

## Von der Forschung in die Praxis

Prof. E. Gehri, Holztechnologie ETH Zürich

### Das Umfeld in der Schweiz

In der Schweiz besteht immer noch – wenn auch abnehmend – die Bereitschaft zur Übernahme von Eigenverantwortung. Das spiegelt sich auch im Verhalten der Planer, der Unternehmer und auch der Bauherren wider.

Selbstverständlich sind – analog wie in Deutschland – stets die Regeln der Baukunde und insbesondere der kodifizierte Bereich, d.h. die Planungs-, Entwurfs- und Bemessungsregeln zu beachten. Normen sind für den schweizerischen Fachmann Regeln und Anweisungen, die ihm helfen sollen, möglichst rasch und sicher zum Ziel zu gelangen. Normen sind demnach Leitlinien und nicht etwa Leitplanken oder Schranken. Abweichungen davon sind – wo begründet – zulässig, dies analog einem Überfahren einer Leitlinie.

Unter dem Grundsatz – es gibt keine Regel ohne Ausnahme – weisen alle schweizerischen Konstruktionsnormen einen ähnlich lautenden Ausnahmeartikel auf. Für den Holzbau lautet dieser:

*"Ausnahmen von der vorstehenden Norm sind nur zugelassen, wenn neue Entwicklungen auf dem Gebiet des Holzbaus dies rechtfertigen, wenn sie wissenschaftlich durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden, wie auch bei aussergewöhnlichen Verhältnissen, die in dieser Norm nicht erfasst sind".*

Dieser Ausnahmeartikel ist kein Blankoscheck. Er erlaubt aber Weiterentwicklungen im Holzbau, die möglicherweise bei einer nächsten Normüberarbeitung bereits als derzeitigen Stand der Technik betrachtet wird. Eine ähnlich lautende Formulierung in den Eurocode's suchen schweizer Ingenieure vergebens.

Zum Forschungsumfeld gehört aber auch die Situation an den Eidgenössisch Technischen Hochschulen: eine gute Infrastruktur in den Labors, ausgebildete und motivierte Mitarbeiter sowie eine weitgehende Forschungsfreiheit, die allerdings durch die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel relativiert wird.

Im Rahmen der Professur für Holztechnologie wird die Zusammenarbeit mit der Praxis bewusst gepflegt. Die Professur dient auch als Anlaufstelle bei auftretenden Schwierigkeiten, sowie als Problemlöser unter gegebenem zeitlichem und finanziellem Rahmen. Die Praxis kann auch auf unsere Unterstützung bei der Realisierung von Pilotbauten rechnen.

## Fallbeispiel: Bauholz

Die Wirkungsweise der Professur für Holztechnologie kann am einfachsten anhand eines konkreten Beispiels aufgezeigt werden: dem Einsatz von Bauholz oder Konstruktionsvollholz – wie in Deutschland bezeichnet. Dabei soll das unterschiedliche Vorgehen in den beiden Ländern aufgezeigt werden.

Im Vordergrund steht die bessere Nutzung von an sich bekannten Eigenschaften des Rohstoffes Holz. Für eine bestimmte Anwendung, eine weitgespannte sichtbare Sparrenlage, waren folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Schnittholz Fichte, Länge über 7 m
- Sparrenhöhe kleiner gleich 260 mm (durch Umbau bedingt)
- Holz sichtbar, gehobelte Flächen, nur geringfügige Risse zulässig
- Holzfeuchte  $w = 12 \pm 2 \%$

Das Bemessungskriterium war die Durchbiegung, d.h. pro Sparren ergab sich daraus eine erforderliche Biegesteifigkeit von  $EJ = 3,25 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2$ . Ausgehend vom Normansatz für Bauholz wäre demnach ein Querschnitt 200/260 notwendig.

