

# Sortierung und Qualität von Bauholz. Teil II: Die Erfassung der Holzcharakteristika in Forschung und Entwicklung

Autor(en): **Meierhofer, U. / Richter, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 7

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77051>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Sortierung und Qualität von Bauholz

Teil II: Die Erfassung der Holzcharakteristika in Forschung und Entwicklung

**Der erste Teil dieser Artikelserie behandelte in Heft 27/28/1988 die charakteristischen Erscheinungsformen des Holzes, grundsätzliche Fragen zur Sortierung und Qualität sowie praktische Auswirkungen einer besseren Sortierung. Der nachfolgende zweite Teil ist ein kurzer Rückblick auf die Bauholzforschung als Grundlage der gegenwärtigen Sortierverfahren.**

## Einleitung

Die Analyse der grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen den Holzeigenschaften und einer Sortierung im voran-

VON U. MEIERHOFER  
UND  
K. RICHTER,  
DÜBENDORF

gegangenen Beitrag zeigte, dass durch die grosse Schwankungsbreite der Holzcharakteristika eine Zuordnung von Bauholz in bestimmte, definierte Qualitätskategorien sowohl wirtschaftlich als auch sicherheitstechnisch notwendig, gleichzeitig aber in der Praxis, selbst bei Beschränkung auf die technischen Holzeigenschaften, schwierig realisierbar ist.

Und dies, obwohl die Holzforschung seit ihrer Begründung bemüht ist, die Gesetzmässigkeiten der Beeinflussung der mechanischen Festigkeit des Holzes durch die verschiedenen Holzcharakteristika aufzudecken. Ziel des hier vorgestellten NFP-12-Projektes war es, die Möglichkeit einer Umgestaltung oder Verbesserung der bestehenden Sortierverfahren durch möglichst einfache apparative Hilfsmittel aufzuzeigen. Hierfür ist das Wissen um diese Grundzusammenhänge von grösster Bedeutung. Da die im Laufe der letzten 100 Jahre gewonnenen Erkenntnisse jeweils auch in die z.T. heute noch gültigen Normenwerte miteingeflossen sind und somit die aktuelle Sortierpraxis mitbeeinflussen, scheint ein kurzer Rückblick auf die geschichtliche Entwicklung der Bauholzforschung sinnvoll. Dabei werden gleichzeitig Tendenzen und Richtungen aufgezeigt, die für die Beurteilung der zukünftigen Sortierverfahren von Bedeutung sind.

Die nachfolgend skizzierten Arbeiten bedeuten keineswegs einen vollständi-

gen Abriss der in diesem Bereich durchgeführten Forschung. Vielmehr sollen mit einem guten Querschnitt die Bandbreiten, die spezifischen Probleme und auch die Entwicklung aufgezeigt werden, die im Laufe der Jahrzehnte doch sehr markant waren. Die Darstellung folgt deshalb mehr dem chronologischen Ablauf als den technischen Zusammenhängen und nimmt nicht auf bestimmte Holzarten Rücksicht, da die Einflüsse bei allen Holzarten tendenziell die gleichen sind und keine quantitativen Folgerungen gezogen werden sollten.

## Die Pionierphase: Erste qualitative Aussagen über festigkeitsrelevante Einflussgrössen

Bei der Durchsicht der frühen Untersuchungen wird offensichtlich, dass die damaligen Forscher noch sehr unvollständige Vorstellungen über die wesentlichen festigkeitsbeeinflussenden Parameter hatten; der Holzfeuchte wurde – wenn überhaupt – nur eine geringe Bedeutung zugemessen. So schrieb *Tetmajer* (1896) über die Brucherscheinungen bei Biegeversuchen:

«Die Zerstörung der Kohäsion erfolgte ausnahmslos durch Reissen der gespannten Fasern. Lokale Ineinanderschiebungen der Fasern der komprimierten Balkenseite sind nur in einzelnen Fällen beobachtet. Es möchte diese Erscheinung um so auffallender sein, als die Druckfestigkeit des Holzes kaum die Hälfte der Zugfestigkeit erreicht, demnach zu erwarten wäre, dass die gepressten Fasern sich ineinanderschieben, bevor die gespannten reissen. ... Je nach dem Grade der Feuchtigkeit, Güte der Appretur und nach der zufälligen Lage der Astknoten waren die Brucherscheinungen verschieden. Feuchtes Lärchen-, Buchen- und

Eichenholz konnte überhaupt zu keinem Bruche gebracht werden; es schieferten oder splitterten die gespannten Fasern lagenweise ab, allein ein durchgreifender Bruch war nicht zu erzielen. In der Regel war der Bruch durch Ausschieferung der Jahresringe auf der gespannten Balkenseite oder durch Astknoten geschwächte Stellen eingeleitet und fiel in solchen Fällen unregelmässig, meist zickzackförmig verlaufend aus.»

Dies bedeutet, dass die wesentliche Unterscheidung zwischen strukturgestörtem und nicht strukturgestörtem Holz durch *Tetmajer* noch nicht vollzogen wurde.

Trotz der richtigen Beobachtung, dass der Ast einen wesentlichen Einfluss auf das Bruchgeschehen hat, machte *Tetmajer* keinen Versuch, diesen genau zu erfassen, sondern beschränkte sich auf globale Umschreibungen wie «reich an kleinen Astknoten» oder ähnlich. Andererseits wurde in der gleichen Untersuchung die Festigkeitsminderung durch Imprägnierung mit Chlorzink und Kupfervitriol untersucht wie auch die Lage (Geologie, Meereshöhe, Süd/Nordhang) als Versuchsparameter miteinbezogen.

In einer weiteren frühen Untersuchung stellte Baumann (1922) u.a. die starke Abhängigkeit von Festigkeitseigenschaften von der *Holzdicke* (Raumgewicht) fest. Es wurden auch Proben mit gekrümmtem Faserverlauf, mit Verwachsungen, Ästen, Drehwuchs, Windbruch, Harztaschen und Harzstellen untersucht, allerdings ohne die Strukturstörungen genauer (schon gar nicht quantitativ) zu erfassen.

*M. Roš* veröffentlichte (1925) die Ergebnisse von Zug-, Druck-, Biege- und Scherfestigkeitsuntersuchungen, die als Grundlage für die Revision der Norm SIA 111 (1926) dienten. Im Bericht ist zu lesen:

«Bei Balken mit in der Regel unvermeidlichen Wuchsfehlern (Äste, Schwindrisse, Drehwuchs) und mit der zur Balkenachse nicht parallelem Holzfaserungsverlauf erfolgte der Bruch durch das Zerreißen der Fasern in der Zugzone (schräges Anreißen, zumeist von astiger Stelle ausgehend).

