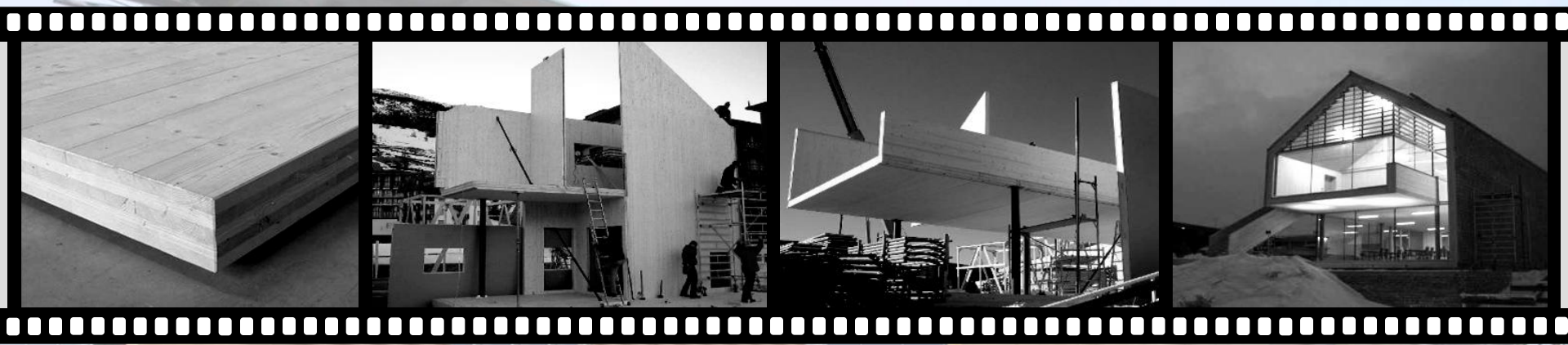


Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz

Allgemeines zur Bauweise und Nachweise auf Basis des europäischen Normenkonzepts

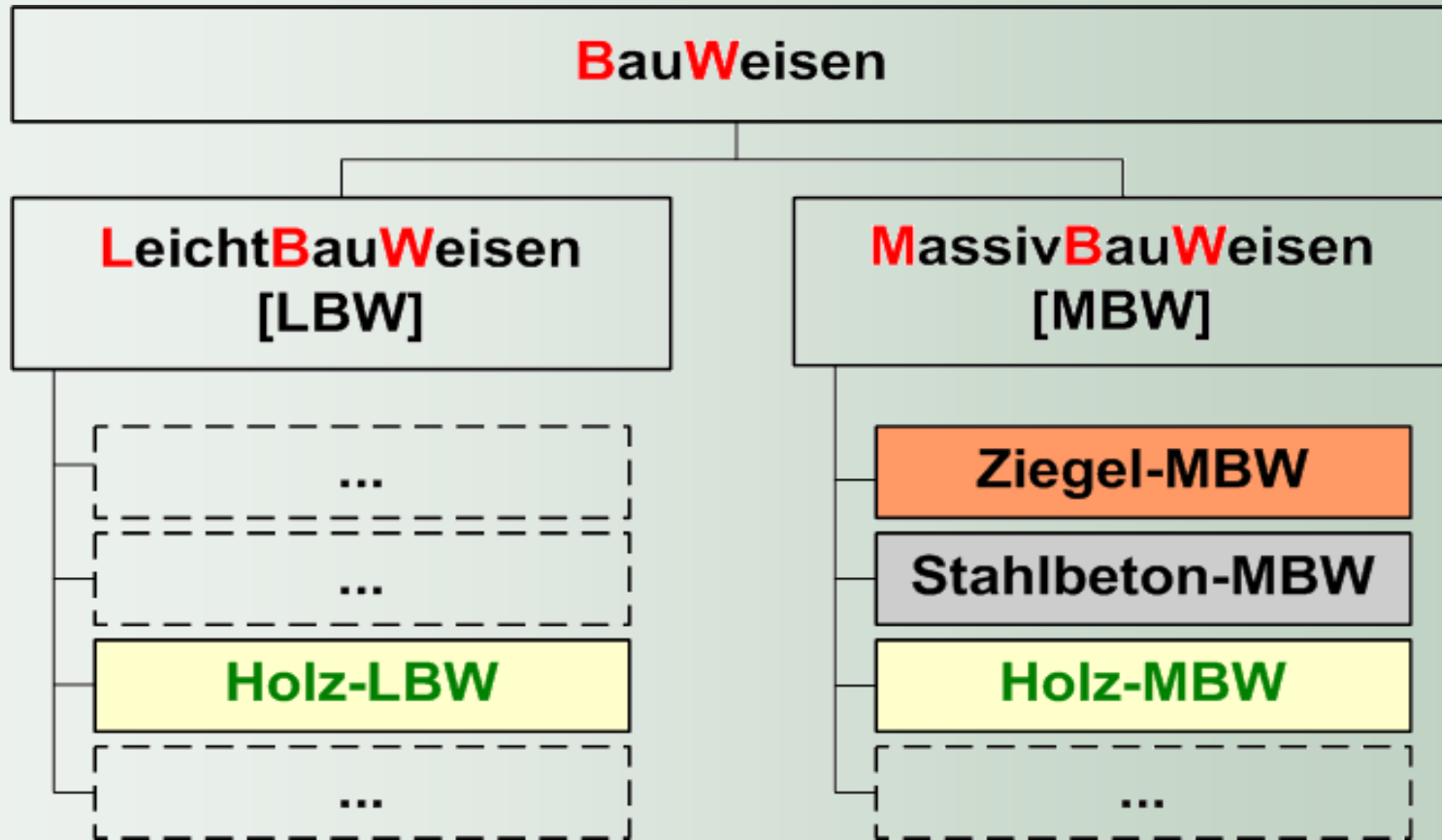


16. Internationales Holzbau-Forum IHF 2010
1. - 3. Dezember 2010

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer
Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz | AT
Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh Graz | AT

