



CURRICULUM VITAE

ERNST GEHRI

Emer. Professor ETH Zürich

geboren am 28. September 1934



30 Jahre Erfahrung mit Laubholz im Ingenieurholzbau

Warum stehen wir trotzdem am Beginn?

Ernst Gehri

Exkurs / Einleitung

Zum besseren Verständnis meiner Ausführungen: diesem stammen von einem Ingenieur mit langem Stahlbau-Vorleben, sowohl in Theorie als auch in Praxis, allerdings in den letzten 30 Jahren mit zunehmenden bis ausschliesslichem Interesse am Holzbau. Im Ingenieurholzbau lag dabei die Ausrichtung auf eine hohe Zuverlässigkeit und Robustheit. Dies bedingt seitens der Planer und der Holzbaubetriebe eingehender Kenntnisse bezüglich des Materialverhaltens; dies gilt übrigens für alle Bauweisen.

Weshalb Laubholz? Im Vergleich zum Nadelholz ein breiteres Spektrum, grösste Vielfalt an (häufig ungenutzten oder weniger bekannten) Holzarten vorhanden. Deren Nutzung für Tragwerke – in den unterschiedlichsten Formen von Holzwerkstoffen – stellte eine besondere Herausforderung dar. Dabei ist das Rad nicht neu zu erfinden; vieles lässt sich auf Bekanntes weiter aufbauen. Schon beginnend in den 30^{er}-Jahren wurden Holzwerkstoffe aus Birke und Buche mit hohen spezifischen Leistungen entwickelt. Zur Erinnerung: Furnierschicht- und Sperrhölzer im Flugzeugbau; eindrücklich die hölzernen schalenförmige Rümpfe der Vampire und Venom Düsenjäger in den 50^{er}-Jahren. Zur gleicher Zeit entstanden in den USA grössere, verleimte Schiffsrümpfe (Kiel und Spanten aus BSH-Eiche) für Minensuchboote. Dem Bereich Ingenieurholzbau näher sind die Untersuchungen an BSH-Buche aus den 60^{er}-Jahren am Otto-Graf-Institut.

1. Laubholz und Brett

1.1. Weshalb Buche für Brettschichtholz?

Zwei Fakten, Ende der 70^{er} Jahre in der Schweiz: ungenügende Verwertung von Buchenrundholz (Export von rund 200'000 m³ Buchen-Rundholz) ; sowie vorhandene Verarbeitungsmöglichkeiten zu Brettschichtholz (Sägereien / Verleimer / Zimmereien).

Durch angepasste Technologien schien der Einsatz von BSH-Buche erreichbar. Im Vordergrund standen geeignete Verfahren zur Herstellung von BSH aus Buche, sowie die experimentelle Ermittlung der Leistung derartiger Träger. Die Biegeleistung von BSH-Buche ergab Werte über 50 N/mm² (entsprechend einem GL48 nach heutiger Schreibweise).



Abbildung 1: BSH-Träger 120/500 mit unterschiedlichem Aufbau

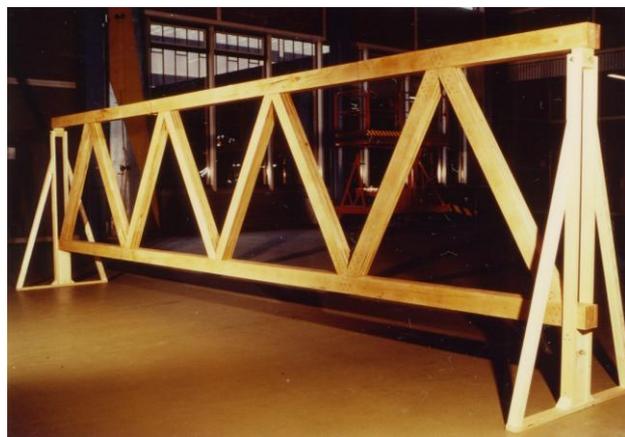


Abbildung 2: Fachwerkträger BSH-Buche mit Stabdübelverbindung Stahl/Holz

Ausgehend von 2,5 m langen Rundholzabschnitten (\varnothing 22 bis 46 cm) minderer Qualität konnten je 6 m^3 Bretter mit Querschnitt 25/140 bzw. 35/140 mm eingeschnitten werden. Nach der technischen Trocknung erfolgte ein Vorhobeln (zum Ermöglichen der visuellen Sortierung). Angestrebt wurden 3 Festigkeitsklassen (L1+L2+L3), bedingt durch sonst ungenügend verwertbares Material wurde noch eine Klasse L4 eingeführt. Der Ausschuss lag trotzdem noch über 1/3!

Untersucht wurden unterschiedliche Keilzinkenprofile (ausgehend von vorhandenen Fräsern) und Kombinationen von Klebern. Die Resultate waren zum Teil ernüchternd; immerhin wurden - unter optimalen Bedingungen - Zugfestigkeitswerte bis 70 N/mm^2 erreicht.

Die damals festgestellten Problemkreise: „Einschnitt/Trocknung/Sortierung“, „Keilzinkung“ und „Flächenverleimung“ sind bis heute gültig geblieben. Allerdings verfügen wir heute über wesentlich weiter entwickelte Verfahren zur Sortierung (Erfassung physikalischer Eigenschaften), über verbesserte Klebstoffe und über zuverlässigere Kontrollmöglichkeiten (Zugprüfung der Bretter und der Keilzinkenstösse). Vom technischen Standpunkt sind heute die wesentlichen Voraussetzungen vorhanden und – sofern beachtet – ist ein zuverlässiger Einsatz von BSH-Buche für Tragkonstruktionen gewährleistet.

