



Empa

Materials Science and Technology

Träger aus Laubholz-Brettschichtholz

Schubeigenschaften von Eschen-BSH

Pedro Palma *

* Empa, Abteilung Ingenieur-Strukturen
pedro.palma@empa.ch

Empa Technology Briefing
„Einsatz von Laubholz im Tragwerksbau – Chancen und Herausforderungen“
Dübendorf, 05.07.2023

- Diese Folien sind Teil des Vortrags „Träger aus Laubholz-Brettschichtholz – Schubeigenschaften von Eschen-BSH“ an der Veranstaltung „Einsatz von Laubholz im Tragwerksbau – Chancen und Herausforderungen“, die am 05.07.2023 an der Empa in Dübendorf stattfand.
- Diese Folien sind nur für Ausbildungszwecke und nur für die Teilnehmer der oben genannten Veranstaltung bestimmt.
- Die Weiterverbreitung oder Veröffentlichung auf öffentlich zugänglichen Internet-Seiten ist ohne die schriftliche Zustimmung des Autors nicht gestattet.
- Änderungen oder kommerzielle Nutzung dieses Dokuments sind ohne die schriftliche Zustimmung des Autors nicht gestattet.
- Die Abbildungen und Fotos in diesen Folien dürfen ohne die schriftliche Zustimmung des Autors nicht verwendet werden.
- Wenn Sie der Copyright-Inhaber eines Bildes sind, das in diesen Folien verwendet wird, und wenn Sie der Verwendung zu Ausbildungszwecken widersprechen, wenden Sie sich bitte an den Autor (pedro.palma@empa.ch) oder die Organisatoren der oben genannten Veranstaltung (events@empa.ch), damit das Bild entfernt wird.

- **Bedeutung von Laubholz**
 - Warum Laubholz ?
 - Durchgeführte Forschungsarbeiten
- **Schubfestigkeit von Eschen-Brettschichtholz (BSH)**
 - Einleitung zu Schubversuchen
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Schlussfolgerungen

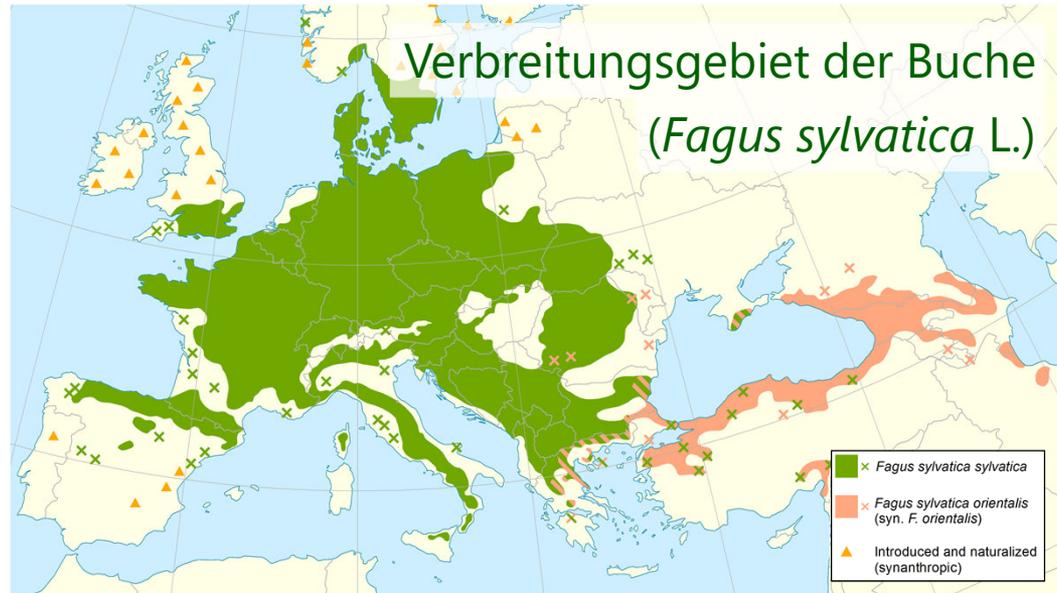
- **Bedeutung von Laubholz**
 - Warum Laubholz ?
 - Durchgeführte Forschungsarbeiten
- Schubfestigkeit von Eschen-Brettschichtholz (BSH)
 - Einleitung zu Schubversuchen
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Schlussfolgerungen

Warum Laubholz ?

■ Holzvorrat in Europa



Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buche_am_B%C3%A4ckerberg.jpg
Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/at/deed.en>

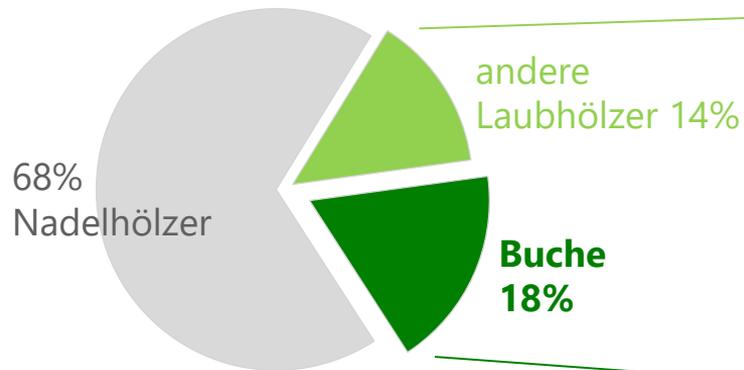


Quelle: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5101144>
Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Warum Laubholz ?