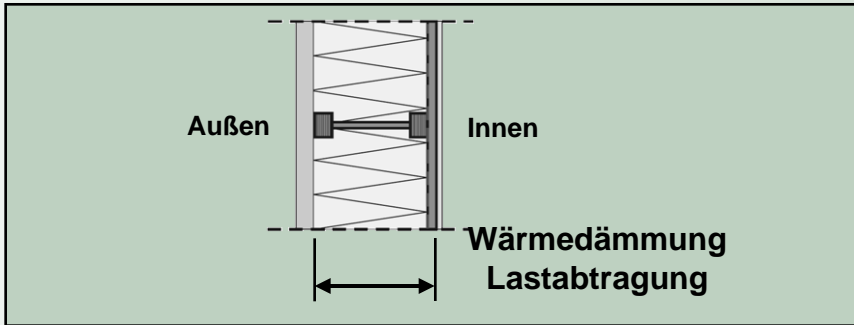
- **Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz**
 - Einführung | Entwicklung | Anwendungen
- **ULS-Nachweisführungen für als Platte beanspruchte BSP | CLT-Elemente**
 - Grundlagen der Bemessung
 - Biegung
 - Schub | Längslagen | Querlagen (Rollschub)
 - Querdruck
 - Brand → siehe **BSPhandbuch | CLTdesigner**
- **SLS-Nachweisführungen für als Platte beanspruchte BSP | CLT-Elemente**
 - Durchbiegungen } → siehe **BSPhandbuch | CLTdesigner**
 - Schwingungen }
- **laufende Aktivitäten und Ausblick**

Bauweisen im Bauwesen – Gliederung

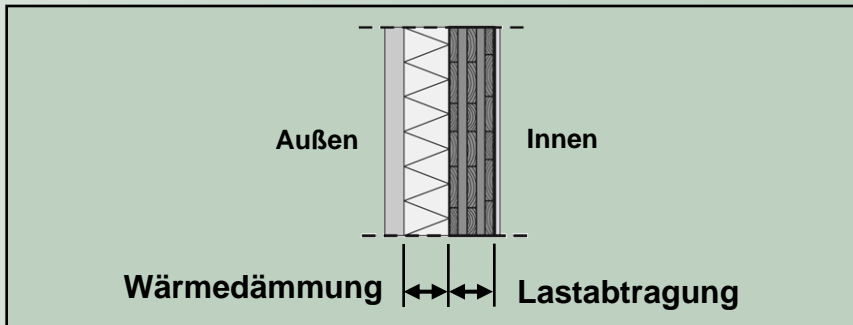


Wesentlich scheint es zu sein, eine materialneutrale Kombination der Begriffe „**MASSIV**“ und „**LEICHT**“ zu etablieren, ohne dabei ein bestimmtes Material zu vereinnahmen.

Holz-Leichtbauweise



Holz-Massivbauweise



Lastabtragung

Vergangenheit und Gegenwart	stabförmige	rahmenförmig	Tradition	stabförmig (zur Faserr.)	stabförmig (⊥ zur Faserr.)
	<p>Fachwerk- und Skelettbauweise</p>	<p>Rahmenbauweisen</p>		<p>stabförmige Wandkonstruktion (speziell in Skandinavien)</p> <p>Stabkirchen</p>	<p>Blockwandkonstruktionen (speziell im alpinen Raum)</p> <p>Chalet</p>

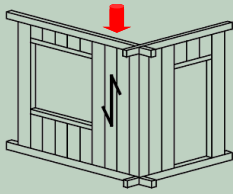
Die Holz-Massivbauweise ist in Europa seit jeher Teil der Kultur insbesondere in den waldreichen Regionen, wie z. B.:

Holz-Massivbauweise – INNOVATION basierend auf TRADITION

Lastabtragung

Tradition

stabförmig
(|| zur Faserr.)

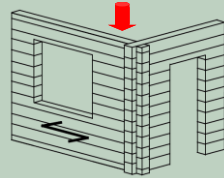


stabförmige
Wandkonstruktion
(speziell in
Skandinavien)



Stabkirchen

stabförmig
(⊥ zur Faserr.)