Als leistungsfähige Verbindungsart stand damals nur die Stabdübelverbindung zur Verfügung. Durch die Verwendung von Stahlstiften hoher Festigkeit ($f_u > 1'000 \text{ N/mm}^2$) konnten ansprechende Leistungen erbracht werden.

1.2. Praktische Anwendungen in den 80^{er}-Jahren

Erfahrungen lassen sich nur über realisierte Bauten gewinnen. Bauherren und Planer von den Vorzügen (ohne die Nachteile zu verschweigen) des BSH in Buche zu überzeugen, war zwar nicht einfach, jedoch ein Muss. Dies war meist verbunden mit der „kostenlosen“ Beratung inklusive der Übernahme sämtlicher Ingenieurleistungen (und somit der damit verbundenen Verantwortung). Die Beschränkung auf die Forschung mag zwar geruhsamer sein, führt aber allein nicht zum Ziel. Dank der nahen Begleitung der Bauten (und der durchgeführten Qualitätskontrollen) waren – soweit erforderlich – noch Anpassungen möglich. Daraus resultierte ein grosser Erfahrungsgewinn mit positiven Folgen für die nachfolgenden Bauten.

Die Dachkonstruktion als Raumfachwerk ergab sich aus dem Wunsch nach einer Alternative zu einer Mero-Konstruktion. An Stelle von Hohlprofilen aus Stahl wurden BSH-Stäbe angeordnet; in den hoch beanspruchten Bereichen aus Buche.



Abbildung 3: Tragkonstruktion Arbon Raumfachwerk mit Stäben aus BSH

Montage der Tragkonstruktion am Boden; gesamthaft angehoben

Auch bei der Strassenbrücke Eggiwil (zweispurige gedeckte Brücke / Baujahr 1984) ermöglichte die Beratung das Einbringen verschiedener Innovationen, u.A. einer 6 m breiten einteiligen Fahrbahnplatte aus BSH-Tanne mit Quervorspannung, sowie von Querträgern und Hängepfosten aus BSH-Buche.

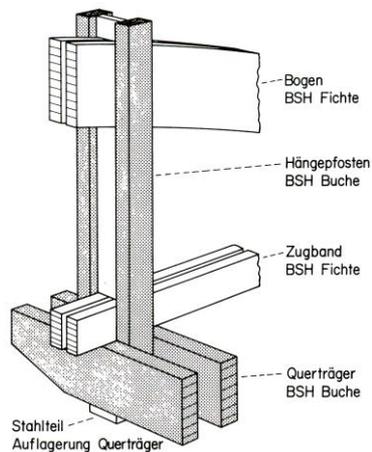


Abbildung 4a und 4b: Strassenbrücke Eggwil: Hängepfosten und Querträger in BSH-Buche

Der Einsatz von Buche im Aussenbereich mit z.T. direkter Bewitterung erfordert einen besonders effizienten Schutz, mit erhöhtem Widerstand gegenüber Pilze und Insekten und zur Formstabilisierung. Besonders der Stabilisierung bei Feuchtewechseln kommt im verleimten Buchenholz primäre Bedeutung zu. Von den untersuchten Massnahmen hat sich die Imprägnierung mittels Steinkohlenteeröl nach einem modifizierten Rüping-Verfahren bewährt.

1.3. Folgerungen

Die schweizerische Holzbaunorm „SIA 265 gilt für die Projektierung von Tragwerken aus Holz (sägerauhes oder gehobeltes Vollholz, Rundholz und Brettschichtholz) oder Holzwerkstoffen“, somit sind auch Tragwerke aus Laubholz, z.B. aus BSH-Buche oder Esche zulässig. Die Norm gibt allerdings hierfür keine spezifischen Bemessungsdaten vor. Es liegt in der Verantwortung des Planers und des Ausführenden diese Daten im Einklang mit den generellen Anforderungen bezüglich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit festzulegen. Diese sind dabei durch Theorie oder Versuche ausreichend zu begründen.

Beim **Raumfachwerk** stellten sich bezüglich des BSH-Buche geringe Probleme: einerseits lag ein kleiner Stabquerschnitt vor; die geringe Stablänge ermöglichte die Verwendung von Lamellen ohne Keilzinkenstösse. Von grösserer Bedeutung war die Verbindung zwischen Stahlgabel und BSH-

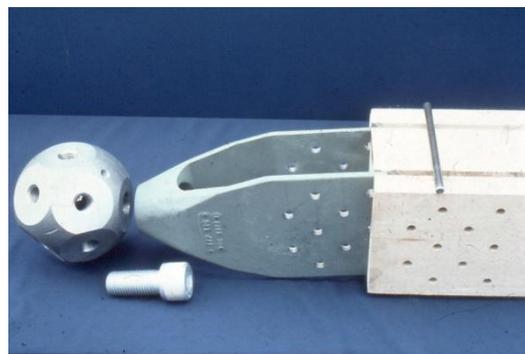
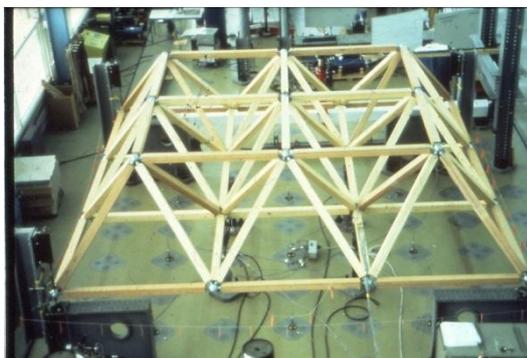


Abbildung 5a und 5b: Prüfung Prototyp und typischer Stabanschluss über Stahlgabel (Sphäroguss) und Stabdübel

Buche (Stabdübelverbindung). Umfangreiche Tests wurden hierfür durchgeführt und die erforderlichen Bemessungswerte abgesichert. Anschliessend wurde noch ein Prototyp im Massstab 1:1 hergestellt und bis zum Bruch gefahren.



