt bei 10-12% Stauchung.

Das Bauholz weist typischerweise Strukturstörungen auf, die insbesondere die Zugfestigkeit stark beeinträchtigen können. Die Druckfestigkeit hingegen

wird relativ wenig vermindert, und auch die günstigen Plastifizierungseigenschaften bleiben weitgehend erhalten. Im Eurocode EN 338 ist dieses Phänomen klar ersichtlich: zwischen den Festigkeitsklassen C22 und C40 steigt die Druckfestigkeit nur wenig von 20 auf 26 N/mm<sup>2</sup>, verglichen mit der Steigerung von 13 auf 24 N/mm<sup>2</sup> bei der Zugfestigkeit unter zentrischer Belastung (Bild 4).

**Vorschlag: Plastische Spannungs-Dehnungs-Diagramme**

Bild 4 zeigt in vereinfachter Form das System der Festigkeitsklassen gemäss Eurocode EN 338: der Einfachheit halber werden nur die im Rahmen dieser Abhandlung relevanten Spannungen in Faserrichtung angegeben. Die fiktiven Biegefestigkeiten spielen eine zentrale Rolle in diesem System, und tatsächlich wird die Festigkeitsklasse direkt nach der Biegefestigkeit in N/mm<sup>2</sup> genannt. Wie in Bild 1 gezeigt, hat die fiktive Biegefestigkeit f<sub>M</sub> eigentlich nichts mit den wahren Spannungsverhältnissen im Querschnitt beim Biegebruch zu tun, sondern sie wird mathematisch aus Biegeversuchen unter Annahme einer linearen Spannungsverteilung ermittelt:

$$f_M = (M_f / W) / f$$

- mit:
- M<sub>f</sub> Bruchmoment
  - W Widerstandsmoment (Rechteck: W = bh<sup>2</sup>/6)
  - f Sicherheitsfaktor

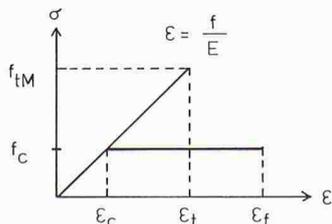
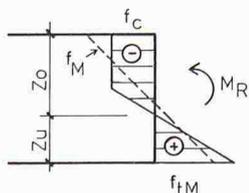
Wie schon erwähnt, ist das Konzept der fiktiven Biegefestigkeit sehr einfach und bequem in der Anwendung und es entspricht auch einer plastischen Bemessung von Vollholzbalken mit Rechteckquerschnitt. Für Balken mit komplexen, zusammengesetzten Querschnitten aber drängt sich eine genauere Methode auf.

Es gibt viele Rechenmodelle für die nicht-lineare Spannungsverteilung in einem Holzbalken. Eines der einfachsten und anschaulichsten Modelle wurde 1939 von Thunell entwickelt (Bild 5). Die Zugzone weist ein lineares, sprödes Tragverhalten auf, während die Druckzone ein klassisches Fließverhalten zeigt. Der E-Modul ist für Zug und Druck identisch.

Unter folgenden Annahmen kann man die notwendigen Parameter f<sub>c</sub> und f<sub>M</sub> für Thunells Modell aus den in den Eurocodes festgehaltenen Kennwerten ableiten:

Festigkeitsklasse	C 22	C 27	C 30	C 35	C 40
Biegefestigkeit f <sub>M</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	22	27	30	35	40
Zugfestigkeit f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	13	16	18	21	24
Druckfestigkeit f <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	20	22	23	25	26
Elastizitätsmodul E [N/mm <sup>2</sup> ]	10	12	12	13	14

4 Festigkeitsklassen gemäss Eurocode EN 338



5 Trapezförmige Spannungsverteilung über den Querschnitt nach Thunell [3]

Der so genannte «Volumeneinfluss» gilt für die Zugzone: beim Biegebruch ist die wahre Zugfestigkeit f<sub>M</sub> wesentlich grösser als die im Eurocode aufgeführte Zugfestigkeit f<sub>t</sub> bei zentrischer Beanspruchung.

Forschungsarbeiten deuten darauf hin, dass die Druckzone weit weniger vom Volumeneinfluss tangiert wird [1]. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Druckfestigkeit  $f_c$  bei reiner Druck- und bei Biegebeanspruchung gleich ist. Eine Plastifizierung der Biegedruckzone kann in Rechnung gestellt werden.