Bei in der Mitte stark längsrissigen Balken wurde die Tragkraft durch das Aufspalten des Balkens längs der Nulllinie nicht selten auf die ganze Balkenlänge erschöpft. Die schon an sich sehr geringe Scherfestigkeit des Holzes parallel zur Faser (64,3 bzw. 60,5 kg/cm<sup>2</sup>) kann

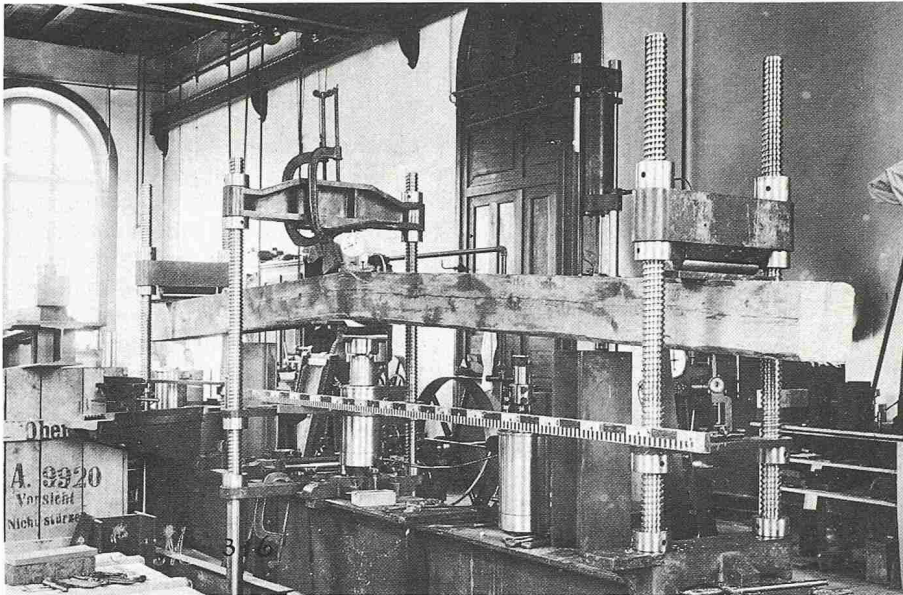


Bild 1. Biegeprüfung von Holzbalken an der EMPA, 1924. Bereits damals wurden Bauteile in praxisüblichen Abmessungen getestet

durch nicht leicht feststellbare Schwindspannungen und durch sichtbare Schwindrisse derart geschwächt werden, dass die Schubfestigkeit ganz unerwartet überwunden wird.»

Und an anderer Stelle:

«Die Heterogenität des Gefügebauaus an sich, die Klima- und Bodenverhältnisse, die Fällzeit, die unvermeidlichen Wuchsfehler (Astknoten, Harzgallen, Drehwuchs), die Entfernung der Jahresringe, die Höhe des Wassergehaltes, die Lagerung und Behandlung des Holzes, beeinflussen dessen Festigkeitseigenschaft in hohem Masse. Das Holz ist zufolge seines anatomischen Aufbaus kein homogener, vielmehr ein heterogener Körper. Die Grenzwerte der Festigkeiten von Holzkörpern dem gleichen Bestande, ja dem gleichen Stamme entnommen, schwanken innerhalb weiter Grenzen.

Der angemessene Spielraum, innerhalb welchem eine Holzgattung praktisch als technisch gleichwertig eingeschätzt werden kann, darf mit 20% Abweichung vom Mittelwert angesetzt werden. In dieser Erkenntnis sollen bei den neuen Holznormen Abweichungen der Festigkeitswerte des zur Verwendung gelangenden Holzes von 20% für eine Erhöhung oder Abminderung der zulässigen Spannung nicht bestimmend sein. Erst nach Über- oder Unterschreitung von 20% des Festigkeitsnormwertes wird das Holz als von besserer oder schlechterer Qualität als Normalqualität angesehen, und dann hat eine entsprechende Erhöhung oder Erniedrigung der zulässigen Spannungen zu erfolgen...

Abgesehen von der Herkunft der Holzstämme, von der Fällzeit und den

Wuchseigenschaften ist bei der Wahl des Bauholzes in bezug auf seine Festigkeitseigenschaften der Wassergehalt und die Entfernung der Jahresringe bzw. das Verhältnis von Früh- zu Spätholz massgebend.»

Die Beobachtungsgabe und die auf Wesentliche gehenden Folgerungen von Roš nötigen auch dem Leser von heute einige Bewunderung ab. So erkannte Roš zum Beispiel klar den *quantitativen* Einfluss der Strukturstörungen sowie er auch – über die Jahrringbreite hinausgehend – den *Spätholzanteil* als festigkeitsrelevante Grösse diagnostizierte. Auch die nicht näher spezifizierten *Streuungen* liegen im Bereich der heute als üblich geltenden Masse, wenn man sie als Variationskoeffizient interpretiert, ein statistischer Parameter, der damals noch nicht zum Instrumentarium des Materialprüfers gehörte. Sowohl bei den Untersuchungen von Roš wie auch in der erwähnten SIA-Norm fehlen jedoch Qualitätsumschreibungen bzw. -definitionen des Holzes. Der Schritt zur Quantifizierung von Holzkenngrossen bzw. deren Erfassung wurde von Roš noch nicht vorgenommen.

### Die 30er und 40er Jahre: Grundlegende Erkenntnisse zur Güteerfassung und Sortierung unter Berücksichtigung von Astigkeit und Dichte

Schaechterle berichtete (1929) über Festigkeitsuntersuchungen, die von O. Graf an Fichten- und Kiefernholz durchgeführt worden waren. Hier wurden die Resultate nun das erste Mal auf-

geschlüsselt in «starke Äste», «mittlere Äste» und «keine oder nur kleine Äste» (Bild 2). Allerdings wurde der Asteinfluss nicht quantifiziert, und in den Ergebnissen wurde eingehend der Einfluss von Holzfeuchte und Spätholzanteil, nicht aber jener der Äste diskutiert, obwohl er aus den Ergebnissen deutlich hervorgeht. Graf selbst stellte (1932) fest: «Der Einfluss von Ästen auf die Festigkeit wird häufig unterschätzt». Er differenzierte dann zwischen der *Druck-, Biege- und Zugbeanspruchung*, wo der Asteinfluss in dieser Reihenfolge von gering bis sehr gross beurteilt wird. Graf schlug dann die Schaffung von drei Güteklassen vor: A, B und C (wobei die unterste, A, als gewöhnliches Bauholz gelten sollte). Dabei sah er folgende *zulässige Astquotienten* (Verhältnis von Astdurchmesser zur Breite der Fläche) für Güteklassen A, B und C vor: Für Kantenäste  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{1}{6}$ , für übrige Äste  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{1}{6}$ . Im weiteren sollten die absoluten Abmessungen der Äste beschränkt werden, nämlich auf 8 cm, 6 cm und 4 cm, und die Summe der Astdurchmesser auf einer Länge von 15 cm sollte nicht grösser sein als  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$  bzw.  $\frac{2}{5}$ .

In der gleichen Publikation finden sich noch zwei Aufsätze von Mayer-Wegelin und Brunn (1932) und Hempel (1932), die beide die Dichte von Kiefernholz verschiedener Provenienzen untersuchten und hierbei einen massgeblichen Einfluss der Dichte auf die Druckfestigkeit feststellten.