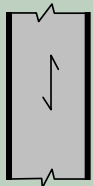
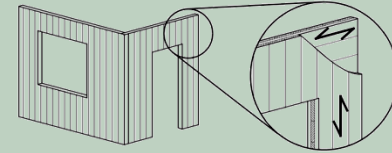
Blockwand-
konstruktionen
(speziell im
alpinen Raum)



Chalet

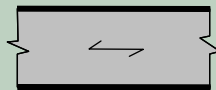
Innovation

gesperrte Anordnung von Lagen
II und ⊥ zur Faserrichtung



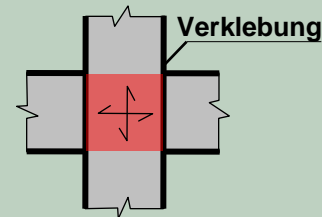
[quer]

+

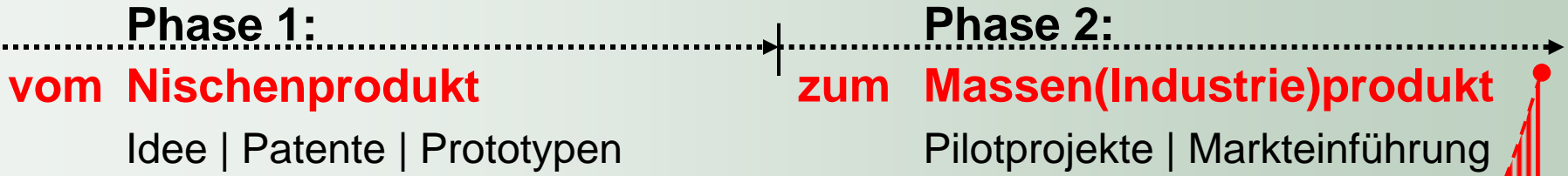


[längs]

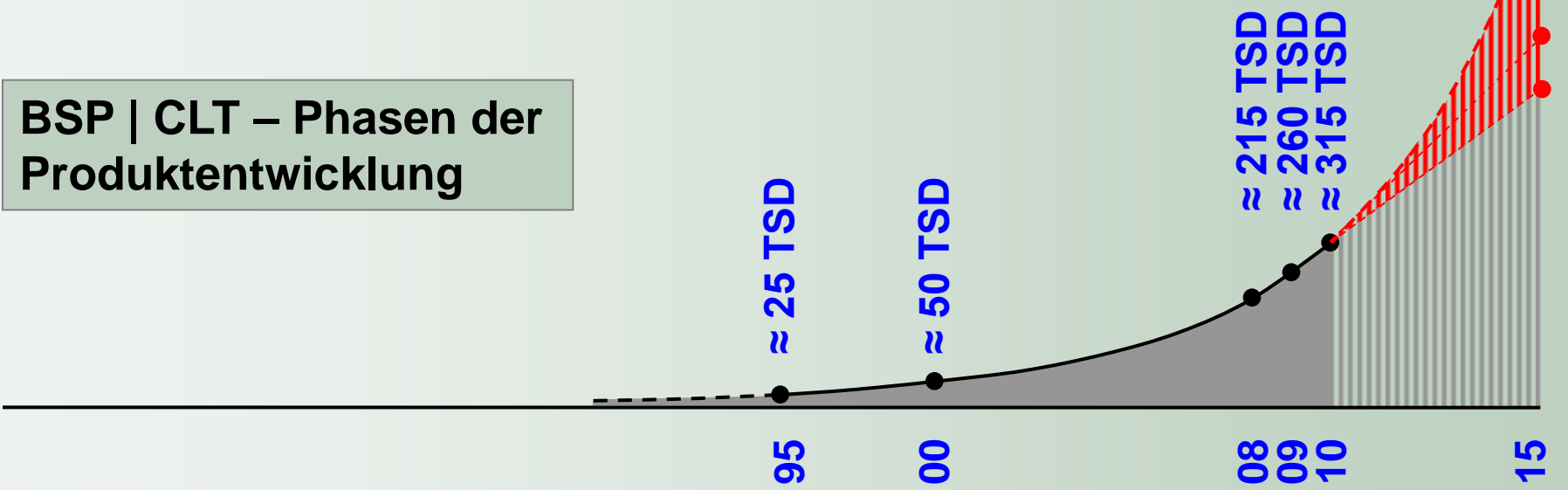
=



Holz-Massivbauweise in BSP | CLT



BSP | CLT – Phasen der Produktentwicklung

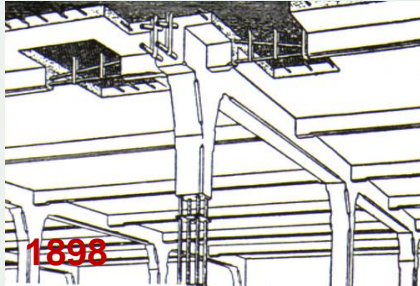


- Starke Zunahme ...**
- ... an F+E-Aktivitäten | Diss | Dipl.
 - ... der Präsenz an wissenschaftlichen Kongressen
 - ... der Transfer- und Seminaraktivitäten
- in Europa und Kanada**

- Die Holz-Massivbauweise in BSP | CLT findet nicht nur bei Architekten und Ingenieuren Beachtung, sondern konnte sich zu einer allgemein akzeptierten Bauweise etablieren.
- Auf Grund steigender Aktivitäten und erhöhter Marktpräsenz hat sich BSP | CLT vom Nischen- zum Massen(Industrie)produkt entwickelt.
- Namhafte Maschinenhersteller in Europa verzeichnen eine verstärkte Nachfrage an BSP | CLT-Produktionsanlagen. Weltweit sind neue Produktionslinien in Planung respektive in Umsetzung.
- Bis 2015 kann mit einer Vervielfachung des Produktionspotenzials weltweit gerechnet werden. Langfristig gesehen wird das Produkt BSP | CLT gleichbedeutend dem BSH | GLT.