Untersuchungen an CH-Bauholz – in den letzten 10 Jahren durchgeführt – zeigen je nach Herkunftsgebiet für den Biege–E–Modul von Bauholz bei einer Holzfeuchte von  $w = 12 \%$  Mittelwerte zwischen  $12'000 \text{ N/mm}^2$  und  $13'500 \text{ N/mm}^2$ . Diese Streubreite entspricht einem Querschnitt durch den Jura, das Mittelland und den schweizerischen Voralpen. Für eine im Mittelland befindliche Sägerei lagen ebenfalls Daten vor. Diese zeigten nicht nur ein einheitliches Bild, sondern bedingt durch den Standort generell bessere Eigenschaften auf. Rund 1/3 der Kantholzprodukte weisen einen Biege-E-Modul von über  $14'000 \text{ N/mm}^2$  auf. Dieser Wert entspricht in etwa dem Rechenwert für MS 17 gemäss DIN 1052 A1, für Holz mit einer Holzfeuchte 15 %. Der Mittelwert dieser Kanthölzer erreichte einen Wert um  $16'000 \text{ N/mm}^2$ .

Es war somit naheliegend, die vorhandenen Eigenschaften dieses Holzes auszunutzen und zu versuchen die Anforderungen abzudecken. An Stelle des geometrischen nicht akzeptablen Querschnittes 200/260 konnte ein solcher von 140/260 eingesetzt werden.

Wo greift nun die Forschung ein?

Drei grössere Problemkreise lassen sich erkennen. Diese betreffen die optimale Trocknung grosser Querschnitte, die Keilzinkung grosser Querschnitte und die zuverlässige Sortierung nach Steifigkeit und Festigkeit. Ich möchte hier nur das Vorgehen bezüglich Sortierung aufzeigen.

In Deutschland ist die maschinelle Sortierung in DIN 4074 geregelt, die im September 1989 erschienen ist. Dort wurden die neuen Sortierklassen MS 7 bis MS 17 eingeführt. Erst mit der Änderung A1 zu DIN 1052 liegen die entsprechenden Rechen- und Bemessungswerte vor.

In der Schweiz können Holzprodukte mit deklarierten, gewährleisteten Eigenschaften ohne technische Zulassungen eingesetzt werden. Dies gilt auch für Konstruktionsvollholz. Entscheidend für den Anwender ist, dass die deklarierten Eigenschaften erreicht und gewährleistet werden. Wie diese Sortierung durchgeführt wird, ist eigentlich irrelevant. Obwohl in der Schweiz keine spezifischen Normen für nach Festigkeit oder Steifigkeit sortiertem Holz vorliegen, wird derartiges Bauholz seit 3 Jahren eingesetzt.

Als Sortierverfahren hat sich in der Schweiz das Ultraschallverfahren etabliert. Über dieses Verfahren wurde in Deutschland schon vieles berichtet. Die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung hat im Juli 1993 zum Thema Festigkeitssortierung von Schnittholz mittels Ultraschall eine Pressemitteilung herausgegeben. Die Bewertung ist zwar positiv, allerdings mit so vielen wenn und aber angereichert, was zumindest vorläufig eine Anwendung ausschliesst.

Eine aktualisierte Pressemitteilung wäre angebracht. Das US-Verfahren ist zwar äusserst einfach, um nicht zu sagen rudimentär. Nach mehrjährigem Arbeiten mit diesem Verfahren sind uns Stärken und Schwächen bekannt. Es liefert ähnlich zuverlässige Aussagen wie andere Sortierverfahren, hat einen weiten Anwendungsbereich (vom Rundholz bis zum Brett; nasses, feuchtes und trockenes Holz), ist kostengünstig und auch automatisierbar.