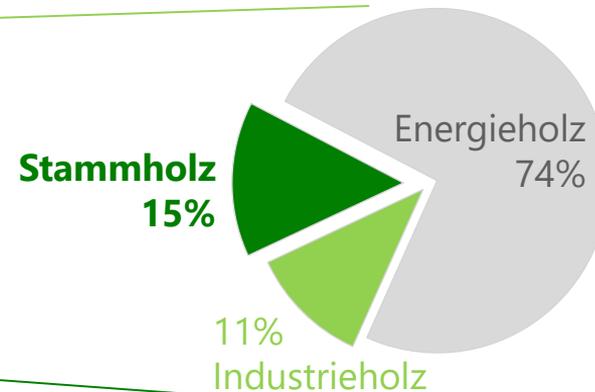
■ Holzvorrat in der Schweiz

Vorratsanteil ausgewählter Baumarten
in % des gesamten Vorrates



Quelle: „Jahrbuch Wald und Holz 2022“, BAFU

Laubholzernte nach Sortiment
in % des gesamten Vorrates

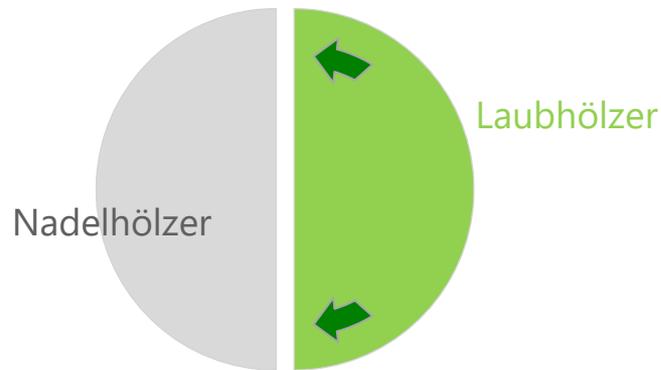


Quelle: BFS – BFS - Schweizerische Forststatistik, 2021

Warum Laubholz ?

■ Holzvorrat in der Schweiz

Vorratsanteil ausgewählter Baumarten
in % des gesamten Vorrates



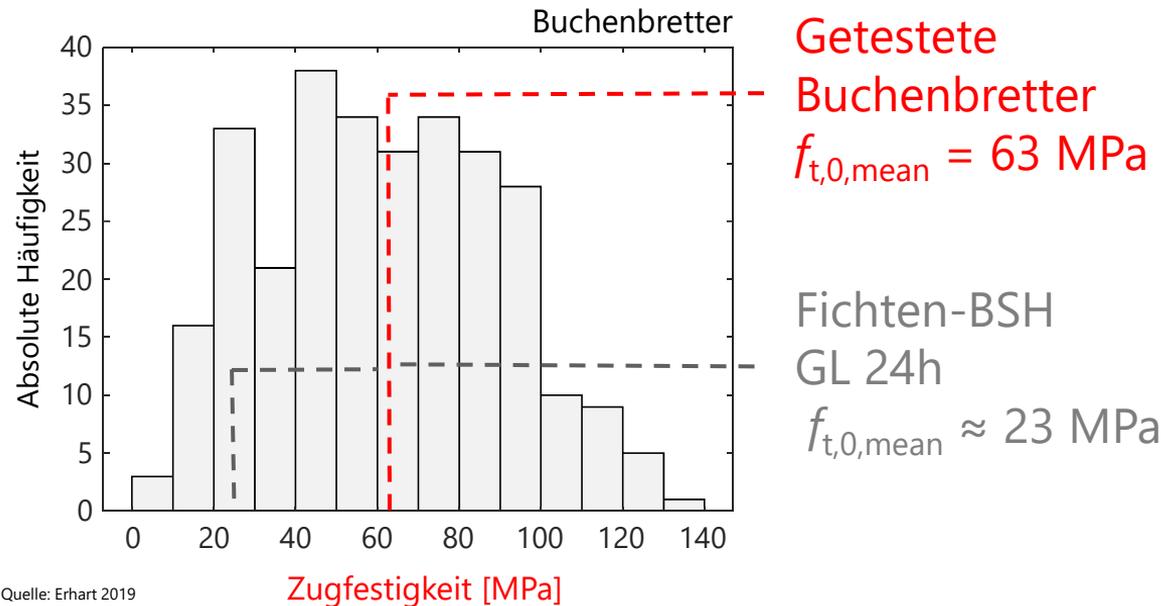
- Vorratsanteil von **Laubhölzern** wird steigen



- wir sollten bereit sein, diese **lokale Ressource zu nutzen**

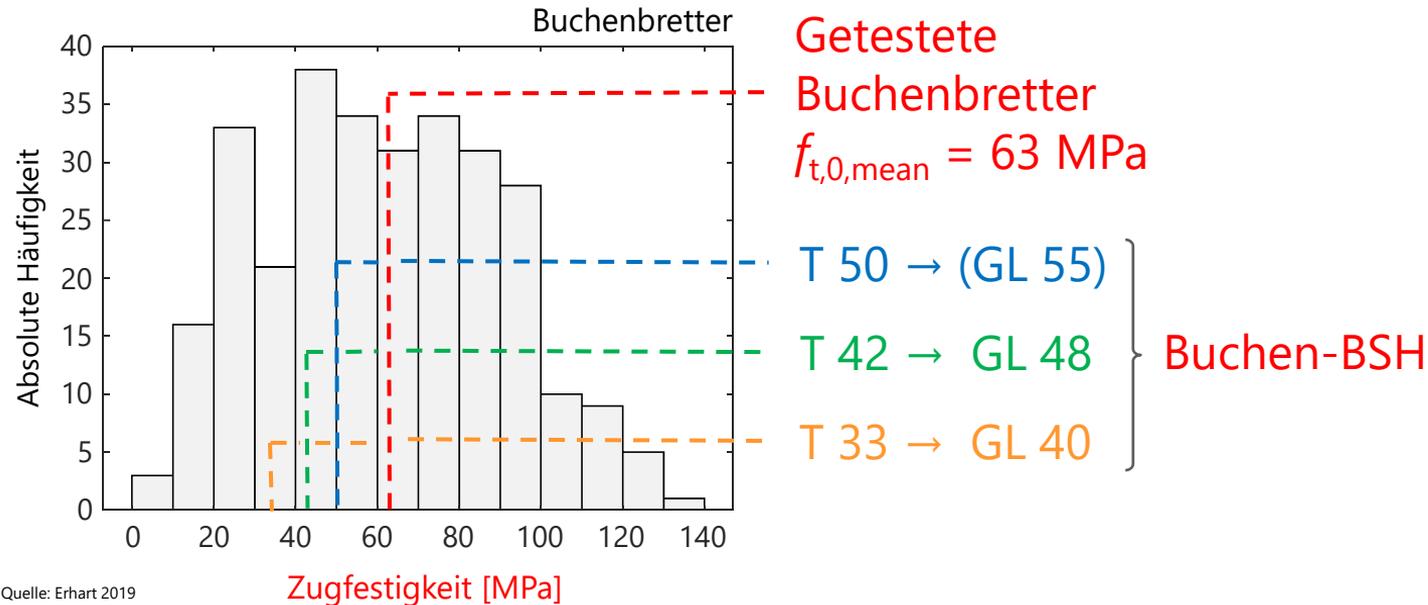
Warum Laubholz ?