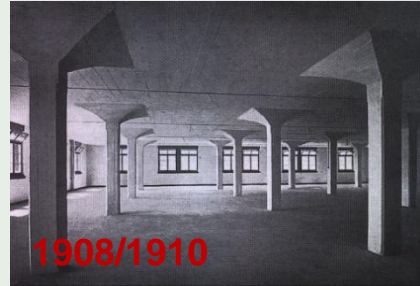
Deckenkonstruktionen

- Entwicklung des Stahlbetonbaus in Bezug auf Stützen-Platten-Systeme



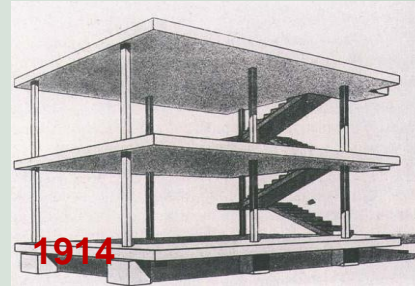
1898

STB-Rahmen mit Sekundärbetonelementen



1908/1910

STB-Decken auf pilzförmigen Stützenköpfen



1914

STB-Flachdecken mit Punktstützung



heute

STB-Flachdecken mit Punktstützung

Zeitachse

- Entwicklung des Holzbaus in Bezug auf Stützen-Platten-Systeme



BSP-Decke in Form einer Flachdecke mit Unterzügen in BSH



Rippenplatte als BSP/BSH-Deckenelement über eine Spannweite von 8 m



punktgestützte (Stahl- oder Holzstütze) BSP-Platte

Auf Grund

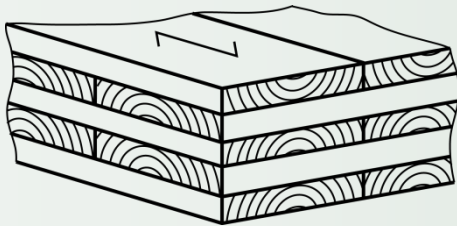
- geometrischer Abmessungen und Randbedingungen verbunden mit
- Plattenaufbauten

wird BSP | CLT vorwiegend in Form von Bauteilen mit einer ausgeprägten Richtung zur Lastabtragung eingesetzt.

Daher: **Berechnungsmodelle basierend auf 1D-Balkentheorien weitgehend ausreichend!**

Nachweis

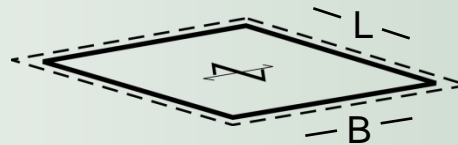
2D-Plattentragverhalten



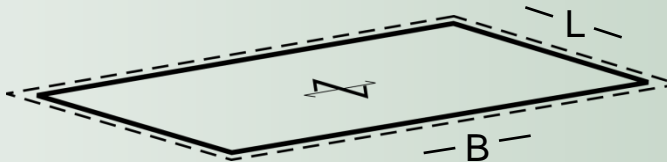
z. B. 5-schichtige Platte
mit folgendem Aufbau
34-19-34-19-34
 $(EJ)_L = 2,42 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$
 $(EJ)_Q = 0,41 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$