Es werden in Zukunft bessere und effizientere Verfahren auf den Markt kommen. Trotzdem fördern wir das US-Verfahren:

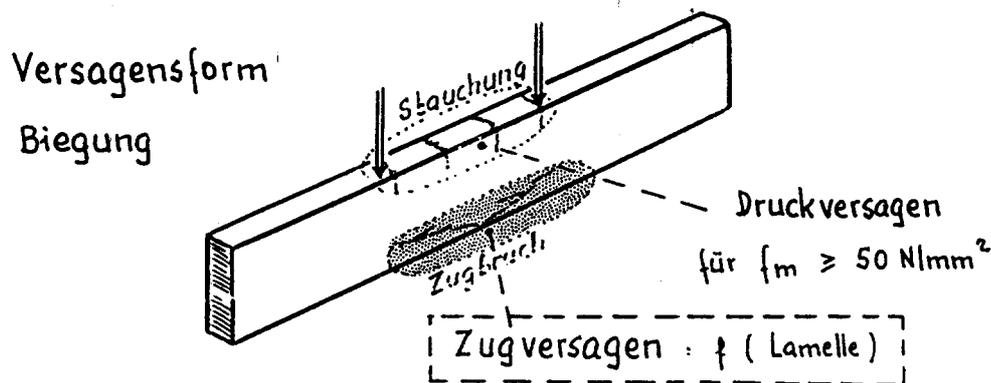
- (a) um bereits heute wenigstens einen Teil der Holzeigenschaften besser zu erschliessen und zu nutzen
- (b) um bereits heute auf dem Markt präsent zu sein, statt einer vielleicht perfekteren aber virtuellen MS 17–Qualität nachzuträumen.

In diesem Zusammenhang ist die Lektüre des Editorials "Holz her!" von Klaus Fritzen in der Zeitschrift Bauen mit Holz (Juni 1995) zu empfehlen. Seine Gedanken über das noch virtuelle Produkt Konstruktionsvollholz sind lesens- und überdenkenswert.

## Kantschichtholz – ein altes und neues Holzprodukt

Der Einsatz von kleineren Kantholzquerschnitten bzw. von dickeren Lamellen von rund 60 mm ist eigentlich nicht neu. Bereits in den 30er Jahren wurden einige Bauten mit derartigem Leimholz ausgeführt. Neu am Kantschichtholz (KSH) sind die Verwendung von Schwachrundholz als Rohstoff und die hierbei erzielten hohen Leistungen.

Wie beim normalen Brettschichtholz wird in der Regel das Biegeversagen entweder durch einen Keilzinkbruch oder durch einen Holzbruch der gezogenen Aussenlamelle eingeleitet.



Für das Tragverhalten entscheidend sind somit:

- die Zugfestigkeit der Holzlamelle (sowie der Zug-E-Modul)
- die Zugfestigkeit der Keilzinkung

Erste Untersuchungen wurden vor rund 10 Jahren durchgeführt, ausgehend von Querschnitten 60/120 in Kiefer und Fichte. Die Ergebnisse waren nur teilweise befriedigend. Gründe hierfür waren:

- Unfähigkeit einer angemessenen Festigkeitssortierung des Holzes
- ungenügende Leistungsfähigkeit der Keilzinkungen
- fehlende Prüfeinrichtung, um die relevanten Eigenschaften zu bestimmen.

Die Situation hat sich inzwischen soweit verändert, dass ein Neuanfang sinnvoll schien, dies auch im Hinblick auf:

- eine höhere Nutzung und Wertschöpfung von Schwachholz
- den Bedarf im Hausbau nach einem vollholzähnlichen Produkt grosser Formstabilität und Masshaltigkeit

### □ Eigenschaften von Kantholzlamellen 60/120

Ausgehend von Rundholz  $\varnothing$  190 mm wurden Lamellen 60/120 (Endmasse, technisch getrocknet auf  $w = 12 \%$ ) eingeschnitten. Das unsortierte Produkt zeigte ähnliche Streuungen in den mechanischen Eigenschaften mit folgenden Besonderheiten gegenüber Brettlamellen aus Starkholz:

- bedingt durch hohen Anteil an juvenilem Holz weisen die Lamellen generell eine tiefere Rohdichte auf; entsprechend liegen auch die Zug-E-Module generell etwas tiefer
- bedingt durch die geringere absolute Grösse der Äste sind im Bereich der 5 %-Fraktile kaum Unterschiede festzustellen; extrem hohe Festigkeiten werden jedoch nicht erreicht.