Der Kennwert  $f_{tM}$ , die «wahre» Zugfestigkeit beim Biegebruch, wird in den Eurocodes nicht aufgeführt. Er kann aber aus einem Vergleich der Formeln für das Bruchmoment  $M_R$  eines Holzbalkens mit Rechteckquerschnitt nach einerseits Thunells Modell [3] und andererseits nach Eurocode berechnet werden:

- Thunell:  $M_R = f_c \cdot (bh^2/6) \cdot c$ , mit  $c = (3 + 8m + 6m^2 - m^4)/(1+m)^4$  und  $m = f_c/f_{tM}$
- Eurocode:  $M_R = f_{tM} \cdot (bh^2/6)$

Die folgende Gleichung kann zunächst für  $m$  und dann für  $f_{tM}$  gelöst werden, die Resultate sind in Bild 6 dargestellt:

$$(3 + 8m + 6m^2 - m^4)/(1+m)^4 = f_{tM}/f_c$$

**Anschauliches Beispiel**

Als anschauliches Beispiel wird ein Holzbalken der Festigkeitsklasse C27 mit Breite 100 mm und Höhe 300 mm näher betrachtet. Der Biege widerstand des nackten Balkens beträgt gemäss den Eurocodes:

$$W = 100 \cdot (300)^2 / 6 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

und damit:

$$M_R = f_M \cdot W = 27 \cdot 1,5 \cdot 10^6 / 10^6 = 40,5 \text{ kNm}$$

Weil dieser Wert ungenügend ist, soll der Balken durch Aufkleben einer Stahlplatte auf der Zugseite verstärkt werden. Die relevanten Materialeigenschaften können wie folgt aufgeführt werden:

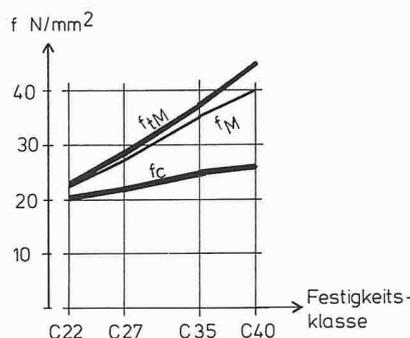
- Holz: C27 mit:
  - $E_T = 12 \text{ kN/mm}^2$
  - $f_M = 27 \text{ N/mm}^2$
  - $f_c = 22 \text{ N/mm}^2$
  - $\epsilon_c = 22/12000 = 1,83\%$
- Stahl: Fe E 335 mit:
  - $E_S = 210 \text{ kN/mm}^2$
  - $f_y = 335 \text{ N/mm}^2$
  - $\epsilon_y = 335/210000 = 1,60\%$

Die etwas vereinfachte Berechnung im Sinne der Eurocodes wird in Bild 7 dargestellt. Wegen des im Vergleich zum Holz hohen Elastizitätsmoduls des Stahls wird die neutrale Achse unter die geometrische Mitte des 305 mm hohen Balkens verschoben. Die Berechnung als Verbundquerschnitt ohne Schlupf ergibt folgende Zwischenresultate:

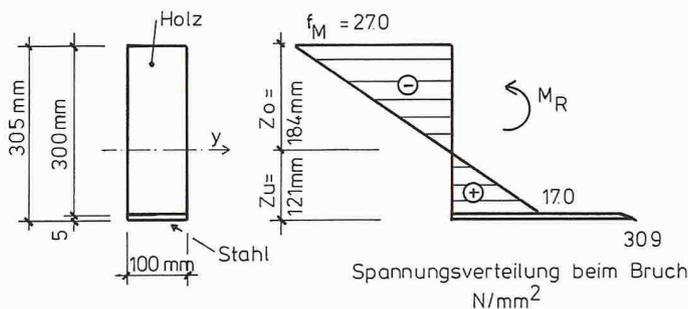
- Steifigkeitsverhältnis:
  - $n = E_S/E_T = 210/12 = 17,5$

Festigkeitsklasse	C 22	C 27	C 35	C 40
$f_M$ [N/mm <sup>2</sup> ]	22	27	35	40
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20	22	25	26
$m = f_c/f_{tM}$	0,90	0,80	0,67	0,58
$f_{tM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	22	28	37	45

6 Kennwerte für die plastische Bemessung mit einer Spannungsverteilung gemäss Thunell



7 Holzbalken mit aufgeklebter Stahlplatte: Berechnung mit dem Konzept der fiktiven Biegefestigkeit  $f_M$



- Lage der neutralen Achse:  $z_U = 121 \text{ mm}$  ( $z_O = 184 \text{ mm}$ )
  - Widerstandsmomente:
    - Druckzone Holz:  $W_O = 2,07 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
    - Zugzone Holz:  $W_U = 3,31 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
    - Zugzone Stahl:  $W_S = 3,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
- Die Berechnung mit dem Modell eines linearen Spannungsverlaufs zeigt, dass die fiktive Biegefestigkeit zuerst in der Druckzone des Holzes erreicht wird, so dass die Druckzone den Biegebruch einleiten wird. Die Fließgrenze des Stahls wird noch nicht erreicht; somit kann man von den günstigen plastischen Eigenschaften dieses Materials nicht profitieren. Der Biege widerstand beträgt:

$$M_R = W_O \cdot f_M = (2,07 \cdot 10^6) \cdot 27 / 10^6 = 56 \text{ kNm}$$

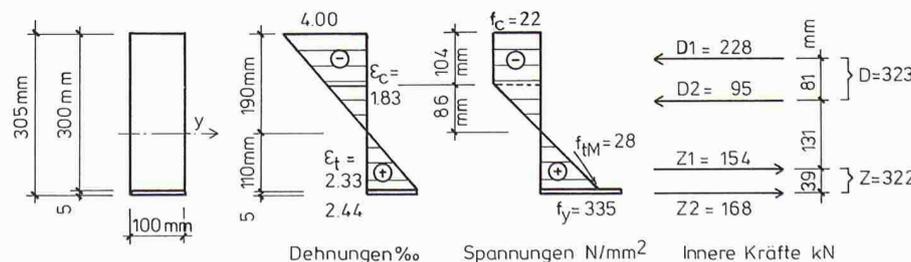
Die Berechnung des Biege widerstands  $M_R$  mit der plastischen Spannungsverteilung gemäss Thunell ist in Bild 8 dargestellt. Die

neutrale Achse verschiebt sich noch weiter hinunter auf  $z_U = 115 \text{ mm}$ , und die kritischen Dehnungen betragen 4,0‰ oben in der Druckzone des Holzes, 2,3‰ unten in der Zugzone des Holzes und 2,4‰ zu unterst bei der Stahlplatte. Die diesem Dehnungsbild zugehörigen Spannungen liefern innere Zug- und Druckkräfte im Gleichgewicht. Stahlplatte und Holzdruckzone sind plastifiziert: der eigentliche Bruch wird aber durch die Zugzone eingeleitet, sobald dort die Biegezugfestigkeit  $f_{tM} = 28 \text{ N/mm}^2$  erreicht wird. Der Biege widerstand lässt sich aus den inneren Kräften und deren Abständen wie folgt berechnen:

$$M_R = 228 \cdot 0,081 + 154 \cdot 0,131 + 168 \cdot 0,170 = 67 \text{ kNm}$$

Der plastische Biege widerstand  $M_R$  ist 20% grösser als das Ergebnis der Berechnung mit der fiktiven Biegefestigkeit  $f_M$ . Die pla-

8 Holzbalken mit aufgeklebter Stahlplatte: plastische Berechnung des Biege widerstands



stische Berechnung zeigt ebenfalls, dass die heikle Zugzone - und nicht die duktile Druckzone - die Schwachstelle des Querschnitts bleibt.

### Zusammenfassung

Die Bemessung von Holzbalken auf Tragsicherheit mit dem Konzept der Biegefestigkeit hat sich für den Rechteckquerschnitt bestens bewährt. Für komplexere Querschnitte aber ist die Methode zu unpräzise: insbesondere wird nicht zwischen Biegezug- und Biegedruckzone unterschieden. Der Ingenieur kann die günstigen plastischen Eigenschaften von Holz auf der Biegedruckseite nicht ausnutzen. Erst mit einer plastischen Berechnung

wird dies möglich sein. Die plastische Berechnungsmethode ist zweifellos anspruchsvoller als die bisherige Bemessung auf der Basis der Elastizitätstheorie, sie gewährt dem Ingenieur aber wesentlich mehr Spielraum, was der Produktentwicklung im Ingenieurholzbau mehr Impulse geben könnte. In diesem Sinne ist die plastische Bemessung im Holzbau eine wichtige Voraussetzung für eine Zukunft mit noch tragfähigeren Holzquerschnitten.

Adresse des Verfassers:

Maurice Brunner, Dr. sc. techn., Schweizerische Hochschule für Holzwirtschaft, Solothurnstrasse 102, 2504 Biel

### Literatur

- [1]  
Steiger R.: Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten-Bauholz bei Biege-, Zug-, Druck- und kombinierter M/N-Beanspruchung. IBK-Bericht Nr. 221, Birkhäuser Verlag Basel, 1996
- [2]  
Steurer A.: Holzkonstruktionen mit Stahl- und Kunststoffverstärkung. 31. SAH-Tagung, Lignum, Zürich, 1999
- [3]  
Kollmann/Côté: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Abschnitt 7.4. Springer Verlag, Berlin 1984
- [4]  
Eurocodes: EC 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten; EN 338: Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen

## Stellungnahme der Kommission Swisscode 5 – Holzbau

Im obigen Artikel werden Vorschläge für einen Tragfähigkeitsnachweis von Holzbalken basierend auf den plastischen Bemessungsregeln veröffentlicht. Der Verfasser geht in seinem Artikel davon aus, dass bei der Festlegung der charakteristischen Biegefestigkeiten  $f_m$  von Bauholz in den einschlägigen Normen SIA 164 und ENV 1995-1-1 (Eurocode 5) eine Plastifizierung des Querschnitts wohl berücksichtigt, aber nicht offen gelegt wurde. Der Verfasser unterlässt es leider, seine theoretischen Überlegungen anhand der vielen veröffentlichten, experimentellen Untersuchungen an Bauholz zu überprüfen.