$(EJ)_L : (EJ)_Q \sim 6 : 1$

$L : B = 1 : 1$



$L : B = 1 : 2$



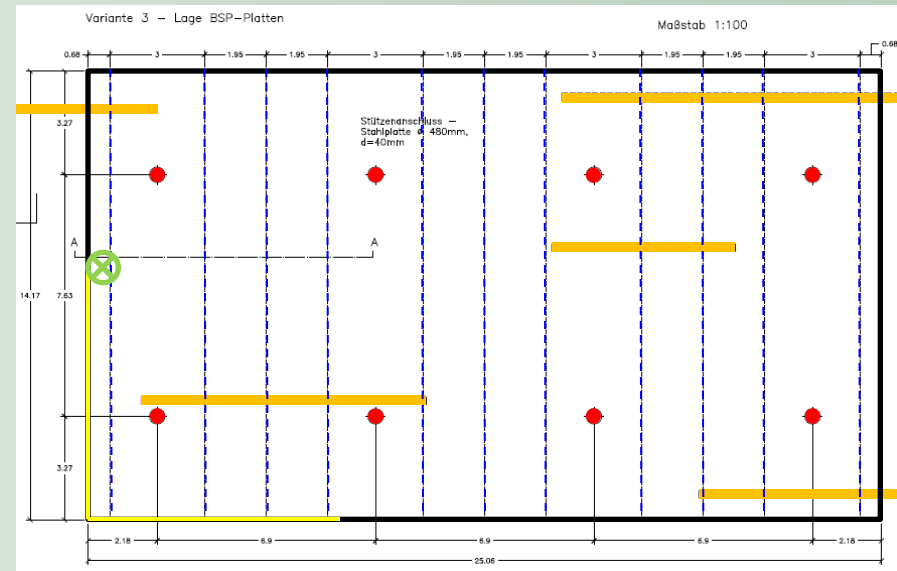
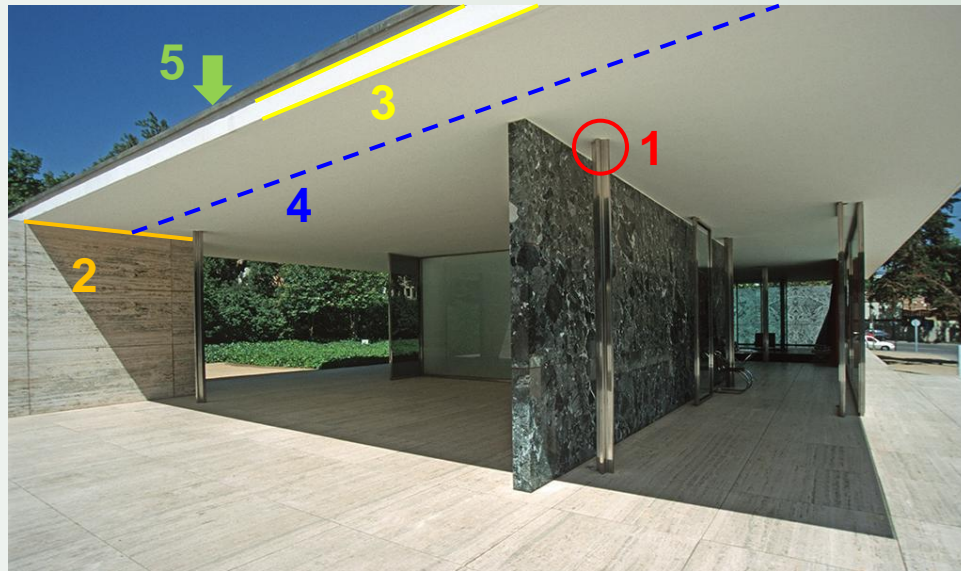
--- Lagerung ↓ Lastabtragung

Tragvermögen
längs : quer

Faktor ~ 6

Faktor ~ 100

Aber:
Wo sind 2D-Plattentragwirkungen relevant und daher zu berücksichtigen?

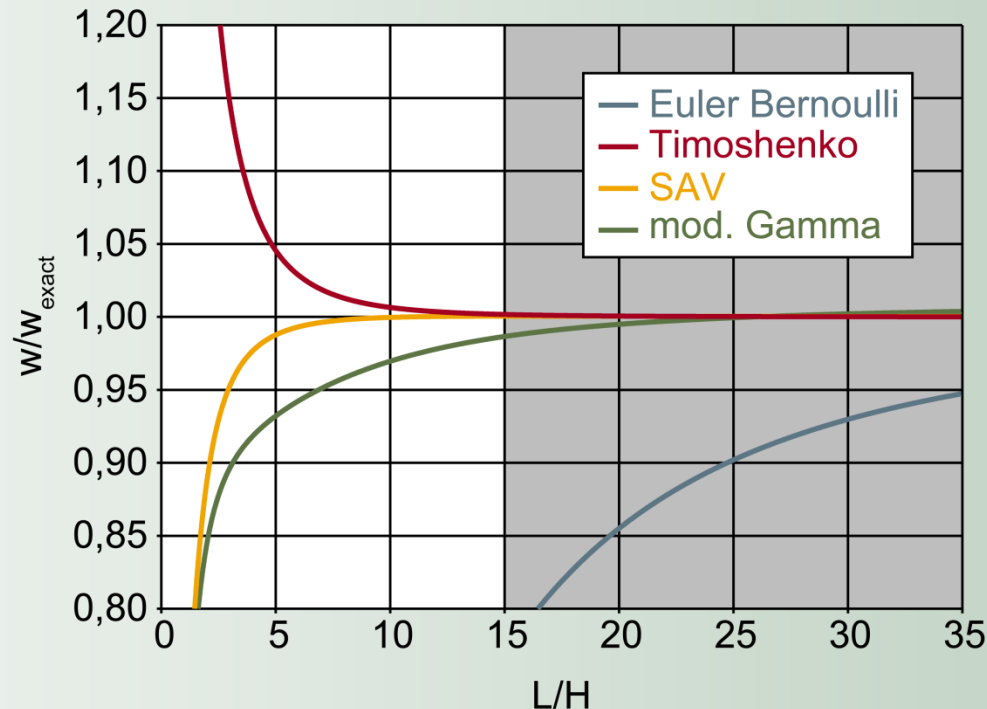


DEUTSCHER PAVILLON von M. van der Rohe
errichtet: 1929 | Weltausstellung Barcelona

- punktgestützte BSP | CLT-Decken | Dachelemente **1**
- teilflächengelagerte BSP | CLT-Decken | Dachelemente **2**
- Auskragungen **3**
- Stossfugen (Ausbildung) **4**
- Punktlasten **5**
- etc.