Durch eine Ultraschallsortierung konnte z.B. folgendes erreicht werden:

- beste 25 % der Lamellen: Zugfestigkeit  $f_{t,0,l,k} = 27 \text{ N/mm}^2$   
Zug – E – Modul  $E_{0,\text{mean}} = 14'000 \text{ N/mm}^2$

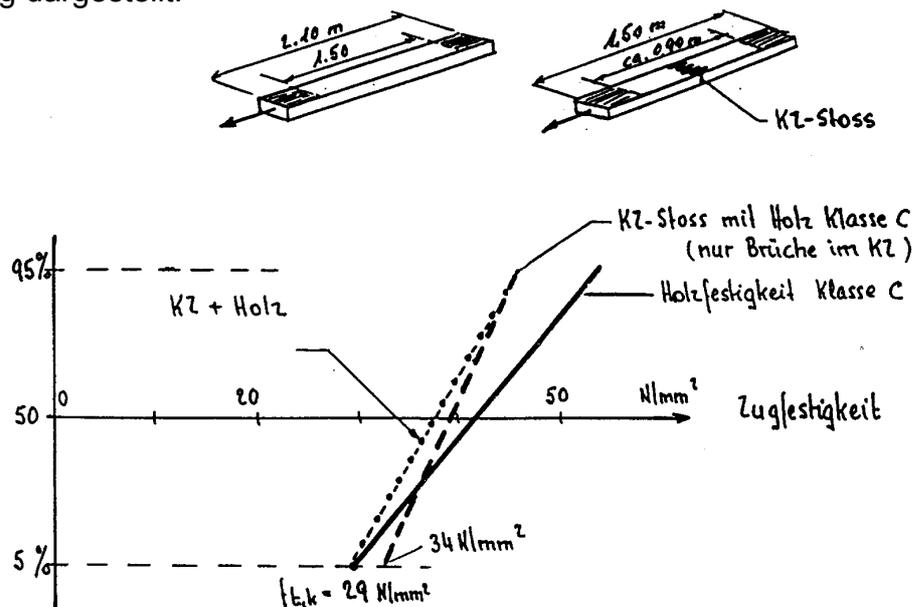
Vergleichsweise sei erwähnt, dass Untersuchungen an maschinell sortierten Brettlamellen mit Querschnitten von 33/120 bis 33/200, d.h. mit ähnlicher Querschnittsfläche, nur rund 10 % höhere Werte ergaben. Gemäss Angaben von Diebold/Glos (siehe Holz als Roh- und Werkstoff 52 (1994), S. 222) wird bei einer kleineren Ausbeute von 15 % eine charakteristische Zugfestigkeit von 30,6 N/mm<sup>2</sup> aufgewiesen.

## □ Eigenschaften von Keilzinkungen

Optimale Eigenschaften der Keilzinken setzen voraus:

- geeignete Anlagen: bevorzugt, präzise arbeitende Kompaktanlagen
- hohe Holzqualität: durch US-Sortierung und fachgemässes Kappen der Stossenden
- leistungsfähiger Leim: bevorzugt Polyurethan

Obige Voraussetzungen waren bei den vorliegenden Untersuchungen weitgehend erfüllt. Nachstehend sind die Ergebnisse der Zugversuche am Holz und an der Keilzinkung dargestellt.



Die eigentliche Keilzinkenfestigkeit ( $f_{t,j,k} = 34 \text{ N/mm}^2$ ) – durch Ausschluss der Holzbrüche ausserhalb des Keilzinkenbereiches ermittelt – liegt demnach höher als die Holzfestigkeit ( $f_{t,o,l,k} = 29 \text{ N/mm}^2$ ).