- Sehr gute mechanische Eigenschaften



Warum Laubholz ?

- Sehr gute mechanische Eigenschaften



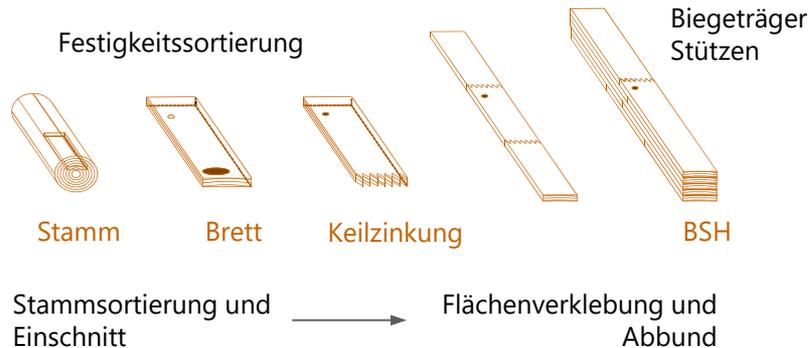
- **Bedeutung von Laubholz**
 - Warum Laubholz ?
 - Durchgeführte Forschungsarbeiten
- Schubfestigkeit von Eschen-Brettschichtholz (BSH)
 - Einleitung zu Schubversuchen
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Schlussfolgerungen

Homogenes und kombiniertes Buchen-BSH

- 2015-2020 – *Aktionsplan Holz* (BAFU) **Projekt geleitet von Empa**
- **Technische Grundlagen** zur Marktimplementierung Bauprodukt für **Biegeträger und Stützen**



Homogenes und kombiniertes Buchen-Brettschichtholz
Technische Grundlagen zur Marktimplementierung als Bauprodukt für Biegeträger und Stützen



Projekt-Nr.: REF-1011-04200
Schlussbericht

Klassifizierung: Öffentlich
Datum: 29.06.2020
Fördergeber: Aktionsplan Holz, BAFU

Adressen der Forschungsteilnehmer:
Empa, Materials Science and Technology
Abt. Ingenieur-Strukturen
Ueberlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
www.empa.ch

ETH Zürich
Inst. für Baustatik u. Konstruktion
Stefano-Franscini-Platz 5
CH-8093 Zürich
www.ifb.ch

Verfasser: Thomas Ehrhart¹⁾, René Steiger¹⁾, Andrea Frangi²⁾, Gaspard Clerc²⁾, Martin Lehmann³⁾ und Thomas Volkmer¹⁾

Projektleiter: René Steiger¹⁾

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Umwelt BAFU

²⁾ Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Söllochstrasse 102
CH-2504 Biel
www.bfh.ch

Verklebte Laubholzprodukte

- 2021 – Dokument **Lignatec 33/2021**

Verklebte Laubholzprodukte für den statischen Einsatz

<https://www.lignum.ch/shop/lignatec>

- Werte für die **Bemessung von Produkten aus verklebten Laubhölzern** und Verbindungen

- Buchen-BSH
- Eschen-BSH
- ...



Quelle: <https://www.lignum.ch/shop/lignatec/>

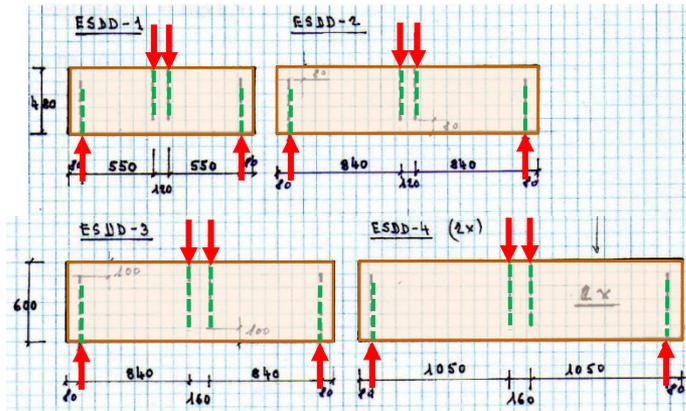
- Bedeutung von Laubholz
 - Warum Laubholz ?
 - Durchgeführte Forschungsarbeiten
- **Schubfestigkeit von Eschen-Brettschichtholz (BSH)**
 - Einleitung zu Schubversuchen
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Schlussfolgerungen