Bekannte approximative Verfahren für den 1D-Plattenstreifen:

- **Schubanalogie-Verfahren (SAV)**
verankert in der DIN 1052
- **modifiziertes γ -Verfahren (mVT)**
als 'nachgiebig verbundene Biegestäbe' verankert in der EN 1995-1-1 (informativ), der DIN 1052, etc.
- **schubnachgiebiger Balken nach Timoshenko**
CLTdesigner der TU Graz | www.clt designer.at



Bekannte approximative Verfahren für den 1D-Plattenstreifen:

- **Schubanalogie-Verfahren (SAV)**
verankert in der DIN 1052
- **modifiziertes γ -Verfahren (mVT)**
als 'nachgiebig verbundene Biegestäbe' verankert in der EN 1995-1-1 (informativ), der DIN 1052, etc.
- **schubnachgiebiger Balken nach Timoshenko**
CLTdesigner der TU Graz | www.cltdesigner.at

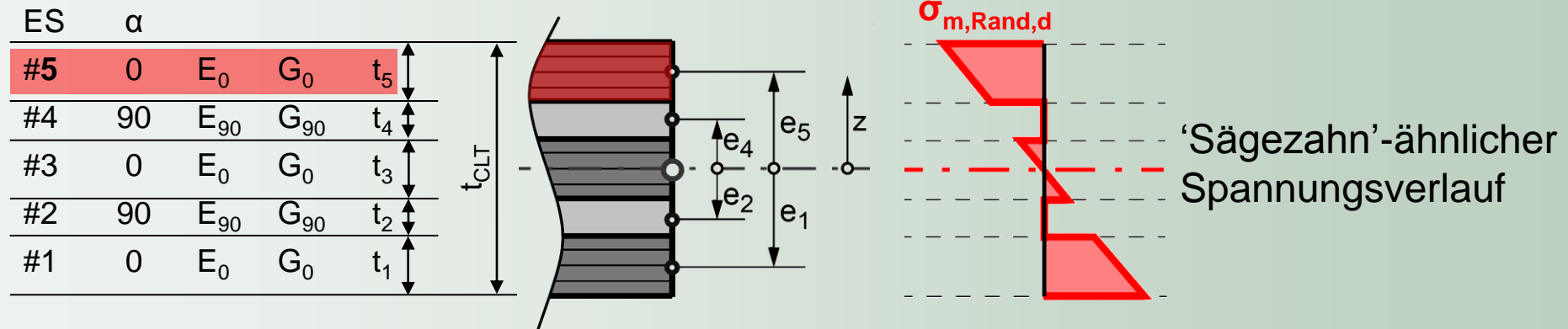
- **alle oben erwähnten approximativen Verfahren weichen von der exakten Lösung des schubnachgiebigen mehrschichtigen Verbundbalkens ab!**

ABER:

- **alle oben erwähnten approximativen Verfahren sind im baupraktischen Bereich $L/H \geq 15$ anwendbar.
(Ausnahme: schubstarrer Euler-Bernoulli-Balken)**

BIEGUNG

z.B.: 5-s BSP | CLT-Element [Annahme: $E_{90}=0$]



Ermittlung des Bemessungswertes der Biegerandspannung $\sigma_{m,Rand,d}$

$$\sigma_{m,i=5,Rand,d} = \frac{M_{max,d}}{K_{CLT}} \cdot \frac{t_{CLT}}{2} \cdot E_{i=5}$$

Biegesteifigkeit eines geschichteten Querschnitts

$$K_{CLT} = \sum_{i=1}^n (J_i \cdot E_i) + \sum_{i=1}^n (A_i \cdot e_i^2 \cdot E_i)$$

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegefestigkeit $f_{m,clt,d}$

Basis: Biegetragmodell für BSP | CLT der TU Graz

$$f_{m,clt,k} = a_{clt} \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8} \quad \rightarrow \quad f_{m,clt,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,clt,k}}{\gamma_M}$$

mit: $f_{t,0,l,k}$... charakteristische Zugfestigkeit der Brettware

- a_{clt} ... Vorfaktor zur Berücksichtigung
- des ‘coefficient of variation (COV)’ des Ausgangsmaterials
 - des ‘laminating effects’
 - des ‘system effects’
 - des ‘size effects’
 - des ‘structure | assembling effects’

Die Interpretation dieses allgemeinen Modellansatzes erfolgt in den bekannten BSP | CLT-Zulassungen in unterschiedlicher Weise. Die Unterschiede sind vernachlässigbar gering!

Biegetragmodelle für BSP | CLT gemäß Zulassungen

- **ETA-09/xxx**

$$f_{m,clt,k} = \text{Minimum} \left\{ \begin{array}{l} a_{clt} \cdot f_{t,0,k}^{0,8} \\ 1,2 \cdot f_{m,k} \end{array} \right.$$

mit: $f_{m,k}$... charakteristische Biegefestigkeit nach EN 338
 $f_{t,0,k}$... charakteristische Zugfestigkeit nach EN 338
 $a_{clt} = 3,5$... für visuell sortiertes Holz

- **DIBt Z-9.1-xxx**

$$f_{m,clt,k} = k_l \cdot f_{m,gl,t,k}$$

Referenzhöhe $h_{ref,clt}$ nicht definiert!