❑ **Prüfeinrichtungen für Zugeigenschaften**

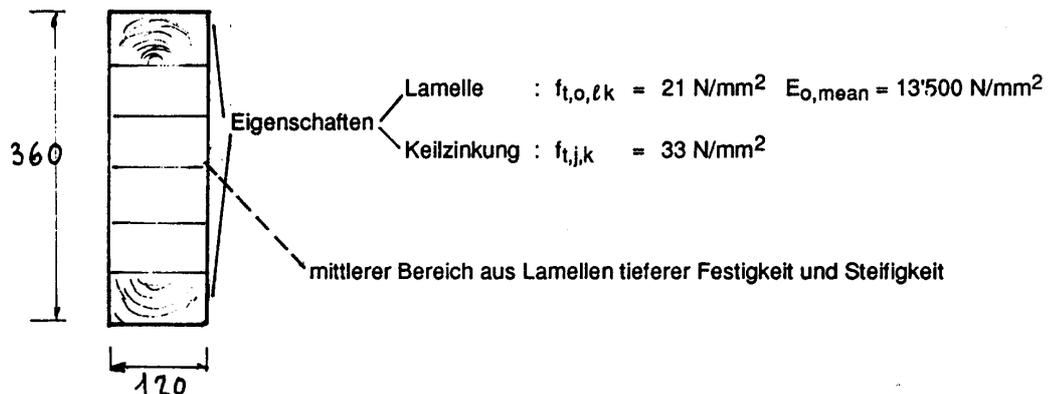
An der Professur für Holztechnologie entwickelte Prüfeinrichtungen ermöglichen die Feststellung der Zugeigenschaften. Zurzeit stehen drei Anlagen zur Verfügung mit den nachfolgenden Kenngrössen.

Typ	Gehzu 600	Gehzu 850	Gehzu 1800
Anwendung	Keilzinken	Bretter	Kantholz / BSH
Probengrösse (max) mm	60 / 250	60 / 250	150 / 300
min. Länge der Probe	0,8 m	1,5 m	2,3 m
freie Einspannlänge	200 mm	0,8 bis 5 m	1,2 bis 5 m
Klemmlänge (pro Seite)	300 mm	350 mm	550 mm
max. Zugkraft	580 kN	850 kN	1750 kN
E-Modulmessung	nein	ja	ja

Diese Anlagen decken in einem grossen Bereich die Bedürfnisse ab und stehen auch ausländischen Partnern zur Verfügung.

❑ **Eigenschaften von Kantschichtholz**

Ausgehend von Kantholzlamellen 60/120 mm wurden 8 Träger mit kombiniertem Aufbau und Abmessungen 120/360, Länge 6,0 m hergestellt.



Setzt man die Gültigkeit des Ansatzes Colling / Falk für Brettschichtholz voraus, so sollte sich ergeben:

$$f_{m,g,k} = 0,96 [7 + 1,15 \cdot 21] = 30 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Ø} \quad 31,4 \text{ N/mm}^2$$

kombinierter Aufbau
für h = 600 mm
für h = 360 mm

Für den Biege–E–Modul ergibt sich

$$E_{0,g,mean} = 0,96 \cdot 13'500 = 12'960 \text{ N/mm}^2$$

Die Ergebnisse der 7 geprüften Träger ergaben eine charakteristische Biegefestigkeit um  $30 \text{ N/mm}^2$  sowie einen mittleren Biege–E–Modul von  $12'600 \text{ N/mm}^2$ . Somit liegt eine gute Übereinstimmung vor.

Aufgrund der bekannten Zugeigenschaften des Holzes und der Keilzinkungen lassen sich aus Schwachholz Kantschichtträger mit höheren Festigkeiten herstellen. Die Produktionsaufnahme dürfte im Frühjahr 96 erfolgen.

## Normung und Praxis

### □ Aufgabe der Normung

Hauptaufgabe jeder Bemessung ist die Gewährleistung einer angemessenen Sicherheit gegen Versagen sowie der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes. Um dies zu erreichen, liefern uns die Normen einen Satz von einzuhaltenden Regeln, die sich auf Material, Berechnung, Ausführung und Kontrolle beziehen.

Die während der Nutzungsdauer des Bauwerkes anzuzielende, angemessene Sicherheit wird durch diesen Satz von Regeln vorgegeben; dadurch sollen einerseits die technischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten und andererseits das öffentliche und individuelle Sicherheitsbedürfnis erfasst und berücksichtigt werden.