Hauptziele des Forschungsprojekts

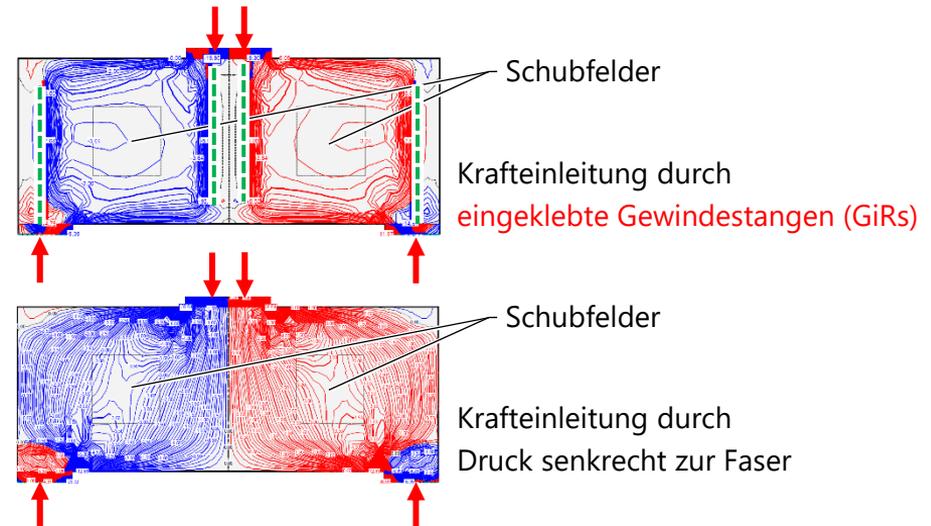
- Untersuchung der **Einflüsse von Bauteilgrösse** und **Versuchs-konfiguration** auf die Schubfestigkeit von **Laubholz (Esche) BSH**
- Vorschlag **einfacher Verhältnisse zur Berücksichtigung von Grösseneffekten in Bemessungsnormen**
(SIA 265 und EN 1995-1-1)

- Schubfestigkeit ist ein **wichtiger Bemessungsparameter für Laubholz**
- Frühere Untersuchungen haben sich auf Buche konzentriert
- Es war **schwierig, Schubbrüche zu erhalten**
 - Wichtigste Probleme
 - Einfluss von **Spannungen rechtwinklig zur Faserichtung**
 - Einfluss von **Volumen- und Geometrie-bezogenen Parametern**
 - Auftreten von **anderen Brucharten** (z.B. Biegung)

- Versuche an Trägern mit praxisgerechten Abmessungen
 - Krafteinleitung durch eingeklebte Gewindestangen (GiRs)



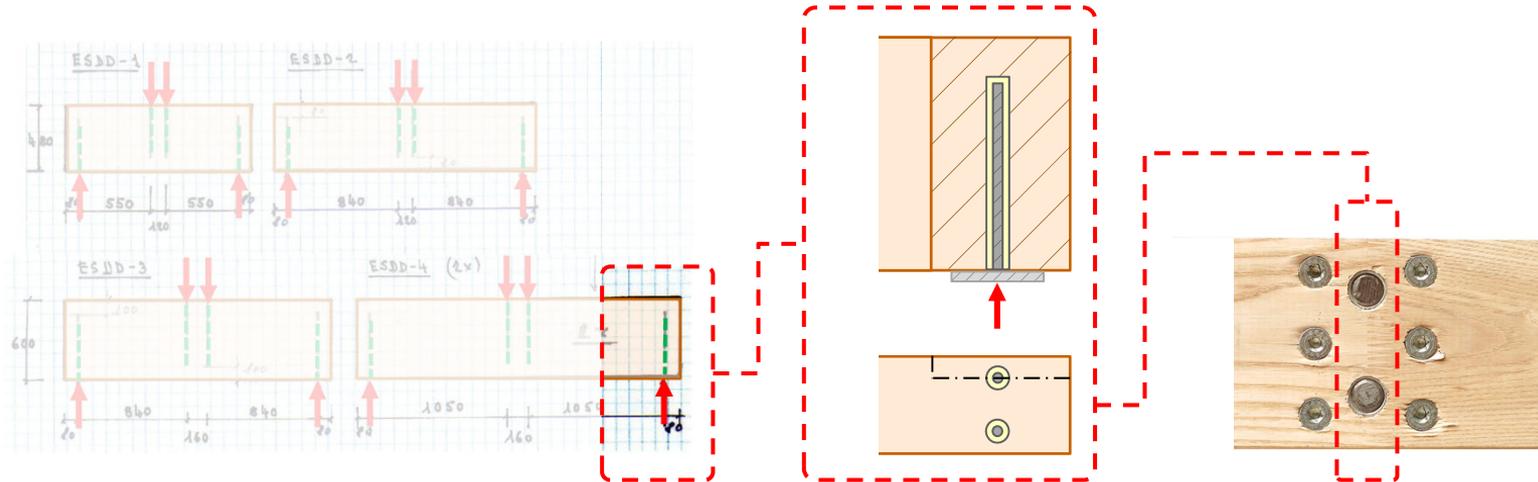
Quelle: Handskizze von E. Gehri, Prof. emeritus ETH Zürich, Dr. h.c., aus dem Jahr 2011.



Quelle: Steiger, R., and E. Gehri. 2011. "Interaction of shear stresses and stresses perpendicular to the grain." Proceedings of the CIB-W18 Meeting 44, 44-6-2. Alghero, Italy.