Bei Gaber (1936) finden wir einen Versuch, die *Strukturstörungen* Waldkante (Baumkante), Schrägfasrigkeit und Astigkeit in rechnerische Modelle umzusetzen und zu *quantifizieren*. Bei der Baumkante und den Ästen rechnete er mit einem verminderten Widerstandsmoment, wobei er die Äste als Löcher im Holz betrachtete. Bezüglich der *Schrägfasrigkeit* fand er einen Ansatz, der später von Stüssi (1946) und Meierhofer (1977) wieder aufgenommen wurde. Seine Modellberechnungen bestätigte er mit Versuchen, bei denen er eine Reihe von *Astkonfigurationen* berücksichtigte. Die Verhältnisse schienen ihm jedoch sehr komplex: «Die zahlreichen Versuche reichen zu einem schlüssigen Beweis doch noch nicht aus, denn Holz ist bei jeder Prüfung ein launisches Material». Bezüglich *Baumkante* fordert Gaber vollkantige Querschnitte (keine Baumkante) für die Güteklasse I, was auch heute noch bei der Norm SIA 164 (1981) realisiert ist. Gaber beleuchtete auch die unterschiedlichen Anforderungen der Anwendung und der Handelsreglemente: «Die Klasseneinteilung muss ausschliesslich unter dem Gesichtspunkt des Verwen-

dungszwecks geschehen und kann deswegen wenig Rücksicht auf die bisherigen Handelsgebräuche nehmen».

Es ist offensichtlich, dass in der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg viele der heute noch gültigen Grundsätze für die Erfassung der Holzcharakteristika entwickelt worden sind, vornehmlich im Hinblick auf Güteerfassung, Gütesicherung, Sortierung und Normierung. Verschiedene Ideen wurden dabei aus den Vereinigten Staaten übernommen, wo die Holzbautätigkeit sehr intensiv war und bereits zu jenem Zeitpunkt eine weitgehende Differenzierung und Aufteilung in verschiedene Sortierklassen («grades») mit Berücksichtigung sowohl der Astgrössen als auch der Dichte des Holzes üblich war (Abschätzen der Dichte mittels Jahrringbreite). Bemerkenswert sind die unterschiedlichen Sortierkriterien für Stützen und Balken (Biegebalken), wo in den Bereichen geringer Beanspruchung, d.h. bei den Balkenenden und in der neutralen Zone, die zulässigen Astabmessungen wesentlich grösser sein konnten. Bei Graf (1938) ist eine Reihe von Überlegungen hierzu zu finden, die durch Versuchsergebnisse ergänzt wurden (Druck-, Zug-, Biegeversuche), wobei die Äste sowohl in bezug auf Grösse wie auch auf Lage als Versuchsparameter aufgenommen wurden (Bild 3). Gegenüber den zwanziger Jahren hatte sich offensichtlich die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Ast das massgebende festigkeitsmindernde Strukturmerkmal des (Bau-)Holzes ist, und es wurde versucht, dieses Phänomen «in den Griff zu bekommen».

Weitere Untersuchungen insbesondere zum Einfluss von Baumkante und Schwindrissen wurden von Graf (1941) veröffentlicht. Der Einfluss der Baumkante erwies sich als untergeordnet, während die Biegeprüfung mit mehr oder weniger stark schwindrissigen Balken bei ca. der Hälfte der Proben zu einem Schubversagen führte. Die Schwindrissigkeit sei deshalb insbesondere bei Markquerschnitten zu beachten.

Im gleichen Bericht geht Graf auch auf die in der Zwischenzeit revidierte DIN 1052 und DIN 4074 (Sortierung) ein: «... Dabei sind massgebend die Rohgewichte und die Jahrringbreite (nur für Güteklasse [I], der Faserverlauf, die Astigkeit, der Feuchtigkeitsgehalt, die Massabweichungen, die Schnittklassen und der sonstige Zustand des Holzes».

Dies war vor allem das Ergebnis von Graf's früheren Untersuchungen. Damit hatte die DIN 4074 weitgehend jene Form, die noch heute gültig ist (eine Revision ist zur Zeit in Vernehmlassung) und wie sie etliche Jahre später

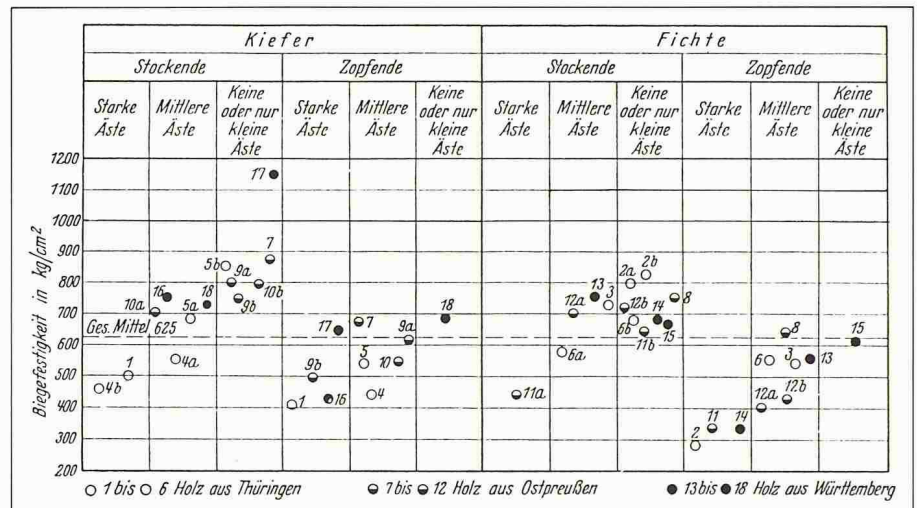


Bild 2. Biegefestigkeiten von Hölzern nach 11 Monaten Luftlagerung (nach Schaechterle [1929])

im grösseren Umfang von der Norm SIA 163 (1953) übernommen wurde. Entgegen den Feststellungen von Marchand (1982) beruhen die in den Normen SIA 164 (1953 und 1981) angegebenen Festigkeitswerte nicht auf der Prüfung von kleinen strukturstörungsfreien Proben, sondern – ebenso wie die zugehörigen Qualitätumschreibungen des Holzes (bezüglich Astigkeit, Schrägfasrigkeit, Dichte etc.) – auf umfangreichen Untersuchungen, die im wesentlichen vor dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland an Proben in Bauholzdimension durchgeführt wurden.

Im übrigen weist auch Graf, ebenso wie schon Gaber (1936), in dieser Publikation auf die Notwendigkeit einer effizienten, verwendungsbezogenen Sortierung hin: «Schliesslich wird zu beachten sein, dass die Ausnutzung der Hölzer nur

dann mit dem möglichen und wünschenswerten Grad zustande kommt, wenn alle Beteiligten die vorhandenen Erfahrungen voll beachten. Dazu gehört die scharfe Sortierung der Hölzer und ihre entsprechende Verwendung. Es ist nicht angängig, das Holz nach Gutdünken zu sortieren; es müssen technisch eindeutige, also zahlenmässig fassbare Grenzen überall gelten. Es muss eine Ordnung walten, die der gleich steht, die auf andern Gebieten der Technik mit andern Stoffen schon lange als selbstverständlich gilt, um so mehr als das Holz volkswirtschaftlich und technisch zu den wertvollsten Stoffen gehört.»