Normen haben somit die Aufgaben, praktische Werkzeuge der Projektierung und der Ausführung zu sein. Die Normen können keine konstruktiven Lösungen anbieten; sie sollen jedoch dem Konstrukteur zu sicheren Lösungen verhelfen und dies unter Beachtung der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit.

### □ Anerkannte Regeln der Baukunde

Bedingt durch die Zeitabläufe bis zur Formulierung einer Norm hinkt der Inhalt dem neuesten Stand der Technik nach. Normen können die zukünftigen Entwicklungen weder vorwegnehmen noch berücksichtigen; Normen sind per se innovationsfeindlich, hemmen Neuerungen, schränken die freie Entfaltung und die Kreativität ein.

Unerträglich wirkt sich die Normierung dort aus, wo aus Gründen der Vereinheitlichung eine schlechte Nutzung der Ressourcen aufgezwungen wird. Neben wirtschaftlichen, treten hier die ökologischen Bedenken in den Vordergrund, muss doch von einer vorgeschriebenen Verschleuderung der Resource Holz gesprochen werden.

## □ Genügt die Norm den Ansprüchen der Benutzer?

Es geht hier nicht darum die Norm "konsumgerecht" zu formulieren; es geht auch nicht darum eine Norm "kochbuchartig" zu gestalten. Entscheidend ist eine Beschränkung der Normung auf das Wesentliche. P. Marti (1993) hat die Anforderungen an eine Norm folgendermassen umschrieben:

*"Einfache, auf ein Minimum an Grundsätzen beschränkte, einen hohen Ausbildungsstand der Anwender voraussetzende, auf die Erfahrung abgestellte und neue Entwicklungen ermöglichende, liberale Regeln."*

Wie genau, wie differenziert soll die Norm sein? Muss die Norm für alle heutigen und zukünftigen Fragestellungen eine endgültige Antwort geben? Inwieweit müssen diese Regeln erfüllt werden? Wie genau müssen die Nachweise geführt werden?

Statt diese Fragen zu beantworten, möchte ich die Fragestellung ändern zu:

*"Wie ungenau und summarisch dürfen die Nachweise geführt werden, um – unter Beachtung der sonstigen Unschärfen – die gewünschte Sicherheit darzulegen?"*

## □ Ökonomische Betrachtungen

Die Normen haben einen entscheidenden Einfluss auf den wirtschaftlichen Einsatz eines Baustoffes oder Produktes. Dabei ist weniger entscheidend die genaue Festlegung des Bemessungswertes des Widerstandes um  $\pm 5\%$  als die Berechtigung eines bestimmten Baustoffes oder Produktes als Normenkonform bezeichnet zu werden.

Durch die Zusammenlegung nationaler Normen im Rahmen der Euronormen erfolgt eine Vereinheitlichung in den Spezifikationen der Bauprodukte. Durch die primäre Ausrichtung auf freie Handelbarkeit der Bauprodukte müssen die Spezifikationen möglichst unabhängig von der späteren Anwendung formuliert werden. Die daraus resultierenden Nachteile werden am Beispiel der Klassierung von Bauholz aufgezeigt.

Um den Austausch von Bauprodukten zu erleichtern, verzichten die europäischen Normen auf holzartenspezifische Festlegungen. Die Klassierung von Bauholz geht dabei von 3 Einflussgrössen aus: Biegefestigkeit, Biege-E-Modul und Rohdichte des Holzes. Die Zuordnung zu einer bestimmten Klasse setzt voraus, dass gleichzeitig die Anforderungen für alle 3 Merkmale erfüllt werden.

Für die Bemessung eines Tragwerkes ist meist nur eines von den 3 Sortiermerkmalen massgebend. Durch die Klassierung nach dem jeweils "schlechtesten" Merkmal, wird auf einen sinnvollen und optimalen Einsatz des Baustoffes Holz verzichtet.