Hintergrund – Schubversuche

- Versuche an Trägern mit praxisgerechten Abmessungen
 - Krafteinleitung durch **eingeklebte Gewindestangen (GiRs)**

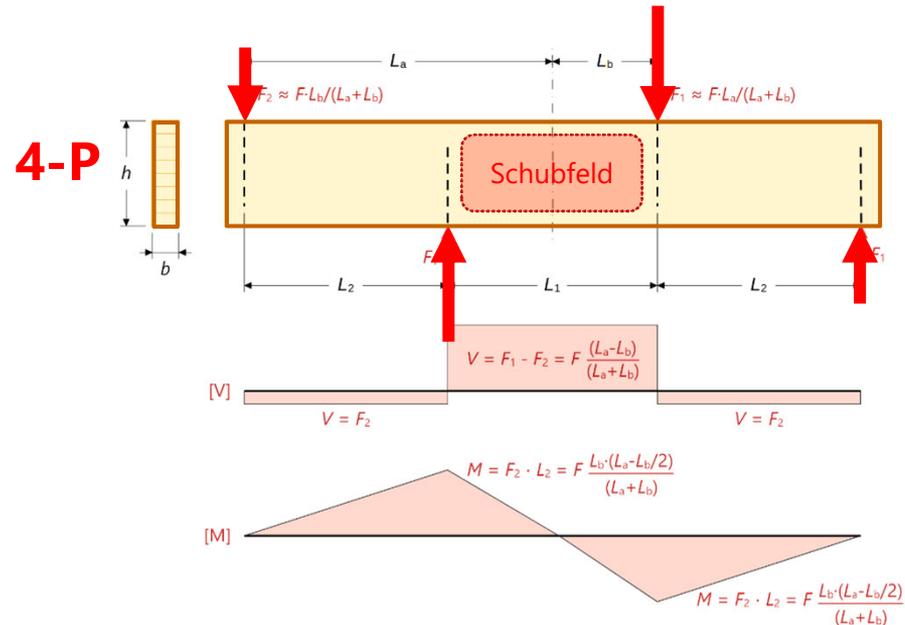
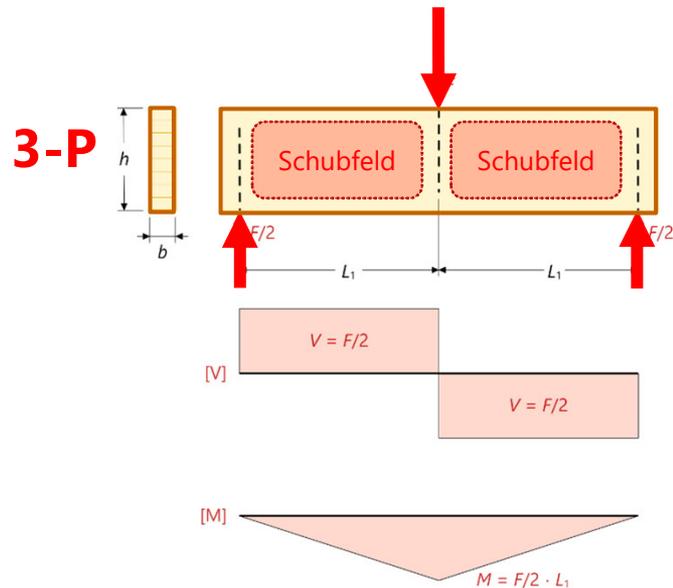


Büeler et al. 2011 ; Steiger and Gehri 2011

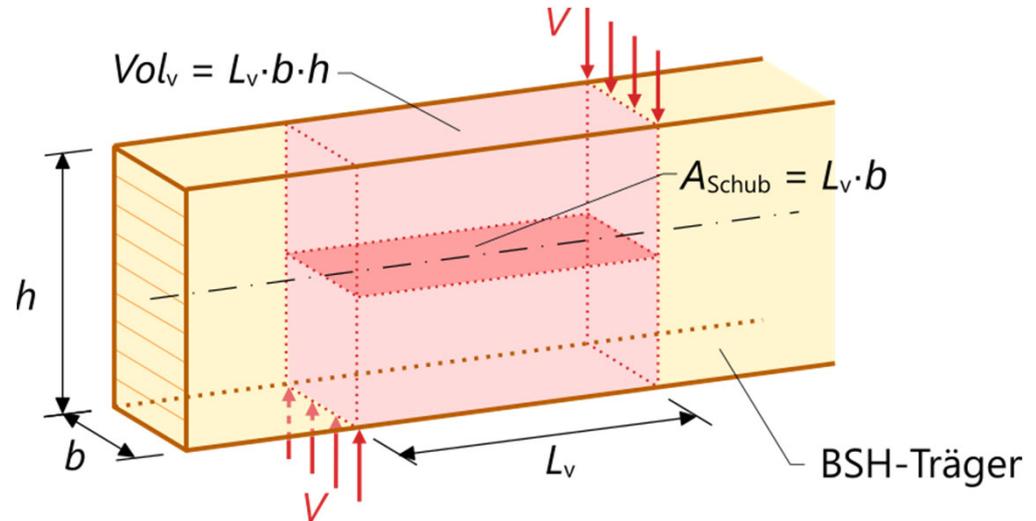
- Bedeutung von Laubholz
 - Warum Laubholz ?
 - Durchgeführte Forschungsarbeiten
- **Schubfestigkeit von Eschen-Brettschichtholz (BSH)**
 - Einleitung zu Schubversuchen
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Schlussfolgerungen

Versuchskonfigurationen

- Drei-Punkt-Biegung (3-P) und asymmetrische 4-Punkt-Biegung (4-P)
- Kräfteinleitung mit eingeklebten Gewindestangen (GiRs)