In diese Zeit, d.h. vor und während des Zweiten Weltkrieges, fallen auch erhebliche Forschungsanstrengungen, die von Staudacher an der EMPA durchgeführt wurden, wobei er scheinbar von

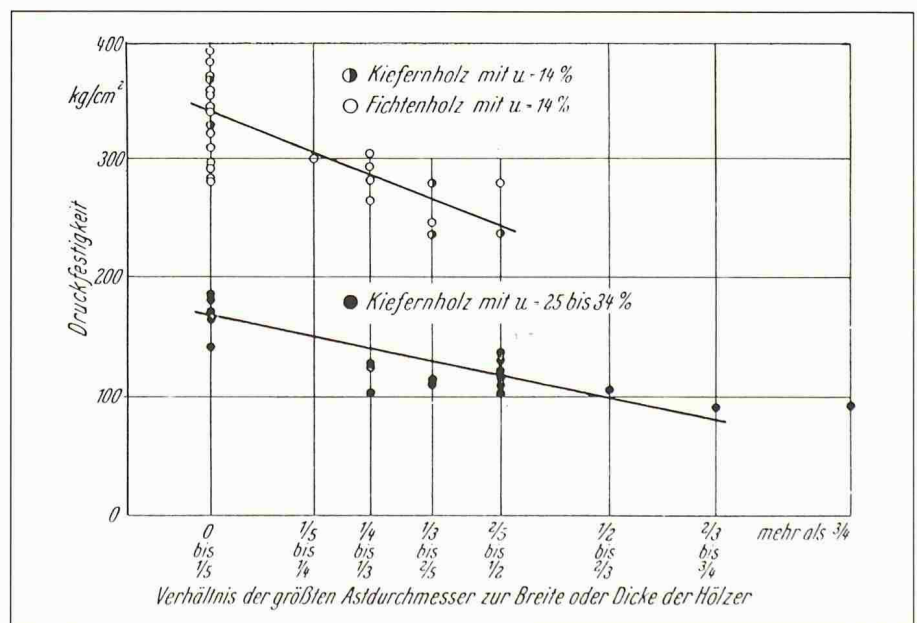


Bild 3. Druckfestigkeit von Fichten- und Kiefernholz in Abhängigkeit von der Astgrösse (nach Graf [1938])

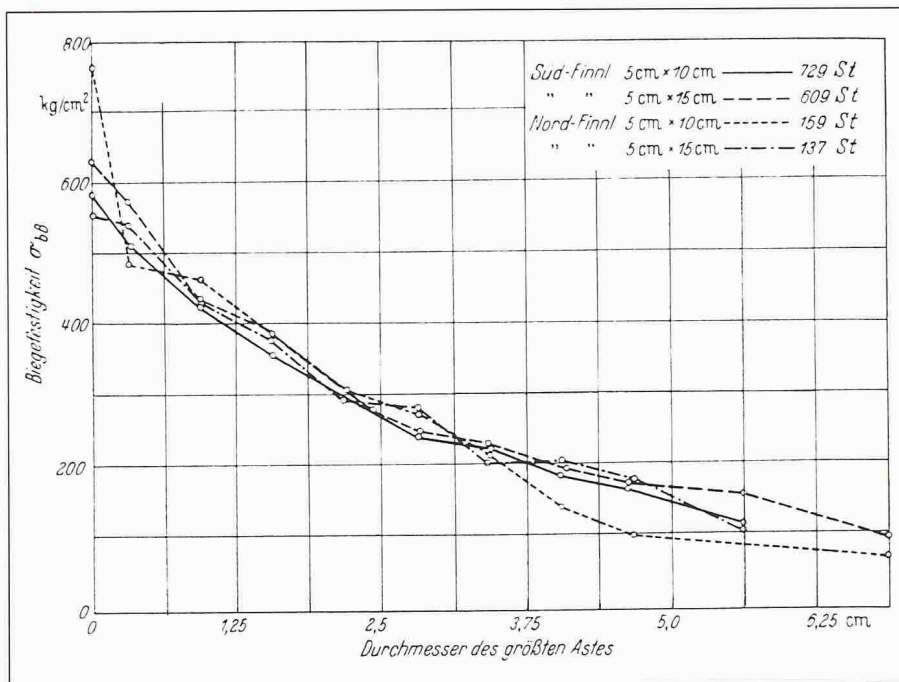


Bild 4. Durchschnittlicher Einfluss des grössten Astes auf die Biegefestigkeit von Kiefernholzbohlen (nach Siimes [1944])

den deutschen Arbeiten nur zu einem geringen Teil Kenntnis hatte. Staudacher entwickelte und veröffentlichte (1942) eine Methodik zur umfassenden Ermittlung der Holzeigenschaften. Obwohl die Astigkeit teilweise ausgemessen wurde, beschränkten sich die mechanischen Prüfungen auf strukturstörungsfreies Holz. Das Ergebnis der ausgedehnten Arbeiten wurde schliesslich durch Kühne (1955) veröffentlicht.

Ähnlich wie in Mitteleuropa konzentrierten sich auch die skandinavischen Forscher in dieser Periode auf die grundlegende Beschreibung der wichtigsten festigkeitsbeeinflussenden Parameter. Sie versuchten dabei allerdings schon relativ früh, durch Modellbetrachtungen und unter Einbezug statistischer Methoden zu allgemeingültigen Aussagen zu kommen.

So betrachtete Ylinen (1942) die Dichte des Holzes bzw. den Spätholzanteil und die Dichteunterschiede zwischen Früh- und Spätholz als statisches Problem, indem er nach einem eigens entwickelten Ansatz eine Aufteilung in Früh- und Spätholz vornahm und die beiden Anteile mit verschiedenen Materialparametern versah. Seine Modellrechnungen für Festigkeit und Verformung verglich er mit den Resultaten von Versuchen an finnischem Kiefernholz.

Auch an finnischem Kiefernholz untersuchte Siimes (1944) den Einfluss verschiedener Astkonfigurationen auf die Biegefestigkeit. Gemäss den Resultaten ist die Abhängigkeit der Festigkeit von der Grösse des einzelnen Astes wesentlich klarer als die von der Grösse der Astsumme (Bild 4).

Entsprechend Gaber (1936) versuchte auch Thunell (1942) verschiedene Astkonfigurationen statisch als Reduktion von Widerstands- und Trägheitsmoment zu modellieren und erzielte in einigen Fällen eine relativ gute Übereinstimmung mit Versuchsergebnissen.