Abbildung 6: Strassenbrücke Eggwil Biegesteifer



Abbildung 7: Verbindung Hängepfosten / Querträger Portalrahmen

Bei der **Strassenbrücke Eggwil** erfolgten umfangreichere Voruntersuchungen. Diese betrafen:

- Die (festigkeitsmässige) Klassifizierung der Buchenbretter; diese erfolgte nach vorgängig spezifisch festgelegten, visuellen Kriterien.
- Die Verarbeitung zu BSH (Abrichten vor der Keilzinkung), Keilzinkung (Prüfungen auf Zug) und Verleimung; Schutzbehandlung mittels Wachs nach jeder Bearbeitung.
- Die Ausbildung und Bemessung des Portalrahmens mit biegesteifen (keilgezinkten) Rahmenecken aus Furniersperrholz Buche.
- Imprägnierung nach Abbund (Teer-Öl-Druckimprägnierung); auch hier erfolgten Prüfungen bezüglich des Imprägnierverfahrens.

Sämtliche Schritte wurden begleitet und kontrolliert durch Mitarbeiter ETH.

Bezüglich der Erarbeitung von Bemessungsunterlagen beschränkte man sich jeweils auf die objektbezogenen Erfordernisse. Dies genügte für die Absicherung vorliegender Bauten. Für eine Verallgemeinerung fehlten Zeit und Geld. Seitens des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung wurden damals hierfür Fr. 22'000.- gesprochen. Der „Rest“ erfolgte durch Leistungen der ETH (aus den Krediten der Professur für Stahlbau!).

2. Laubholz und Furnier

Obwohl die hohe Leistung der Furnierwerkstoffe aus Laubholz (hier insbesondere der Buche) eigentlich besten bekannt, fanden diese - wegen ungenügender Praxisaufarbeitung – kaum Eingang im Ingenieurholzbau. Erst die Schwierigkeiten einer effizienten Umwandlung des Buchen-Rundholzes (über dem Brett zum BSH) führten – Anfangs der 90^{er} Jahren – zum Weg über das Furnier. Dies wurde ermöglicht durch eine Zusammenarbeit mit dem Sperrholzwerk Hess, Döttingen/CH, und den guten Kontakten mit dem Kerto-Produzenten, Finnforest Oy.

2.1. Furniersperrholz aus Buche

Die Fa. Hess hat eine langjährige Erfahrung in der Herstellung von Furnierwerkstoffen „nach Mass“. So konnten umfangreiche Untersuchungen an unterschiedlich aufgebauten Furnierwerkstoffplatten (inklusive geeigneter Verbindungen) durchgeführt werden. Daraus ergaben sich die unterschiedlichsten Anwendungen.

Rahmenecke aus FSpH-Buche

Die Verbindung mit den BSH-Teilen (aus Fichte) erfolgt hier generell über einen Keilzinkenstoss (Gesamtstoss). Massgebend bleibt die Leistung der Fichte (Wirkungsgrad η -Stoss $\approx 0,8$). Ein besonderer Nachweis in der Rahmenecke entfällt. Die Dicke des FSpH ist in einem grossen Bereich frei wählbar; so weist der FSpH-Knoten (Portalrahmen der Strassenbrücke Eggwil) eine Dicke von 220 mm auf.

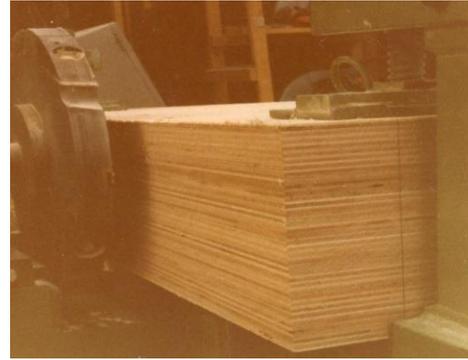


Abbildung 8a 8b: Rahmenecke Portalrahmen in FSpH-Buche aus 220 mm dicker Platte

Brückenplatte aus FSpH-Buche

Problem lag hier in den beschränkten Abmessungen (Breite/Länge) derartiger Platten. Im vorliegenden Fall (4 Fussgängerbrücken Samnaun) weist die Brückenplatte eine Breite 2,20 bei Längen 14 bis 22 m auf. Die Dicke der Platte betrug 84 mm (hohe Einzellast, Schneeräumfahrzeug). Mittels Keilzinkung wurden die Einzelteile zu einer einheitlichen Platte zusammengefügt.

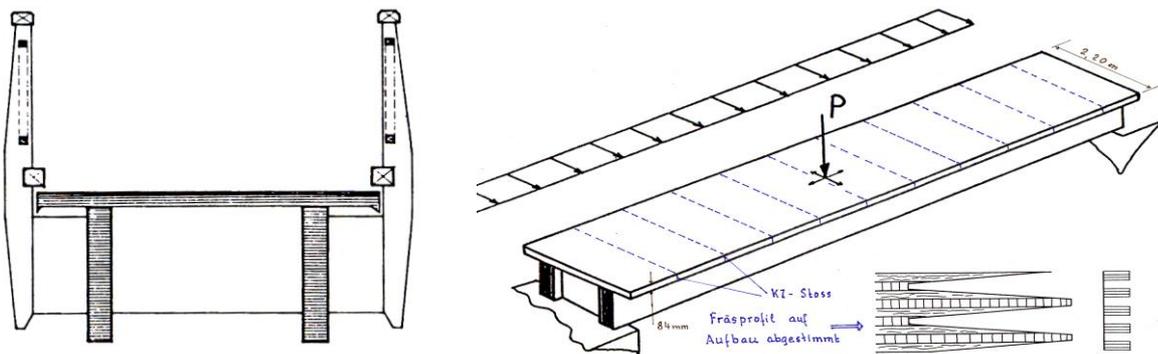


Abbildung 9a und 9b: Querschnitt und Ausbildung Brückenplatte in FSpH-Buche

Entscheidend für die Wirksamkeit derartiger KZ-Stöße ist die genaue Abstimmung des Fräsprofils auf den Aufbau des Furniersperrholzes bzw. bedingt durch die hohen Kosten eines derartigen Fräsensatzes der genauen Abstimmung des Aufbaues des Furniersperrholzes auf den Fräser.