## Entwurfsgerechtere Normen

Die Regeln der Baukunde haben sich ausgehend von Beobachtungen und praktischen Erfahrungen entwickelt; inzwischen hat der Einfluss der Forschung auf die Normung stetig zugenommen. Einfachere, empirische Ansätze wurden abgelöst durch stärker differenzierte, wissenschaftlich begründete Modelle. Durch diese Verfeinerung lassen sich unterschiedliche Konfigurationen und Einwirkungssituationen besser erfassen. Voraussetzung sind jedoch fundiertere Kenntnisse über die einzuführenden Grössen, Kenntnisse die heute in der Praxis noch nicht vorhanden sind.

Für den Forscher und Normenschaffenden ist damit das Problem weitgehend gelöst; für die Praxis erhöhen sich die Unsicherheiten.

Die Frage nach der zumutbaren Berechnungsgenauigkeit wurde bereits aufgeworfen. Meines Erachtens zwingen uns die Normen oftmals zu unnötigen und aufwendigen Berechnungen. Darunter leiden die wichtigen konstruktiven Belange.

In der Schweiz wird deshalb – ausgelöst durch den Entwurf zum Eurocode 5 – ernsthaft eine drastische Vereinfachung des Berechnungs- und Bemessungsvorganges diskutiert. Mögliche Vereinfachungen betreffen:

### □ Rechnerische Modelle

Die Anwendungsregeln sind soweit tolerierbar zu vereinfachen. Die Rechenmodelle (bisherige wie neue) weisen z.T. grössere Unschärfen auf, insbesondere bedingt durch die grosse Heterogenität des Baustoffes Holz auf. Inwieweit lässt sich die Anzahl von Eingangsgrössen, Modifikationsfaktoren, usw. ... reduzieren, ohne wesentliche Einbusse an der Aussagekraft des Nachweises?

Jede Reduktion erleichtert ein "normengerechtes" Entwerfen. Im Vordergrund sollte ja das Entwerfen in Holz stehen. Wird der Zugang zu einem Entwurf (mit entsprechender Bemessung oder Vorbemessung) erschwert, z.B.. hoher Aufwand, Unübersichtlichkeit, ..., erfolgt möglicherweise der Entwurf mit einem "umgänglicheren" Baustoff als Holz.

### □ Nachweisbedingungen

Im Eurocode 5 ist die Basis der Bemessungswerte generell der charakteristische Wert  $R_k$ , der sich aufgrund von Kurzzeitversuchen ergibt. Bei einer totalen Versuchsdauer von rund 5 Minuten wird der Bauteil nur während ca. 10 bis 20 Sekunden einer hohen Beanspruchung ausgesetzt. Für normale Bemessungssituationen müssen diese Werte ständig "korrigiert" werden, d.h. auf eine baupraktisch relevantere längere Beanspruchungsdauer modifiziert werden.

Weshalb nicht direkt diesen Wert – wie übrigens bisher gehandhabt – als Basiswert festlegen? Eine weitere Vereinfachung lässt sich noch durch den Verzicht auf eine Differenzierung bezüglich Einwirkungsdauer erreichen.

Für Vollholz und vollholzähnliche Produkte, sowie für Schicht- und Sperrhölzer könnte der Sicherheitsnachweis mit

$$S_d \leq R_d$$

erfolgen, wobei in der Norm direkt die Werte für  $R_d$  (mit  $R_d = 0,7 \times R_k$ ) aufzuführen sind. Die Werte für  $R_d$  gelten – unabhängig von der Lastdauer – für eine Holzfeuchte um 12 %; eine Korrektur wäre somit nur für feuchtes oder nasses Holz durchzuführen.

Dadurch wird das ganze Nachweisverfahren überschaubarer und auch weniger fehleranfällig. Vergleiche zeigen, dass trotz Vereinfachungen die Ergebnisse innerhalb des bisherigen üblichen Streubandes zu liegen kommen. Für Sonderfälle und wo auch sinnvoll, können – falls zuverlässige Eingangsdaten vorliegen – auch wissenschaftlich begründete, differenziertere Modelle eingesetzt werden.

Und damit komme ich zurück auf den Anfangs erwähnten Ausnahmeartikel, den Schweizer Ingenieure so vermissen. Und somit schliesst sich auch der Kreis meiner Ausführungen.