Der gleiche Autor (Thunell [1951]) untersuchte den Einfluss von Drehwüchsigkeit auf die Biegefestigkeit und -verformung von ganzen Stämmen. Im Vergleich mit geradfasrigen Stämmen waren die Unterschiede gering, wobei zu beachten ist, dass das beim Kantholz kritische schräge Auslaufen der Fasern beim Rundholz nicht auftritt.

#### Die 50er und 60er Jahre: geprägt vom Einsatz statistischer Methoden und der Entwicklung maschineller Sortiermaschinen

Neue Möglichkeiten für die Holzforschung entstanden – wie für viele andere Disziplinen auch – aus der Entwicklung und Verfeinerung von mathematisch-statistischen Methoden, mit welchen die stark streuenden Eigenschaftswerte beschrieben und miteinander in Beziehung gebracht werden konnten.

So bedienten sich Kloot und Schuster (1958) der Regressionsgeraden und Vertrauensbereiche, um die ausgeprägte Abhängigkeit zwischen der Schrägfasrigkeit und der Biegefestigkeit bzw. -verformung von (Eukalyptus-)Kanthölzern darzustellen und sicherten damit Normenwerte ab. Einen weiteren Entwicklungssprung bedeutete die Einführung der elektronischen Datenverar-

beitung, die es ermöglichte, grosse Datenmengen zu erfassen und auszuwerten. In dieser Periode, insbesondere nach 1960, kamen die ersten Holzsortiermaschinen auf den Markt. Für ihren sinnvollen Einsatz waren umfangreiche statistische Untersuchungen notwendig, wie sie – zusammen mit einer ausführlichen Literaturübersicht – durch Govers (1968) vorgestellt wurden.

Diese Untersuchungen betreffen im allgemeinen die Ermittlung eines Elastizitätsmoduls (eine durch Sortiermaschinen messbare Grösse), der zu einer praxisrelevanten Festigkeitsgrösse, meist der Biegefestigkeit, aber auch der Zug- und Druckfestigkeit, in Bezug gesetzt wurde (Bild 5). Dabei kommt der optimalen Messung des E-Moduls eine besondere Bedeutung zu (statisch, dynamisch, flach, hochkant, gebogen, gedrückt etc.). Aus der grossen Vielzahl von entsprechenden Untersuchungen sei lediglich auf diejenigen von Curry und Tory (1976), Curry und Fewell (1977), Orosz (1977) sowie Heimeshoff und Glos (1980), Glos (1983) und Tebbe (1987) hingewiesen. Im einzelnen werden die verschiedenen physikalischen und apparativen Sortierungsmöglichkeiten und -hilfen im Teil IV dieser Artikelserie vorgestellt und bewertet.

Neben dem Trend, die Vielfalt und grosse Bandbreite der Erscheinungen und Messwerte statistisch zu bewältigen, verstärkte sich in den 60er Jahren die Tendenz, durch umfangreiche und detaillierte Untersuchungen das heterogene Holz in seinen vielen Erscheinungsformen beschreibend zu erfassen und modellmässig zu charakterisieren.

So befasste sich Zehrt (1962) mit den Grössen, die die Zugfestigkeit beeinflussen, vor allem mit der Schrägfasrigkeit. Er analysierte Zugbrüche und wandte eine von Norris (1955) entwickelte Interaktionsformel auf Zug-, Querkzug- und Scherfestigkeit an. Er stellte fest, dass bei Beanspruchung schräg zur Faser die Scherfestigkeit in einem weiten Bereich die kritische Grösse ist, und erzielte in verschiedenen Versuchsserien befriedigende Übereinstimmung von modellmässig prognostiziertem Verhalten und Versuchsergebnissen.

#### Die 70er Jahre: «Engineering-approach» und probabilistische Bemessungsmethoden

Mit den Arbeiten von Madsen in Vancouver in den frühen siebziger Jahren begann ein neues Kapitel in der Holzforschung. Diese Epoche kann verein-

fachend charakterisiert werden durch eine absolute Dominanz des «engineering-approach», d.h. des direkt-linearen, ingenieurmässigen Denkens zum Erreichen eines Ziels, aber auch durch ein Denken in grösseren Zusammenhängen (z.B. Untersuchung der verschiedenen Phänomene bei Holz in ihrer Zusammenwirkung, z.B. Holzqualität, Holzfeuchte, Belastungsdauer und -niveau). Einen wichtigen Eckpfeiler bilden dabei die neuen probabilistischen, die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen berücksichtigenden Betrachtungsweisen, die – ausgehend vom Flugzeugbau – auch für die Sicherheit von Bauwerken eine wesentliche Rolle zu spielen begannen.

Für die wahrscheinlichkeitstheoretischen Betrachtungen erwies sich die statistische Modellierung der streuenden Holz-Eigenschaftswerte als geeignetes Werkzeug. Für die benötigten *grossen Stichproben* waren jedoch umfangreiche Versuchsserien erforderlich, die nur dort durchgeführt werden konnten, wo sich entsprechende Forschungskapazitäten mit den Interessen von Grossindustrien und ganzer Wirtschaftszweige zusammenfanden. Dies war beispielsweise in British Columbia der Fall.

Stellvertretend für eine ganze Reihe weiterer Arbeiten sei hier auf die frühen Untersuchungen von *Madsen* (1973 und 1975) verwiesen. Für all diese Untersuchungen ist die Tatsache kennzeichnend, dass meist mit vorgegebenen Sortierungen gearbeitet wurde. Im Gegensatz zu früheren Perioden traten die Bemühungen, die Sortierung zu verbessern oder eine geeignete Sortierung zu finden, in den Hintergrund. Ziel war nun, innerhalb einer Sortierung die *ingenieurmässig relevanten Eigenschaften* mit einer Genauigkeit zu erfassen, wie sie durch vorwiegend statistische Gesetzmässigkeiten als notwendig erachtet wurden. Dazu gehörte auch ein spezielles Interesse am untersten Bereich von Festigkeits/Häufigkeitsverteilungen, der für die Versagenswahrscheinlichkeit von mechanisch beanspruchten Konstruktionen von besonderer Wichtigkeit ist. In der Zwischenzeit ist der untere 5%-Auschlusswert – besser bekannt als 5%-Fraktile – zur Konvention geworden.