2.2. Schichtholz ausgehend von Buchenfurnieren

Erste Gehversuche – ausgehend von handelsüblichen Messerfurnieren und HF-Verleimung – gaben Hinweise auf ein wesentliches Potential. Ausgehend von Buchenfurnieren (diesmal Schälfurnieren) der Fa. Hess wurden seitens von Finnforest Oy, ein Kerto-S-Buche hergestellt. Die Herstellung erfolgte auf einer konventionellen Anlage von Kerto (für die Herstellung ausgehend von Fichte) mit geringfügigen Anpassungen. Produziert wurde eine Platte von 33 mm Dicke (alle Stöße geschäftet) von 1,80 m x 16,0 m. An der ETH Zürich erfolgte anschliessend die Erfassung der Produkteigenschaften. Hier sei nur auf die Zugversuche an Lamellen 33 mm hingewiesen: die Werte lagen hier über 75 N/mm^2 . Trotz des Hinweises „**Kerto-S-beech: double as strong as spruce**“ zeigt das Direktorium (1995) kaum Interesse für dieses Produkt, weshalb das Projekt nicht weiter verfolgt wurde.

2.3. Folgerungen

Die Zerlegung des Rundholzes zum Furnier bietet – gegenüber dem Einschnitt zum Brett – gerade beim Laubholz (mit seinen kürzeren geraden Stammabschnitten) wesentliche Vorteile:

- Höhere Ausbeute
- Rasche und effiziente Trocknung im Durchlaufverfahren (Bretttrocknung über Wochen; rissanfällig)
- Hoher Automatisierungsgrad

Das Endprodukt ist sehr homogen und weist kaum Schwachstellen (wie Keilzinkungen in BSH) auf. Je nach Aufbau und Orientierung (Anteil Querlagen) weist das Produkt unterschiedliche Eigenschaften auf. Dies bedingt eine Anpassung der Bauweise, um daraus optimalen Nutzen zu erzielen.

Nachteilig wirkt sich einzig der höhere Klebstoffanteil aus.

3. Leistungsfähige Verbindungen

Hohe Leistungen in Füge­teilen aus spröden Materialien (Holz verhält sich sehr spröde auf Zug parallel zur Faser, Schub parallel zur Faser sowie Zug senkrecht zur Faser) lassen sich nur erreichen, wenn hohe lokale Beanspruchungen tunlichst vermieden werden. Störungen im Kraftfluss weisen auf solche lokale Dehnungen hin, die bei spröden Materialien als bruchauslösend wirken.

Nachstehend werden für eine Zugverbindung parallel zur Faser drei typische Verbindungsarten bezüglich dem Kriterium Kraftfluss untersucht.

Direkt, Faser zu Faser	$A_{\text{Holz, netto}}$	optimaler Kraftfluss	
	100 %	Kontinuierlicher, unverminderter Querschnitt Keine geometrischen Störungen (führt zu Dehnungs- und Spannungsspitzen) Lokale Störungen infolge Holzstruktur (Früh-/Spätholz: Jahrring­anordnung; Schrägfaserigk.)	
Indirekt, längs zur Faser, über Schub	80 bis 85 %	relativ günstiger Kraftfluss möglich	
Schubeinleitung (Haftung)	Stab mit ($A_{\text{Holz}} / A_{\text{Staben}}$)-fachen spez. mech. Holz eig.	Stetiger Uebergang von Stab auf Holz mit geringen Dehnungsspitzen anstreben (Abstimmung Dehnsteifigkeiten A E)	
Indirekt, senkrecht zur Faser über lokalen Druck längs zur Faser	60 bis 65 %	ungünstiger Kraftfluss	
	Relativ hohe Dehnungsspitzen wegen ungleichmässiger Krafteinleitung (infolge Biegung des Stabes)	Grosse Kraftumlenkungen erforderlich (lokale Krafteinleitung mit Aufspaltneigung) (Druck über Schub mit Umformung in Zug im Restquerschnitt)	

Abbildung 10: Stösse in Faserrichtung: Bedeutung Kraftfluss

Vorteilhaft wirkt sich – im Vergleich zum Nadelholz – beim Laubholz der generell höhere Aufspaltwiderstand aus. Bei den Furnierwerkstoffen verhindert zudem bereits ein geringer Anteil an Querlagen (ab rund 10%) ein Aufspalten.



3.1. Direkte Stossverbindung über Keilzinkung

Sowohl bei BSH als auch bei den Furnierwerkstoffen stellt ein geklebter Keilzinkenstoss die leistungsfähigste Verbindungart dar. Unter optimalen Verhältnissen (der Fräsung / der Beileimung / des Verfahrens) lässt sich nahezu die Leistung des Grundmaterials bzw. ein Wirkungsgrad von $\eta > 0,8$ erreichen.

Bei Furniersperrholz ist auf eine sorgfältige Abstimmung des Aufbaues auf das Fräserprofil zu achten.