→ Forschungsbedarf gegeben
 Vorschlag: $h_{ref,clt} = 150 \text{ mm}$

mit: $f_{m,gl,t,k}$... charakt. Biegefestigkeit für Brettschichtholz (BSH)
 ($h_{ref,gl,t} = 600 \text{ mm}$)
 k_l ... Vorfaktor zur Berücksichtigung
 – des 'system effects' ($k_l = 1,1$ bei $n \geq 4$)

Biegetragmodelle für BSP | CLT – Vergleich

Beispiel | Festigkeitsklasse C24 gemäß EN 338 respektive GL24h gemäß DIN 1052

- Biegetragmodell TU Graz (Bezug)

$$f_{m,clt,k} = a_{clt} \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8} = 3,5 \cdot 14,0^{0,8} = 28,9 \text{ N / m m}^2$$

- ETA-09/xxx

$$f_{m,clt,k} = \min \begin{cases} a_{clt} \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8} = 3,5 \cdot 14,0^{0,8} = 28,9 \text{ N / m m}^2 & (-) \\ 1,2 \cdot f_{m,k} = 1,2 \cdot 24,0 = 28,8 \text{ N / m m}^2 & (-) \end{cases}$$

- DIBt Z-9.1.-xxx

$$f_{m,clt,k} = k_l \cdot f_{m,gl,k} = 1,1 \cdot 24,0 = 26,4 \text{ N / m m}^2 \quad (-9\%)$$

Anmerkung: Systemfaktor k_l konservativ | keine Höhenkorrektur, $h_{ref,clt}$ nicht definiert

Nachweisführung

$$\frac{\sigma_{m,Rand,d}}{f_{m,clt,d}} \leq 1,0$$

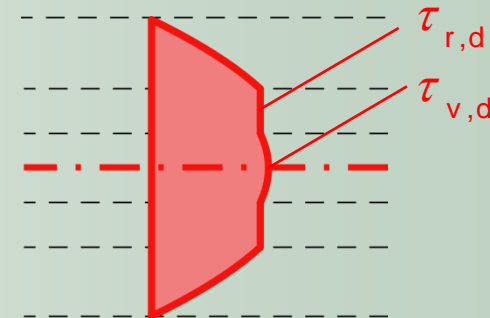
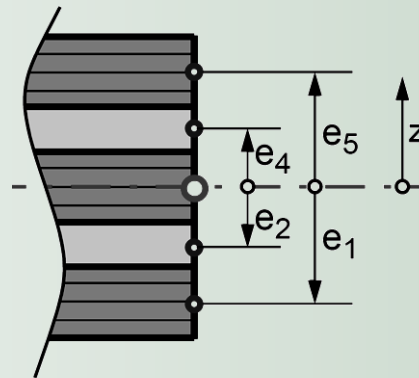
Im Normalfall sehr geringer Ausnutzungsgrad, daher zumeist nicht bemessungsrelevant.

SCHUB | Längslagen | Querlagen (Rollschub)

Ermittlung der nachweisrelevanten Bemessungswerte der Schubspannungen

z.B.: 5-s BSP | CLT-Element [Annahme: $E_{90}=0$]

ES	α				
#5	0	E_0	G_0	t_5	t_{CLT}
#4	90	E_{90}	G_{90}	t_4	
#3	0	E_0	G_0	t_3	
#2	90	E_{90}	G_{90}	t_2	
#1	0	E_0	G_0	t_1	



$$\tau(z_0)_d = \frac{V_{z,d} \cdot \int_{A_0} E(z) \cdot z \cdot dA}{K_{clt} \cdot b(z_0)}$$

→ $\tau_{v,d}$ (längs) und $\tau_{r,d}$ (quer)

Ermittlung der Bemessungswerte der Schubfestigkeit $f_{v,clt,d}$ und der Rollschubfestigkeit $f_{r,clt,d}$

$$f_{v,clt,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Für $f_{v,clt,k}$ kann näherungsweise der Basiswert der Schubfestigkeit für BSH herangezogen werden.

$$f_{r,clt,k} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

Für $f_{r,clt,k}$ sind die Zulassungen zu beachten.
 gemäß BSPhandbuch | TU Graz wird – die Systemwirkung berücksichtigend – ein um 25 % höherer Wert gegenüber der Kenngröße für BSH angesetzt.

Nachweisführung

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,clt,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,clt,d}} \leq 1,0$$

Für beide Nachweise ergibt sich gewöhnlich ein geringer Ausnutzungsgrad, weswegen im Normalfall keine Bemessungsrelevanz gegeben ist.

QUERDRUCKNACHWEISE

Ermittlung des Bemessungswertes der Querdruckspannung $\sigma_{c,clt,90,d}$

$$\sigma_{c,clt,90,d} = \frac{F_d}{A_{c,90}}$$

mit: $A_{c,90}$... querdruckbeanspruchte Fläche | Punkt- (Stütze), Linienlagerung (Wand)



Quelle: DI R. Salzer
zweigesch. Wohnbau / Altenberg / NÖ

Punktlagerung



Quelle: Architekt Reinberg
Tagesheim / St. Pölten / NÖ

Punktlagerung



Quelle: TU Graz
Wand | Decke | Wand

Linienlagerung

Ermittlung des Bemessungswertes der Querdruckfestigkeit $f_{c,clt,90,d}$

Arbeiten zur Ermittlung der Querdruckkenngößen für BSP | CLT:

- Y. Halili | TU Graz, 2008
- E. Serrano | Linnæus University, 2010
- C. Salzmann | TU Graz, 2010

Querdruckkenngößen:

- $f_{c,clt,90,d}$ | Würfel | Plattenelement
- $k_{c,clt,90}$
- $E_{c,clt,90,mean}$