Neben diesen weitreichenden Entwicklungen wurden auch weiterhin eher konventionell konzipierte Forschungsprojekte durchgeführt, mit dem Ziel, verschiedene Holzcharakteristika und -eigenschaften miteinander in Bezug zu setzen. So berichtete *Kucera* (1970 und 1973) von Untersuchungen der Knick- und vor allem der Biegefestigkeit im

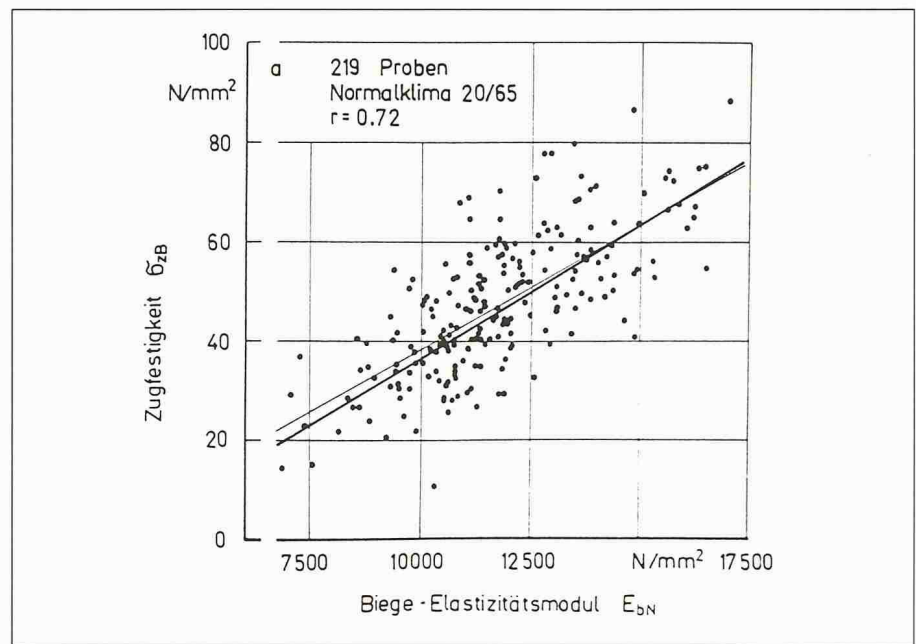


Bild 5. Zugfestigkeit von Fichtenlamellen in Abhängigkeit vom Biegeelastizitätsmodul (nach Heimeshoff und Glos [1980])

Zusammenhang mit verschiedenen Einflussfaktoren: Astigkeit, Schwindrisse, Drehwuchs, Reaktionsholz, Holzverfärbungen und Faserabweichungen. *Kucera* berechnete für seine Versuchskörper Astkoeffizienten gemäss British Standard BS 940 (1941) und erzielte mit diesen geradezu sensationell anmutende Korrelationskoeffizienten  $r$  von 0,76 bis 0,97 in bezug auf Festigkeitswerte. Es ist allerdings anzunehmen (was aus dem Untersuchungsbericht nicht hervorgeht), dass die Korrelationsrechnung mit Mittelwerten von Versuchsgruppen durchgeführt wurde.

Tatsache ist, dass die entsprechenden Korrelationskoeffizienten üblicherweise wesentlich tiefer liegen. Schon die Korrelationskoeffizienten von maximal 0,8, die *Thunell* (1979) aufzeigte, waren überdurchschnittlich hoch. Die Dichte wurde hier allerdings separat erfasst. *Thunell* untersuchte und verglich vier *verschiedene Astparameter* untereinander und ihre Korrelation mit dem Biegeelastizitätsmodul (bzw. der Prüfgrösse einer Sortiermaschine) und den Biegefestigkeiten. Von diesen Astparametern entsprachen zwei der British Standard BS 4978 (1973), nämlich die Astflächenverhältnisse KAR (über dem gesamten Querschnitt) und KAM (im Randbereich). Ein Astparameter  $K$  entsprach mehr oder weniger dem in der Norm SIA 164 (1981) verwendeten Astverhältnis  $q$ , und ein letzter Parameter war auf der Asterfassung gemäss  $K$  aufgebaut, berücksichtigte jedoch sämtliche vier Oberflächen eines Balkens. Bemerkenswert schlecht waren die Korrelationen *zwischen* den verschiedenen Astparametern. Zwischen  $r = 0,48$  und

0,96 traten fast alle Werte auf. Zusammen mit den unbefriedigenden Korrelationen zwischen den Astparametern und der Biegefestigkeit ist dies ein sicherer Hinweis, dass sämtliche getesteten Astparameter die Verhältnisse zu wenig zutreffend erfassen.

Nicht zu vergessen sind im übrigen alle jene Untersuchungen, die, ausgehend von *forstlichen Fragestellungen*, die Abklärung der Holzqualität bzw. der technischen Verwertbarkeit zum Thema haben. Stellvertretend für viele andere sei hier *Brunner* (1981) erwähnt, der sich mit der Astigkeit, dem Jahrringbau und den Harztaschen von schweizerischem Bergholz befasste.

Zu den neueren Untersuchungsmethoden der Materialprüfung gehört die *Bruchmechanik*, die nach ersten Ansätzen in den zwanziger, dann vor allem auch in den fünfziger und sechziger Jahren entwickelt worden war und einen grossen Aufschwung erlebte. Naheliegenderweise wurden bruchmechanische Untersuchungen auch bei Holz durchgeführt, z.B. durch *Boatright* und *Garrett* (1979), nicht zuletzt, um die schwächende Wirkung von Ästen im Holz modellmässig zu erfassen.

Die Nützlichkeit dieser Methoden scheint zunächst eher im Modellhaften zu liegen – z.B. als Teil von Schadensmodellen – als im Bereich von konkreten Situationen, da sich die heterogenen Verhältnisse im Holz nur unzureichend erfassen lassen.

In dieser Zeit hatten sich die Biegemaschinen als Sortiergeräte vielerorts etabliert; ihre Möglichkeiten, aber auch ihre Beschränkungen, sowohl was die Dimensionen als auch was die Ge-