3.2. Axiale Krafteinleitung (mechanische oder Klebverbindung)

In beiden Fällen erfolgt eine Schubkrafteinleitung. Bei rein mechanischer Verbindung (Schraube) ist die Leistung geringer, da die Bildung oder Einschneiden des Gewindes zu einer lokalen Schädigung des Grundmaterials führt.

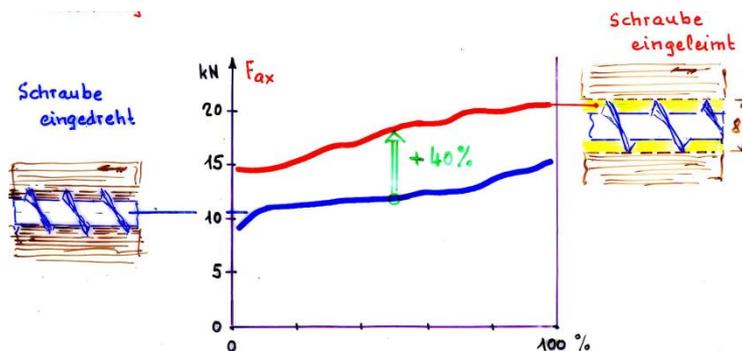


Abbildung 11: Vergleich mechanische Verbindung zur Klebverbindung bei Fichte

Bei einer Klebverbindung und Verwendung geeigneter Kleber auf Epoxy-Basis ist in der Regel die Scherfestigkeit des Grundmaterials massgebend. Das Ausziehen erfolgt in Form eines Pfropfens (mit anhaftenden Holzteilen); als Bezugsgrösse ist der Lochdurchmesser massgebend. In Normen und Zulassungen wird - fälschlicherweise - der Stabdurchmesser verwendet, somit ein Abscheren des Klebers entlang der Umhüllenden des Stahlstabes voraussetzt.

Bei einem derartigen Ansatz spielen die Eigenschaften des Grundmaterials Holz keine Rolle mehr. Tatsächlich trägt ein eingeklebter Stab (gleich Abmessungen, gleiches Klebsystem) im Laubholz wesentlich mehr als bei Fichte. In beiden Fällen erfolgt das Versagen entlang der Lochwandung. Eigentlich logisch, aber nicht (DIN-) normkonform!

Generell sind kleinere Zwischen- und Randabstände – als beim Nadelholz üblich – zu verwenden.

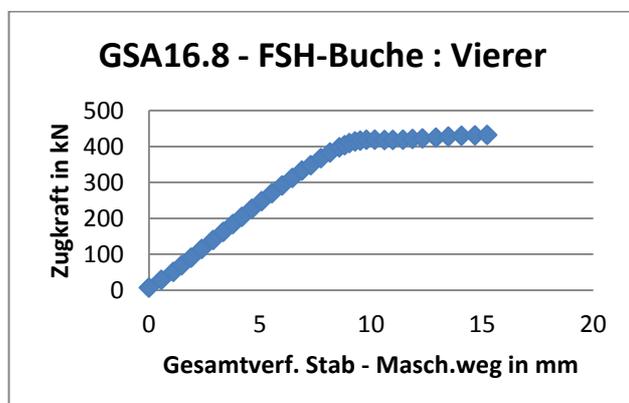
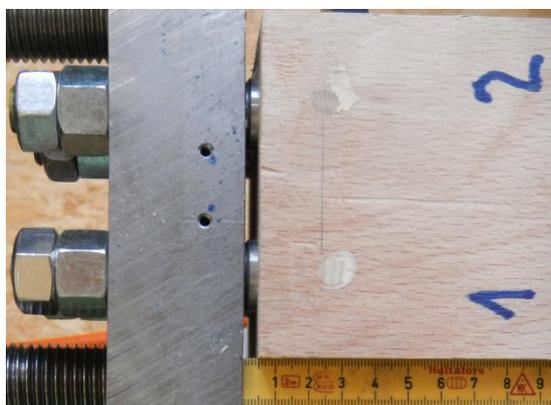


Abbildung 12 a und 12b: Duktiler Anschluss mit über 5 mm plastischer Verformung

3.3. Stabdübelverbindung (Stahl/Holz)

Seit den 80^{er} Jahren wurden Untersuchungen an derartigen Stabdübelverbindungen durchgeführt. Diese zeigen beim Laubholz (Buche und Esche) für die gleiche Anschlussgeometrie rund 80% höhere Leistungen auf. Neuere Untersuchungen – wie im nachfolgenden Beitrag von Ulrich Hübner gezeigt – weisen auf noch ein höheres Potential hin.

3.4. Folgerungen

Die Grundlagen für leistungsfähige Verbindungen mit Laubholz (für Brettschichtholz als auch Furnierwerkstoffe) liegen seit Ende der 90^{er} Jahre vor. Entsprechende – konservative – Bemessungswerte wurden seither in der Schweiz für die verschiedensten Anwendungen verwendet (siehe Beitrag Bruno Abplanalp). Ein optimaler Einsatz von Laubholz bedingt spezifische Detaillierung bezüglich der Verbindungen, d.h. eine auf Laubholz ausgerichtete konstruktive Ausbildung.

4. Normen und Zulassungen

Durch die Einhaltung von Normen und Zulassungen erwartet die Allgemeinheit eine ausreichende Zuverlässigkeit der Tragwerke. Zugleich erfolgt ein Beitrag zur Rechtssicherheit (Verantwortlichkeiten).

Erwünscht ist eine allgemeine Zugänglichkeit gesicherter Daten. Dies soll die Anwendung von Laubholz erleichtern. Hierzu können Zulassungen oder Normen einen wesentlichen Beitrag leisten. Zurzeit wird häufig als Ursache der Nichtanwendung von Laubholz, die fehlende Normung angesehen.