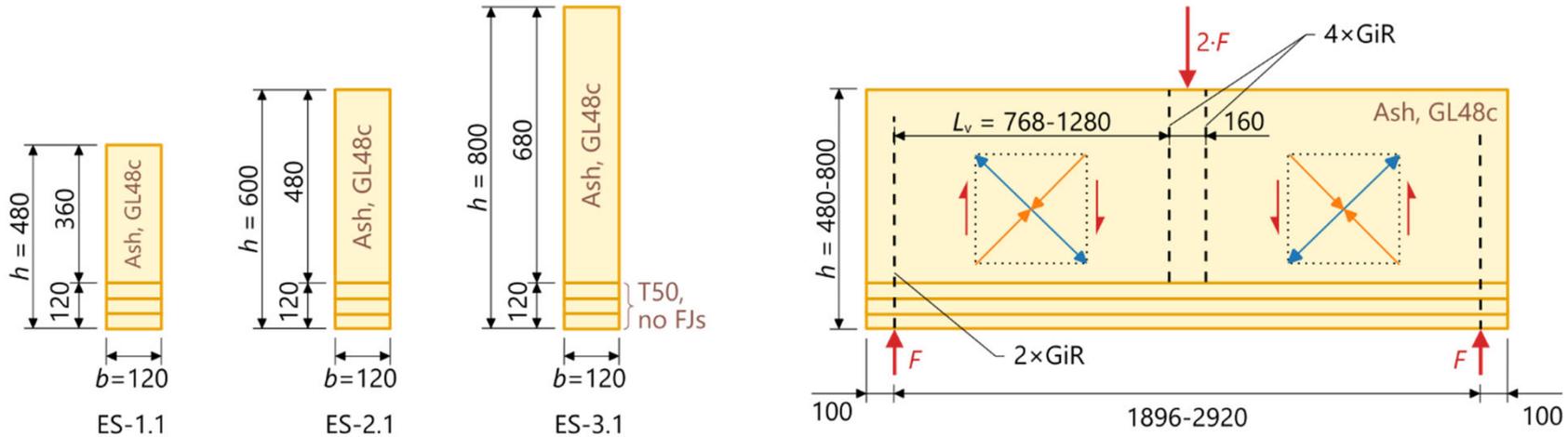


- **Geometrische Parameter**, die für die Bemessung von Interesse sind
 - (Schubfestigkeit ist mit den Festigkeitsklassen in EN 14080 nicht verknüpft)
 - Trägerhöhe h
 - Schubfeldlänge L_v
 - Verhältnis $\alpha = L_v/h$
 - Schubvolumen Vol_v



3-P-Biegung – Abmessungen

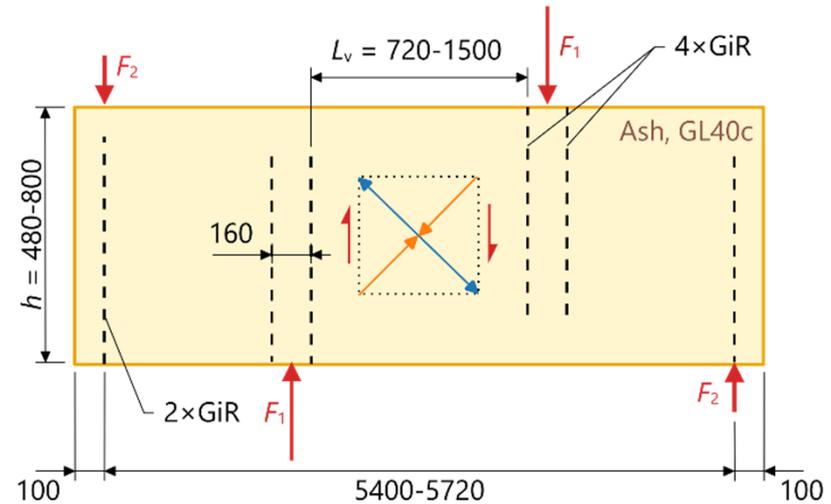
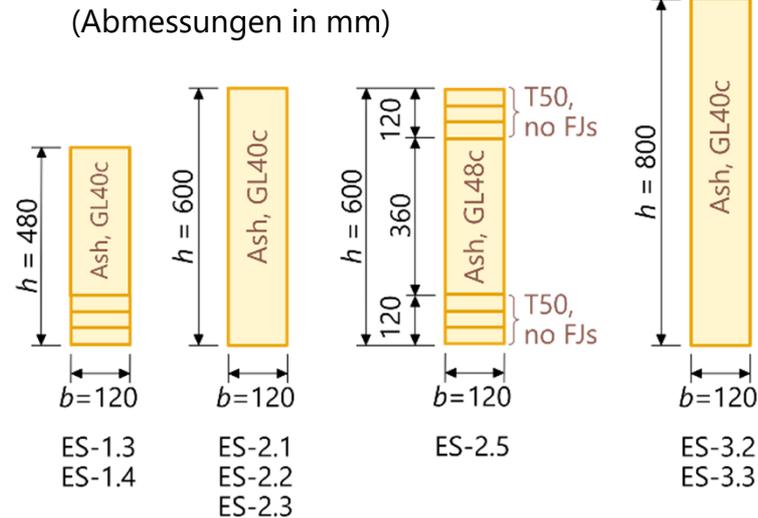
- Trägerhöhen $h = 480, 600, \text{ und } 800$ mm
- Verhältnis $\alpha = L_v/h = 1.6$