## Literatur

- Baumann, R.*: 1922. Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Ingenieurwesens. Heft 231
- Boatright, S.W., Garrett, G.G.*: 1979. The effect of knots on the fracture strength of wood. *Holzforschung* (33)3, 68-77
- Brunner, A.*: 1981. Holzkundliche Aspekte von Bergholz. Bull. Schweiz. Arb. Gem. für Holzforsch. (1981/1)
- Curry, W.T., Tory, J.R.*: 1976. The relation between the modulus of rupture (ultimate bending stress) and modulus of elasticity of timber. BRE current paper 30/76
- Curry, W.T., Fewell, A.R.*: 1977. The relation between the ultimate tension and the ultimate compression strength of timber and its modulus of elasticity. BRE current paper 22/77
- Gaber, E.*: 1936. Der Einfluss von Holzfehlern auf die Holzfestigkeit nach Versuch und Rechnung. Die Bautechnik 5
- Glos, P.*: 1983. Die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Schnittholzsortierung im Mittel- und Kleinbetrieb. SAH Bulletin 1983/1, 13-35
- Govers, A.*: 1968. The relationship between modulus of rupture and modulus of elasticity in European whitewood (spruce and fir) of structural sizes. Hout Institute TNO. Delft, April 1968
- Graf, O.*: 1932. Versuche über die Eigenschaften inländischer und ausländischer Hölzer. Mittlg. des Fachausschusses für Holzfragen beim Verein deutscher Ingenieure. Heft Nr. 4
- Graf, O.*: 1938. Tragfähigkeit der Bauhölzer und der Holzverbindungen. Mitt. des Fachausschusses für Holzfragen beim Verein deutscher Ingenieure. Heft Nr. 20
- Graf, O.*: 1941. Aus Versuchen mit Bauholz und hölzernen Bauteilen. Holz Roh-Werkst. 4, 347-360
- Heimeshoff, B., Glos, P.*: 1980. Zugfestigkeit und Biege-E-Modul von Fichten-Brettlamellen. Holz Roh-Werkst. 38, 51-59
- Hempel, H.*: 1932. Vergleichende Untersuchungen von hochnordischer mit deutscher Kiefer. Mittlg. des Fachausschusses für Holzfragen beim Verein deutscher Ingenieure. Heft Nr. 4
- Kloot, N.H., Schuster K.B.*: 1958. The effect of cross-grain on the bending properties of jarrah scantlings. Australian J. of applied science 9/1, 9-17
- Kühne, H.*: 1955. Über den Einfluss von Wassergehalt, Raumgewicht, Faserstellung und Jahrringstellung auf die Festigkeit und Verformbarkeit schweizerischen Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Rotbuchen- und Eichenholzes. EMPA Bericht 183
- Kucera, B.*: 1970. Einfluss einiger Fehler auf die Biegefestigkeit von Fichtenholz. *Holztechnologie* (11)4, 219-224
- Kucera, B.*: 1973. Holzfehler und ihr Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Fichte und Kiefer. *Holztechnologie* (14)1, 8-17
- Madsen, B.*: 1973. Duration of load test for dry lumber in bending. *Forest Prod.J.* (23)2, 21-28
- Madsen, B.*: 1975. Duration of load test for wet lumber in bending. *Forest Prod.J.* (25)5, 33-40
- Madsen, T.L.*: 1980. The efficiency of visual and mechanical stress grading of Norway spruce timber, and the possibilities of improving the methods by means of the Pilodyn instrument or additional annual ring width limits. Paper presented at the meeting of Subject Group, S5.02 of IUFRO, 1980
- Marchand, G.E.*: 1982. Vergleichende Untersuchungen des Biegeverhaltens von kleinen, fehlerfreien Fichtenproben und grossen Fichtenbalken. Thèse no. 456. EPFL, Lausanne
- Mayer-Wegelin, H., Brunn, G.*: 1932. Raumgewicht und Druckfestigkeit von Pitch pine, Oregon pine und deutschem Kiefernholz. Mitt. des Fachausschusses für Holzfragen beim Verein deutscher Ingenieure. Heft Nr. 4
- Meierhofer, U.*: 1977. Zur Beanspruchung von Holz schräg zur Faser. Schweiz. Bauz. (95)8
- Norris, C.B.*: 1955. Strength of orthotropic materials subjected to combined stresses. FPL Report No. 1816
- Orosz, I.*: 1977. Relationship between transverse free vibration and other properties as affected by knots. *Forest Prod.J.* 27, 23-27
- Roš, M.*: 1925. SIA-Norm für Holzbauten. Diskussionsbericht EMPA
- Schaechterle, K.*: 1929. Versuche der Deutschen Reichsbahn mit Bauhölzern verschiedener Herkunft. Die Bautechnik 7, 99-104
- Siimes, F.E.*: 1944. Mitteilungen über die Untersuchung über die Festigkeitseigenschaften der finnischen Schnittwaren. *Silvae Orbis* 15, 60
- Staudacher, E.*: 1942. Schweizerische Bau- und Werkhölzer. Mitt. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchswesen (22)2
- Stüssi, F.*: 1946. Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. Schweiz. Bauz. (20) 251-252
- Takashi, N.*: 1980. Relationship between the size of knot and strength ratio in full size compression test and bending test. Paper presented at the meeting of Subject Group, S5.02 of IUFRO
- Tebbe, J.*: 1987. Zum gegenwärtigen Stand der maschinellen Holzsortierung. Holz-Zbl. 97, 1360
- Tetmajer, L.*: 1896. Methoden und Resultate der Prüfung schweiz. Bauhölzer. Mitt. der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien am Schweiz. Polytechnikum. Heft II.
- Thunell, B.*: 1942. Kvalitet och hållfasthet hos virke. Stat. Proveningsanst., Medd. 89. Stockholm
- Thunell, B.*: 1951. Über die Drehwüchsigkeit. Holz Roh-Werkst. 9, 293-297
- Thunell, B.*: 1979. Metoder att visuellt bestämma kvistars inverkan på hållfastheten hos virke. (Methods to determine the effect of knots on the strength of timber by visual inspection.) STFI-meddelande serie A nr. 551
- Vinopal, G.W. et al.*: 1978. Investigation of the distribution of strength and other properties of South African pine structural timber. CSIR.NTRI. Hout 142
- Vinopal, G.W.*: 1980. Determination of the combined influence of density and knots on the mechanical properties of full-size structural timber. Paper presented at the meeting of Subject Group, S5.02 of IUFRO
- Ylinen, A.*: 1942. Über den Einfluss des Spätholzanteils und der Rohwichte auf die Festigkeits- und elastischen Eigenschaften des Nadelholzes. Acta Forestalia Fennica 50.5
- Zehrt, W.H.*: 1962. Preliminary study of the factors affecting tensile strength of structural lumber. FPL report no. 2251

nauigkeit betrifft, waren bekannt. Neue Generationen von Sortiermaschinen mit anderen Prüfkriterien lagen auf dem Reissbrett oder als Prototypen vor. Ihre Entwicklung zur Praxisreife erwies sich jedoch als langwierig. In vielen Regionen und Bereichen war die visuelle Sortierung jedoch nach wie vor die gängigste Sortiermethode, sei es aus Gründen der technischen Möglichkeiten oder der Tradition. Die Suche nach einer optimalen Erfassung des Asteinflusses auf die Festigkeit blieb deshalb weiterhin Gegenstand von Forschung und Entwicklung, wobei die visuelle

Sortierung besonders nützlich in Kombination mit der maschinellen erschien. Während die Verhältnisse in Zentraleuropa sich durch eine gewisse Stagnation auszeichnen, waren andere Länder aufgrund der Wirtschafts- und Marktsituation (vor allem auch im internationalen Handel) zu rascher Anpassung ihrer Sortimente gezwungen. In andern Ländern wieder kamen rasch wachsende Plantagenhölzer (z.B. *Pinus radiata*) in Hiebsreife und mussten qualitätsmässig erfasst und normiert werden.

Als Beispiele von Untersuchungen aus dieser Epoche können genannt werden:

*Vinopal et al.* (1978), *Takashi* (1980), *Vinopal* (1980) und *Madsen* (1980).

In den beiden Arbeiten von *Vinopal* wird eine breit angelegte Untersuchung zur Ermittlung der Eigenschaften von südafrikanischem Plantagenholz sowie zur Optimierung der Sortimente dargestellt. Bemerkenswert ist der Umfang der erfassten Daten, nicht nur in der Anzahl der Prüflinge, sondern auch in den festgehaltenen Detailinformationen wie Lage und Grösse der einzelnen Äste. Die Ergebnisse der Untersuchung unterstreichen einmal mehr die Bedeutung von Dichte (E-Modul) und Astig-

keit für die Festigkeitseigenschaften. Zur Beschreibung des in die Rechnung eingehenden Astparameters wurde das Verhältnis zwischen der Summe der Durchmesser aller Äste (innerhalb einer Länge von 150 mm) und dem Umfang des Tragquerschnitts verwendet. Die Korrelation zwischen den Festigkeitswerten und den Astquotienten ist gering (zwischen 0,3 und 0,5).