Heute finden sich vermehrt Regelungen, die ohne grössere Praxiserfahrung und entsprechender Bewährung, in Normen festgeschrieben werden. Erforderliche „Korrekturen“ – aufgrund zu optimistischer, rein auf Laborversuche resultierenden Ergebnissen – sind dann das Ergebnis.

Ein Beispiel hierfür: die Schubfestigkeit von BSH-Fichte. Während Jahrzehnten entsprach die charakteristische Schubfestigkeit von BSH-Fichte einem Wert von $f_{v,k}$ um $2,7 \text{ N/mm}^2$. Die erfreuliche Anhebung auf $3,5$ bis $3,8 \text{ N/mm}^2$ vor rund 10 Jahren – auf europäischer Ebene – basierte leider nur auf Kleinproben; dabei ist der bedeutende Grösseneinfluss auf die Schubfestigkeit seit 40 Jahren bekannt. Durch die nachträgliche Einführung eines k_{crak} -Faktors von $2/3$ kommt man mit einem Wert von $2,5 \text{ N/mm}^2$ wieder in den früheren Bereich!

4.1. Zulassung BSH-Buche

Mit der Zulassung Z-9.1-679 vom 7.10.2009 über „BS-Holz aus Buche und BS-Holz-Hybridträger“ erhoffte man sich eine breite Anwendung von Laubholz für den Ingenieurholzbau. Abgesehen von den limitierten Abmessungen (Querschnitte maximal $150 \times 600 \text{ mm}^2$, maximaler Brettquerschnitt $30 \times 150 \text{ mm}^2$) spielt die Höhe der Bemessungswerte (im Vergleich zur Fichte) eine entscheidende Rolle für den wirtschaftlichen Einsatz.

Nachstehend ein Vergleich zwischen der höchsten BSH-Klasse in Nadelholz – dem GL 32h (in der CH noch GL 36 möglich) – und dem GL 48 h in Buche. Die Zahlenwerte entsprechen den jeweiligen charakteristischen Biegefestigkeiten; die Biegeleistung eines Trägers gleicher Abmessungen ist somit in Buche 50% höher. Das ist begrüssenswert und deckt sich mit den Ergebnissen aus den 80^{er} Jahren.

Unverständlich ist – die Biegefestigkeit ist eine direkte Folge der Druck- und Zugfestigkeit – weshalb die Kennwerte in der Zulassung für Zug und Druck parallel zur Faser von GL48 sogar tiefer sind, als die entsprechenden Werte für GL32! Konnte und kann immer noch nicht verstehen, wie ein erlauchtetes Gremium zu einem derartigen fehlerhaften Schluss kommt.

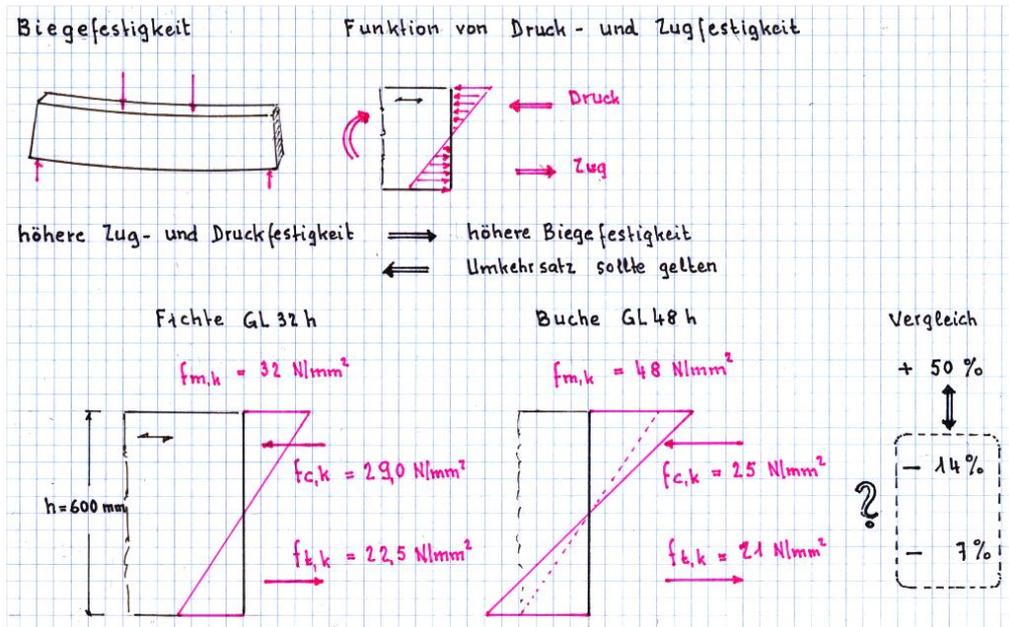


Abbildung 13: Biegefestigkeit in Funktion der Druck- und Zugfestigkeit

Die Anwendung dieser Zulassung führt in der Praxis zu folgendem Ergebnis: mit Ausnahme von reinen Biegeträgern (hier zudem häufig Verformungskriterien massgebend) sind in BSH-Buche GL48 sogar grössere Querschnitte als mit Fichte GL32 erforderlich! Woher soll ein Anreiz für den Einsatz von Laubholz kommen?

4.2. Zulassung für eingeklebte Anker

Der Drang zur Normkonformität kann zu erstaunlichen Ergebnissen führen. Bei der Zulassung des GSA-Harzes (Z-9.1-778 vom 31.10.2012) erfolgte die Festlegung des Festigkeitskennwertes $f_{k1,k}$ wie gemäss DIN 1052.