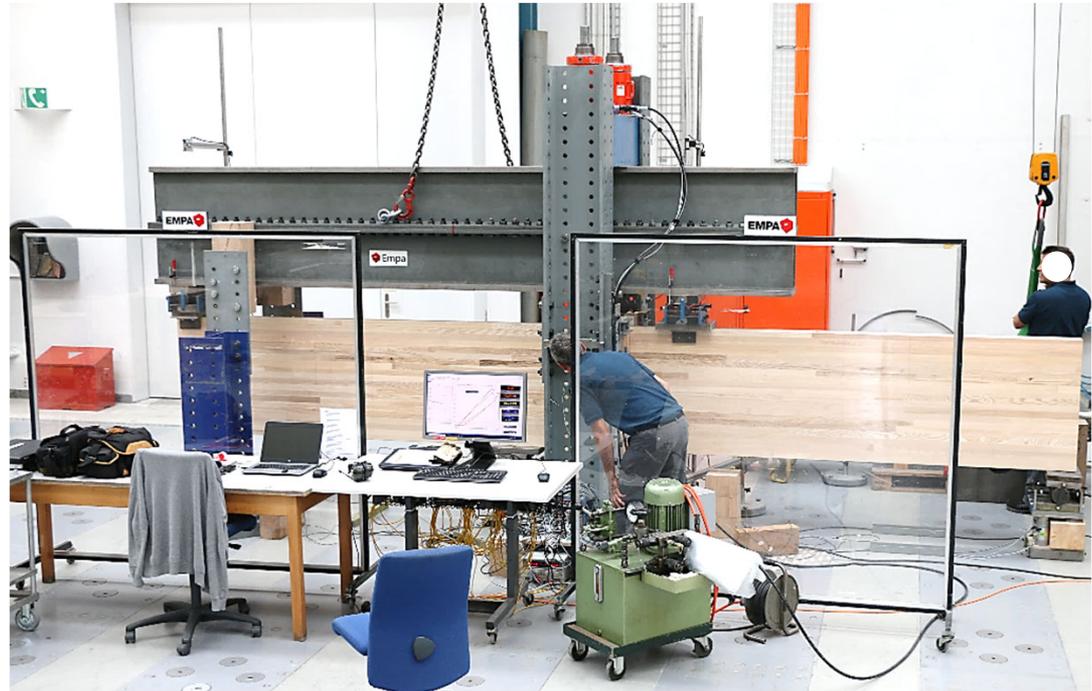
(Abmessungen in mm)

Asym. 4-P-Biegung – Abmessungen

- Trägerhöhen $h = 480, 600, \text{ und } 800$ mm
- Verhältnis $\alpha = L_v/h = 1.2, 1.6, 2.0, \text{ und } 2.5$



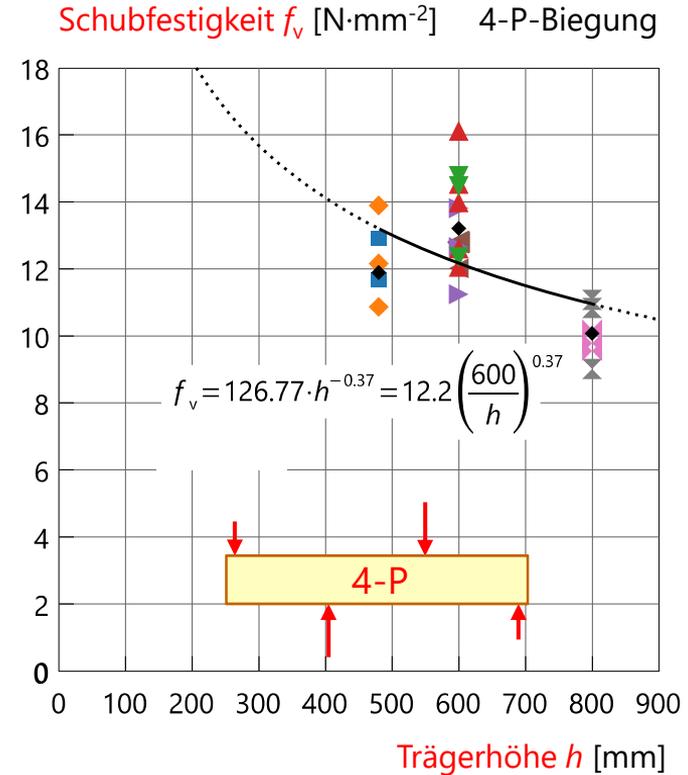
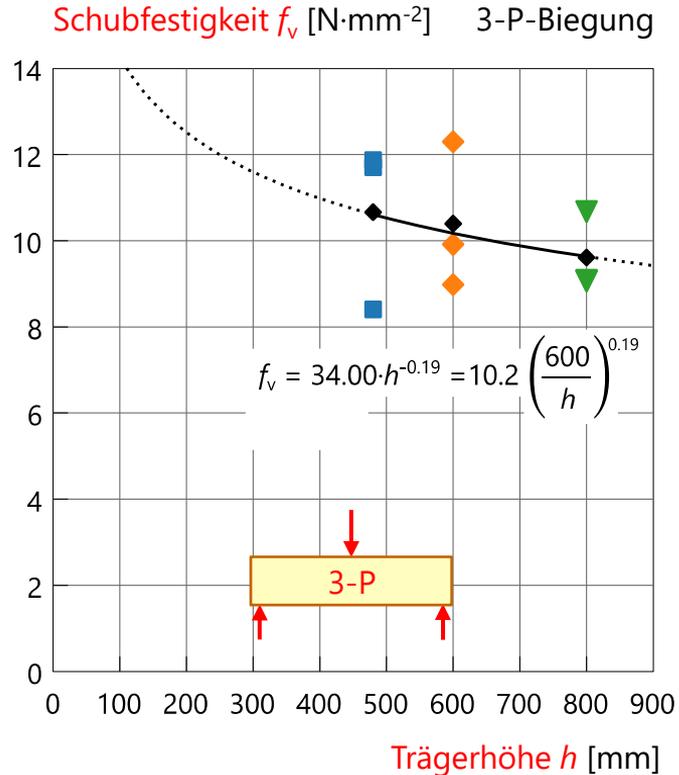
Asym. 4-P-Biegung – Versuchsaufbau



Asym. 4-P-Biegung – Ergebnisse

Versuchs-Konfiguration	Geometrie		Schubfestigkeit	
	Trägerhöhe h [mm]	Verhältnis $\alpha = Lv/h$ []	$f_{v,mean}$ [N·mm ⁻²]	CoV[f_v] []
ES-1.3 (n=3)	$h = 400$	1.6	11.5	13%
ES-1.4 (n=3)		2.0	12.3	12%
ES-2.2 (n=3)	$h = 600$	1.2	13.9	10%
ES-2.3 (n=5)		1.6	13.9	12%
ES-2.4 (n=3)		2.0	12.6	10%
ES-2.5 (n=3)		2.5	12.5	4%
ES-3.2 (n=3)	$h = 800$	1.2	9.8	3%
ES-3.3 (n=3)		1.6	10.3	11%
(n=26)			12.2	15%