Madsen (1980) untersuchte die *Effizienz* verschiedener Sortiermethoden, wobei die Dichte und die Astigkeit als bestimmende Parameter erfasst und ausgewertet werden. Die maschinelle Sortierung erwies sich als die genaueste, d.h. der E-Modul war den andern Bestimmungsparametern überlegen. Bei den beiden visuellen Sortiermethoden waren die skandinavischen «T-virke»-Regeln, die den SIA-Bestimmungen ähnlich sind, der KAR-Methode deutlich überlegen, die bekanntlich mit den Astprojektionen im Querschnitt arbeitet. Zusätzliche Dichtebestimmungen – durch Jahrringbreiten- oder Pilodyn-Messung – brachten eine erhebliche Verbesserung der Sortierschärfe.

### Schlussbemerkungen

Zweck dieser historischen Übersicht anhand von ausgewählten Literaturstellen ist es, die Erfassung von Holzcharakteristika in der Forschung aufzuzeigen.

Die Resultate der zahlreichen und umfangreichen Forschungen belegen, dass die Astigkeit, die Dichte und der Elastizitätsmodul die weitaus wichtigsten Holzcharakteristika darstellen, wenn es um das Tragverhalten und insbesondere um die Tragfähigkeit des Holzes geht. Bei der Ermittlung von Dichte und E-Modul stehen vor allem die Genauigkeit der Messmethoden und die wirtschaftliche Optimierung im Vordergrund, während bei der Astigkeit sowohl für das Erfassen als auch für das Umsetzen in einen quantitativen Einfluss auf das Tragverhalten trotz verschiedener Ansätze derzeit noch Lösungen fehlen, die von der Einfachheit der Anwendung und der Präzision der Aussage als befriedigend bezeichnet werden können.

Nur gestreift wurde in der vorliegenden Übersicht, wie der Zusammenhang zwischen Holzcharakteristika und Holzeigenschaften in der *Normung* erfasst worden ist. Es ist interessant festzustellen, dass sich nur ein bemerkenswert geringer Teil der zitierten Literaturstellen mit der Umsetzung der Resultate in die Praxis befasst.

Offensichtlich wirft die normmässige Umsetzung der Forschungsergebnisse zahlreiche Probleme auf, die auf einer ganz anderen Ebene liegen. So kann sich beispielsweise die Notwendigkeit ergeben, die festigkeitsbezogene Holzqualität mit *ästhetischen* Wünschen oder *handwerklich-ausführungstechnischen Anforderungen* zu kombinieren.

Zahlreiche Sortierbestimmungen der SIA-Norm 163 (1953) und 164 (1981) sind durch solche kombinierte Anforderungen bedingt, indem sie Verfärbungen (Bläue, Rotstreifigkeit), Verformungen (Krümmungen, Verwölbungen und Verwindungen), Reaktionsholz (das mehr die Formstabilität als die Festigkeit beeinträchtigt) und die Baumkanten (die ebenfalls mehr eine Beeinträchtigung der Geometrie als der Festigkeit bedeuten) als Sortierkriterien miteinfassen. Obwohl als Festigkeitssortierung bezeichnet, erhebt die Sortierung nach SIA 164 (1981), Kap. 4.2, ausdrücklich nicht den Anspruch, nur festigkeitsbezogene Parameter zu erfassen. Auch die 1981 neu eingeführte SIA-Erscheinungssortierung bezieht sich lediglich auf Holz mit «vorwiegend» nichttragender Funktion und hat damit nicht den Charakter der Ausschliesslichkeit. Heute gehen die Bestrebungen in Mitteleuropa eher in Richtung einer konsequenteren Trennung von «Tragfunktion» und «nichttragender Funktion» bei der Sortierung von Bauholz. Es wird interessant sein, in den nächsten Jahren zu beobachten, wie dies (zusammen mit dem derzeitigen Trend zur Internationalisierung der Produktequalitäten) den Handel mit Bauholz sowie die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Holzkonstruktionen beeinflusst.

Adresse der Verfasser: U. Meierhofer, K. Richter, Abt. Holz der EMPA, 8600 Dübendorf.

## Centro di servizi di pronto intervento alla Peschiera, Locarno

Il Comune di Locarno ha bandito un concorso di progetto per la costruzione di un centro di servizi di pronto intervento alla Peschiera, Locarno.

Il Comune intende realizzare sul terreno di sua proprietà alla Peschiera una costruzione che raggruppi tutti i servizi di pronto intervento

- della polizia comunale,
- del corpo pompieri,
- del consorzio autolettiga e
- della protezione civile.

Erano parimenti da progettare gli spazi esterni e il sistema viario all'interno di questo terreno compresi gli accessi ai vari stabili e i posteggi.

Il concorso era aperto ai professionisti del ramo che al momento dell'iscrizione (15 gennaio 1988) soddisfarono i requisiti seguenti:

- iscrizione all'albo degli architetti OTIA (Ordine Ingegneri e Architetti del Cantone Ticino) o in possesso di un titolo accademico di architetto rilasciato prima del 1.1.1986,
- domicilio fiscale nel Cantone Ticino almeno dal 1 gennaio 1987,
- sede dell'ufficio nel Cantone Ticino almeno dal 1 gennaio 1987.

Entro la data del 6 maggio 1988 sono stati consegnati 22 progetti. La giuria ha ritenuto di escludere dall'assegnazione cinque progetti che presentano divergenze essenziali. Risultato:

- 1° premio (20 000 fr.): Livio Vacchini, Locarno
- 2° premio (14 000 fr.): Michele Arnaboldi, Raffaele Cavadini

- 3° premio (13 000 fr.): Paolo Kähr, Minusio
- 4° premio (10 000 fr.): Giorgio Ambrosetti, Bellinzona, Flavio Mozzetti, Gordola
- 5° premio (8000 fr.): Max Kollbrunner, Brissago
- 6° premio (6000 fr.): Claudio Negrini, Lugano
- 7° premio (4000 fr.): Magnoni e Rè, Arbedo
- 1° acquisto (5000 fr.): Gioglio Tognola, Locarno, Michele Tognola, Locarno
- 2° acquisto (3000 fr.): Franco Moro, Locarno, Paolo Moro, Locarno
- 3° acquisto (2000 fr.): Vittorio Pedrocchi, Locarno

La giuria, all'unanimità ha raccomandato all'autorità comunale di intraprendere, sulla base delle indicazioni emerse dal concorso, le trattative necessarie affinché le idee progettuali del 1° premio trovino presto attuazione. La giuria è così composta: On. avv. Diego Scacchi, sindaco; On. arch. Claudio

segue su pagina 183