Bevor auf das Kernproblem «plastisches Tragverhalten von Holzbalken» eingegangen wird, sind folgende Richtigstellungen zum oben stehenden Beitrag erforderlich:

Es gibt Eurocodes und Euronormen. Die Festigkeitsklassen von Bauholz für tragende Zwecke werden in der Euronorm EN 338 behandelt. Die dort aufgeführten Festigkeitswerte sind charakteristische Kennwerte, die dem unteren 5%-Fraktilewert der jeweiligen Grundgesamtheit entsprechen.

Die in EN 338 festgelegten Biegefestigkeiten gehen auf umfangreiche Bruchversuche an Bauholz zurück. Die Biegefestigkeit wird aus dem Bruchmoment, geteilt durch das Widerstandsmoment, ermittelt. Die Berechnung erfolgt somit unter der Annahme einer linearen Spannungsverteilung

(eigentlich einer linearen Dehnungsverteilung und einer Gleichsetzung des E-Moduls für Zug und Druck). Die in EN 338 angegebenen charakteristischen Werte enthalten - entgegen der Aussage des Autors - keinen Sicherheitsfaktor.

Gemäss Bild 5 (S. 568) und Text geht Thunell von einem identischen E-Modul für Zug und Druck aus. Dies gilt generell für «fehlerfreie» Holzproben, ist aber auch weitgehend korrekt für Bauholz (Unterschiede unter 5%). Die Feststellung des Autors «wobei die Elastizitätsmoduln für Zug- und Druckbeanspruchung nicht immer gleich gross sind» ist viel- bzw. nichtssagend. Gemäss Bild 3 (S. 568, gültig für fehlerfreies Holz) wäre aber gemäss Autor ein um rund 50% höherer Zug-E-Modul Tatsache.

In Bild 1 (S. 567) wird der vom Autor postulierte «wahre» Spannungsverlauf eines rechteckigen Holzbalkens infolge Biegung dargestellt. Da selbst bei plastischem Tragverhalten die Gleichgewichtsgesetze weiterhin Gültigkeit haben, müsste die resultierende Druckkraft gleich gross wie die Zugkraft sein. Für den vorliegenden Fall müssten somit die Flächen bezüglich Druck und Zug gleich gross sein. Dies ist eigenartiger Weise nicht der Fall! (Gilt übrigens auch für Bild 5.)

Bezüglich der Kernfrage «Verhalten sich Holzbalken im Biegebruchversuch elas-

tisch oder plastisch?» geht der Autor bei seinen Überlegungen von folgender Feststellung aus: «Holzforscher haben zwischen den beiden Weltkriegen raffinierte Berechnungsmethoden entwickelt, um die Tatsache zu erklären, dass die Biegefestigkeit von fehlerfreien Proben wesentlich höher ist als die Druckfestigkeit». Er findet es kurios, dass diese Erkenntnisse bisher nicht zu plastischen Bemessungsregeln in den Holzbaunormen geführt haben.

In der Baupraxis wird jedoch mit «Bauholz» und nicht mit «kleinen, fehlerfreien Holzproben» gearbeitet. Die Holzbaunormen müssen deshalb die Eigenschaften des Baustoffs «Bauholz» berücksichtigen - und nicht diejenigen eines fiktiven Baustoffs!

Die charakteristischen Biegefestigkeiten von so genannt «normalem Bauholz» (entsprechend FK II gemäss Norm SIA 164 bzw. C 27 gemäss EN 338) liegen im Bereich von 24 bis 27 N/mm<sup>2</sup>. Bei einem so tiefen Beanspruchungsniveau (im Vergleich zu der Festigkeit von fehlerfreiem Holz) verhält sich die Druckseite noch vollkommen elastisch. Eine Stauchung tritt - in Übereinstimmung mit den Feststellungen des Autors - erst ab rund 3‰ auf. Die charakteristischen Biegefestigkeiten entsprechen jedoch einer Bruchdehnung von lediglich 2‰.

Weil sich Bauholz - auf dem für die Bemessung entscheidenden charakteristischen Niveau der 5%-Fraktile - elastisch verhält, ist die Feststellung des Autors, dass