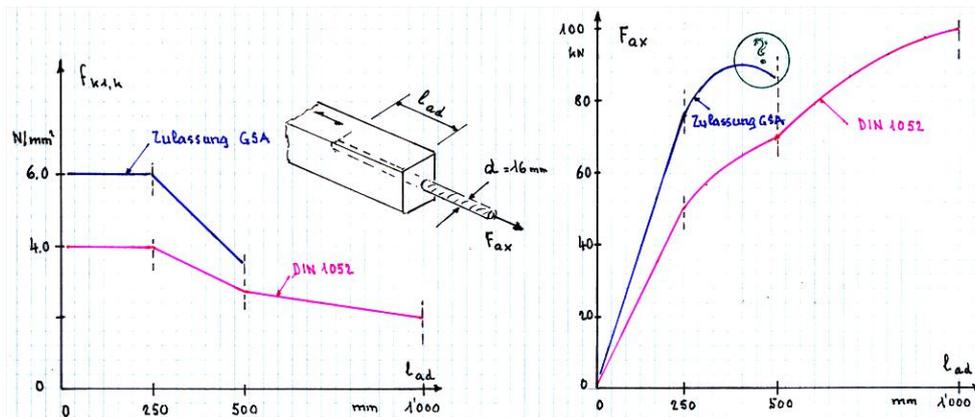


Abbildung 14a und 14b: Festigkeitskennwerte und Auszieh Widerstände für GWS 16 mm

Überträgt man dies nun auf den – für die Praxis – massgebenden Ausziehwert $F_{ax,k}$, so erhält man nachstehenden Zusammenhang in Funktion der Einklebelänge l_{ad} . Ab einer gewissen Einklebelänge trägt der eingeklebte Stab weniger! Dies widerspricht dem gesunden Menschenverstand; der Antragsteller muss mit dem Leben.

Eine weitere Schwierigkeit entsteht beim Einkleben in Laubholz (Esche/Buche). Die Festigkeitswerte beziehen sich einerseits auf das Harz aber andererseits auf den Durchmesser des Stabes, das Bruchversagen erfolgt jedoch im Holz, entlang der Lochwandung. Da meist $d_{Loch} \approx d + 2 \cdot 4 \text{ mm}$ angesetzt, ist – rein mathematisch – eine Gleichwertigkeit möglich.



Abbildung 15a und 15b: Bezugsorte des Versagens: Übergang Harz/Stahl bzw. Harz/Holz

Im Falle von Esche/Buche erhält man – mit dem gleichen Harz – jedoch rund 60 bis 80% höhere Ausziehungswerte! Der DIN-Ansatz geht noch auf – vor 20 Jahren – verwendete RF- Holzleime zurück. Hier war die Schwachstelle der Übergang Leim/Stahl massgebend. Angebracht ist nun eine Bezug-nahme auf die Lochwandung bzw. auf die Scherfestigkeit des Grundmaterials Holz.

4.3. Regelung für Durchbrüche in BSH-Trägern

Bei den Durchbrüchen in Brettschichtträgern genügt nicht die alleinige Berücksichtigung der Fehl-flächen; Anrisse in Bereichen mit Querkzug führen zu einem frühzeitigen Versagen des Trägers auf Schub, weshalb die Anordnung von Querkzugsverstärkungen sinnvoll ist.

Die Norm DIN 1052 legt einerseits die zu berücksichtigende Zugkraft und gibt andererseits genaue Angaben bezüglich Ausbildung und Nachweisen. Meines Erachtens gehören derartige spezifische Angaben nicht in einer Norm, gegebenenfalls als Vorschlag im Rahmen einer Empfehlung. Ärgerlich nur, dass seit rund einem Jahr die CH-Holzbaunorm, genau die gleiche Formulierung übernommen hat. So schreibt die Norm (im normativen Anhang D) vor:

„Innenliegende Verstärkungselemente sind unter 90° zur Faserrichtung mit dem kleinstmöglichen Abstand von der Durchbrüchecke bzw. vom Durchbruchrand anzuordnen.“

Habe mir erlaubt, von dieser Forderung abzuweichen (umso mehr als diese nur für Durchbrüche bis 30% der Höhe gültig ist).

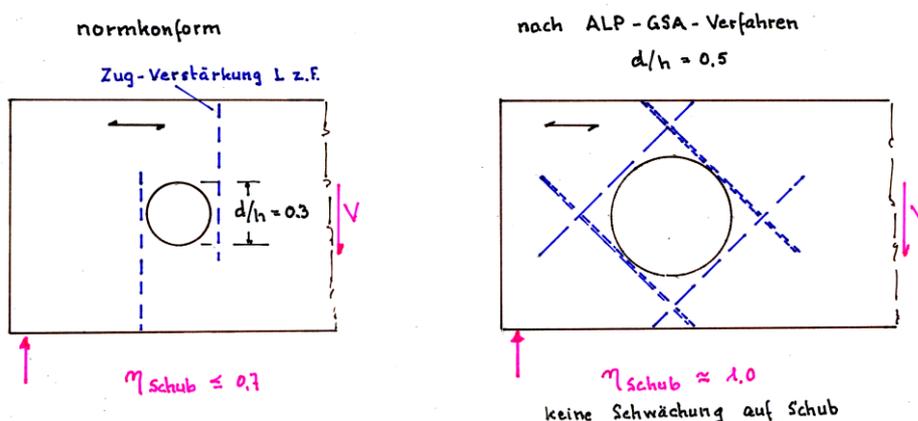


Abbildung 16a und 16b: Unterschiedliche Führungen der Verstärkungen

Resultat: trotz (oder wegen?) grösserer Durchbrüche kann bei eine ALP-GSA-Anordnung der Verstärkungen auf eine Schub-Abminderung infolge des Durchbruches verzichtet werden!