Versuchsergebnisse



- **Versuchskonfigurationen** (3-P- und asymmetrische 4-P-Biegung)
 - Nur **Schubversagen** sind aufgetreten
 - **3-Punkt-Biegung**
 - einfach ; geeignet für die Qualitätskontrolle
 - Asymmetrische **4-Punkt-Biegung**
 - kompliziert ; breites Spektrum von geometrischen Parametern
 - **Verstärkung mit *GiRs*** notwendig

Schlussfolgerungen

■ Schubmodul G von Eschen-BSH

■ 3-P → $G_{\text{mean}} = 1162 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ (CoV 6%)

■ 4-P → $G_{\text{mean}} = 1120 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ (CoV 6%)

■ Lignatec 33/2021 → $G_{\text{mean}} = 1000 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$

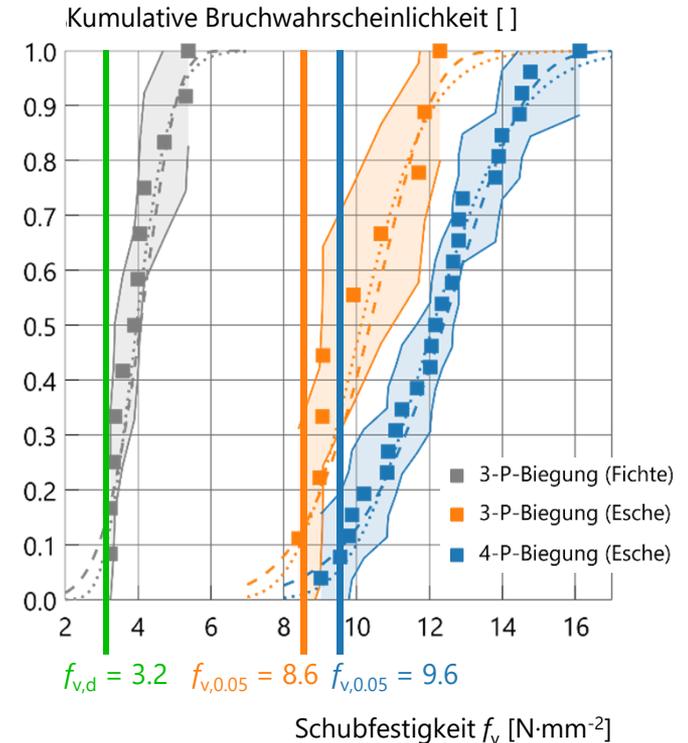


Quelle: <https://www.lignum.ch/shop/lignatec/>

Schlussfolgerungen

■ Schubfestigkeit f_v von Eschen-BSH

- 3-P → $f_{v,\text{mean}} = 10.2 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ (CoV 14%)
- 4-P → $f_{v,\text{mean}} = 12.2 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ (CoV 15%)
- Lignatec 33/2021 → $f_{v,d} = 3.2 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$



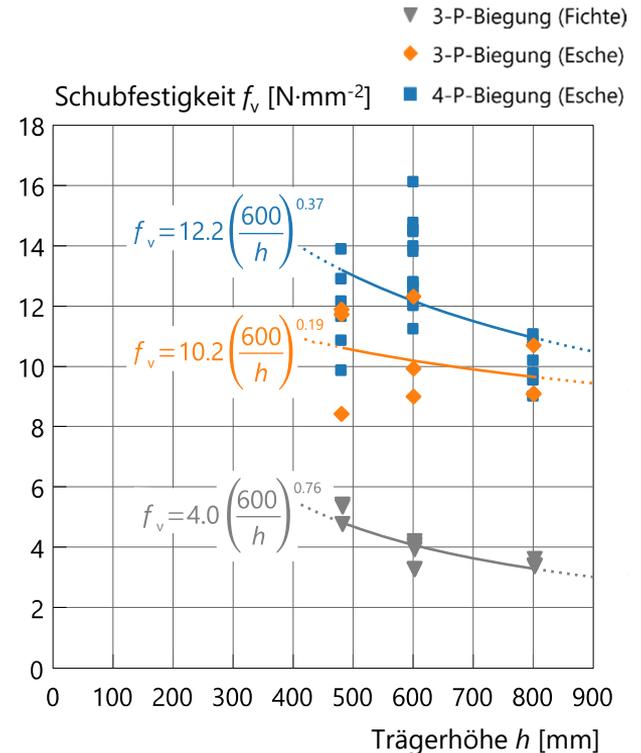
Schlussfolgerungen

■ Schubfestigkeit f_v von Eschen-BSH

- Größenabhängigkeit beobachtet

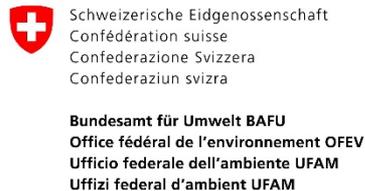
$$f_v = f_{v,\text{ref}} \cdot \left(\frac{600}{h}\right)^k \rightarrow \text{Exponent } k = 0.2, 0.4$$

- Ehrhart (2019) → Exponent $k = 0.4$
(Buchen-BSH, 3-P-Biegung, I-förmige Querschnitte)
- Lignatec 33/2021 → Exponent $k = 0.25$
(Buchen- und Eschen-BSH, $h_{\text{ref}} = 600$ mm)



Danksagung

Vielen Dank an das Bundesamt für Umwelt (**BAFU**) und die Kantone (**KWL**) für die finanzielle Unterstützung.





Empa

Materials Science and Technology

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



pedro.palma@empa.ch