Abbildung 17: Schubträger 160/1'000 mm mit Durchbruch ø 500 mm



Abbildung 18: BSH-Esche 140/720 mm mit 2 Durchbrüchen ø360mm

4.4. Folgerungen

Die Holzbaupraxis braucht Normen. Die Normen sind auszurichten auf Fachleute und sollen nicht, fehlende Ausbildung ersetzen.

Offene Gestaltung zweckmässig, da die Zukunft nicht voraussehbar. Beschränkung auf – in der Praxis – bewährte Prinzipien. Detailregelungen gehören zum Stand der Technik und erfahren eine dauernde Anpassung.

Engere Wechselwirkung (Zusammenarbeit) Planer/Ausführender erwünscht. Planer setzt voraus, dass die Bemessungswerte gemäss Norm erfüllt werden, verzichtet – da hierfür nicht geschult – jedoch auf eine Überprüfung beim Ausführenden.

5. Warum stehen wir noch am Beginn?

Obwohl sich das Laubholz – insbesondere die Buche – sich zurzeit kaum noch der Forschung erwehren kann, ist das Instrumentarium bezüglich der Projektierung von Tragwerken aus Laubholz widersprüchlich und wenig motivierend.

Situation bei den Planern

Aufgrund der bisherigen Regelungen (BSH-Buche) besteht seitens der Planer (Architekten/ Ingenieure) überhaupt kein Anreiz Tragwerke in BSH-Laubholz zu konzipieren. Wie dargelegt, führt dies sogar zu grösserem Holzverbrauch! Zudem fehlen Unterlagen bezüglich angepasster Verbindungen.

Situation bei den BSH-Produzenten

Da bisher kaum Ausführungen, fehlt auch das Know-how in den Firmen. Zudem fehlen angepasste (und umfassendere) Qualitätsabläufe. Dies führt schon heute dazu, dass kaum mehr Betriebe fähig sind, das hochwertige BSH-GL36 (in Nadelholz) herzustellen. Umso weniger besteht die Bereitschaft dies für Kleinmengen in BSH-Laubholz aufzubauen. Erschwerend wirkt sich zudem das Fehlen eines Angebotes an festigkeitssortierter Brettern aus Laubholz in den Qualitäten T30 und T40 zu tragbaren Preisen und kurzen Lieferfristen.

Folgerung

Die Herstellung von BSH-Laubholz verlangt spezifische Kenntnisse, beginnend mit den Anforderungen an das Brettmaterial und dessen Verarbeitung. Systematische und laufende Kontrollen der relevanten Verfahrensschritte sind zwingend. Dies ist nur möglich bei Bereitstellung entsprechender Prüfeinrichtungen (z.B. für Zugprüfung von Brettern und von Keilzinkenstössen).

5.1. Lösungsansatz für Brettschichtholz

Unter „Holzkonstruktionen aus Laubholz“ wird anschliessend Bruno Aplanalp das Vorgehen bei der n'H, Lungern/CH, vorstellen. Dieser Betrieb weist eine langjährige Erfahrung bei der Herstellung, Verleimung und Verarbeitung von Laubholz, vornehmlich Esche, auf. Durch den konsequenten Aufbau einer internen

Qualitätssicherung (und eines „Qualitätsklimas“ im gesamten Betrieb) wird ein zuverlässiges Produkt „**n'H-BSH-Laubholz**“ gewährleistet.

Durch die Entwicklung leistungsfähiger Verbindungsarten, insbesondere der GSA-Verbindungs-technologie, stehen dem Planer die erforderlichen Instrumente zur Realisierung von Tragwerken, sei dies ganzheitlich oder nur teilweise aus BSH-Laubholz, zur Verfügung.

5.2. Lösungsansatz für Furnierwerkstoffe

Mit der Inbetriebnahme eines Herstellwerkes für Furnierschichtholz aus Buche (alle Lagen faser-parallel sowie mit teilweisen Querlagen) steht dem Planer und den Holzbaubetrieben ein neues, sehr leistungsfähiges Produkt zur Verfügung: die **BauBuche**. Entscheidend für Planer und Verarbeiter sind die – durch das Herstellverfahren – gewährleisteten homogenen Eigenschaften, sowie die kurzfristige Lieferbarkeit, in einem breiten Rahmen von Abmessungen.

Zurzeit fehlen uns hier noch dem neuen Produkt „BauBuche“ angepasste Ausbildungsformen und typische Verbindungsdetails. Hier sind nicht nur die Forscher gefragt, sind auch die Holzbaubetriebe.

5.3. Folgerungen

Ein Weiterkommen mit Laubholz im Ingenieurholzbau ist nur möglich über gebaute Objekte.

Nehmen Sie diese Herausforderung an!

6. 6. Ausblick

Heute sind gute Voraussetzungen (wesentlich besser als vor 30 Jahren) für den Einsatz von Laubholz im Ingenieurholzbau vorhanden.

Entscheidend: Die Behinderung durch Normen und Zulassungen (insbesondere wenn deren Formulierung gegen den gesunden Menschenverstand verstößt) ist zu minimieren.

Primäre Förderbereiche:

- Beim BSH-Laubholz: Herstellung zuverlässiger Produkte mit gewährleisteten Eigenschaften
- Bei der FSH-Buche: Aufbau spezifischer Bemessungs- und Konstruktionshilfen
- Beim Forscher: Innovative Entwicklungen und Produkte ausgehend von Laubholz-Furnieren
- Beim Planer: Ausbildung zum optimalen Einsatz von Holztragwerken aus Laubholz.