Versuchstechnische Ermittlung der Kenngößen



würfelförmige Prüfkörper



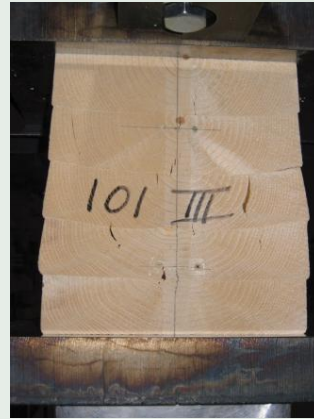
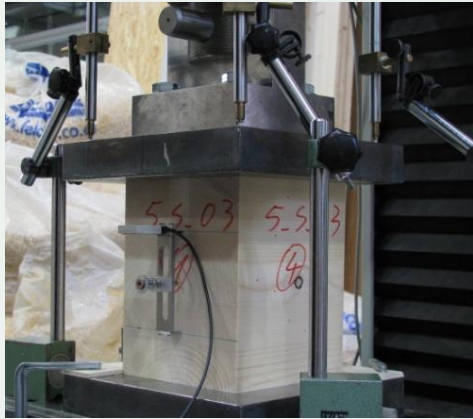
plattenförmige Prüfkörper



plattenförmige Prüfkörper
Lastdurchleitung
(„Punkt – Punkt“)

Ermittlung des Grundwertes am 'Norm-Würfel'

BSH | GLT



BSP | CLT

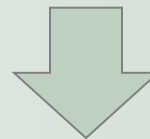


$$f_{c,glt,90,k} = 2,1 \dots 2,4 \text{ N/mm}^2 \text{ [wiss. Publ.]}$$

$$f_{c,clt,90,k} = \dots 3,0 \dots 3,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,glt,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (Norm)}$$

$$f_{c,clt,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Vorschlag TU Graz)}$$



Kennwerte für die Konstruktion

Kennwerte für die Konstruktion

BSH | GLT



BSH

$$k_{c,gl_t,90} = 1,0 \dots 1,5 \dots 1,75$$

$$f_{c,gl_t,90,k} \cdot k_{c,gl_t,90} = 3,75 \text{ N/mm}^2$$

BSP | CLT



Rand
'Linienlagerung'



mittig
'Punktlagerung'

Vorschlag TU Graz

$$k_{c,cl_t,90} = \sim 1,5 \qquad = \sim 2,0$$

$$f_{c,cl_t,90,k} \cdot k_{c,cl_t,90} = 4,5 \dots 6,0 \text{ N/mm}^2$$

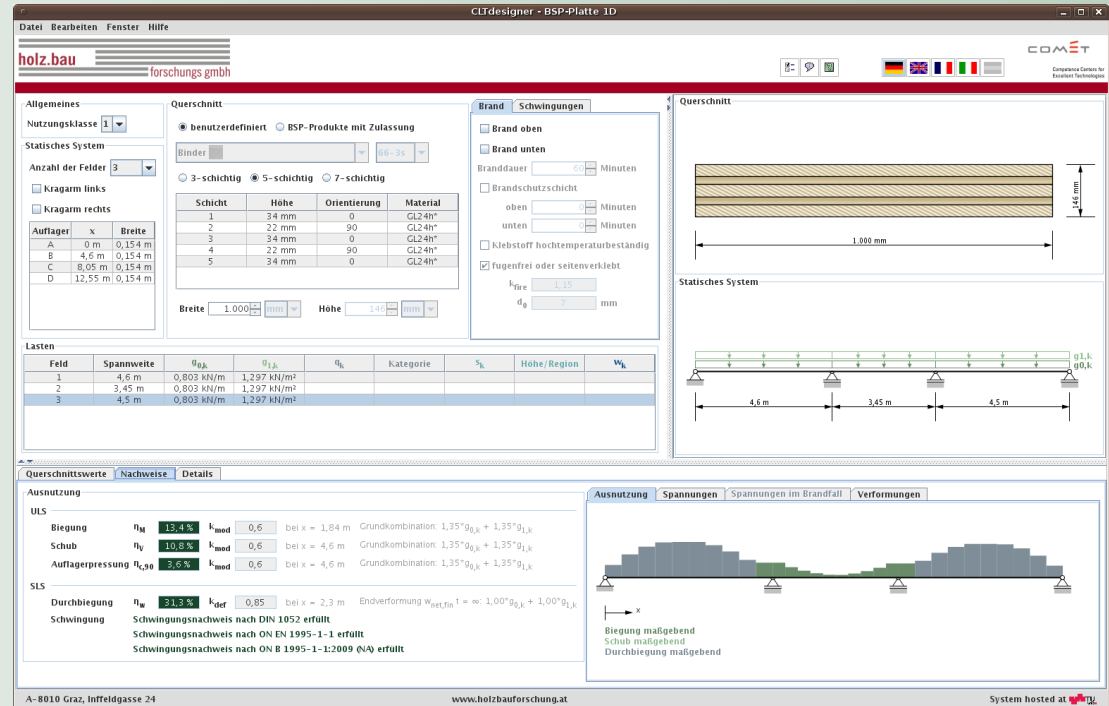
+ 20 %

+ 60 %

BSPHandbuch (D)



CLTdesigner www.cltdesigner.at (D | IT | E)



geplante Ergänzungen (in Bearbeitung):

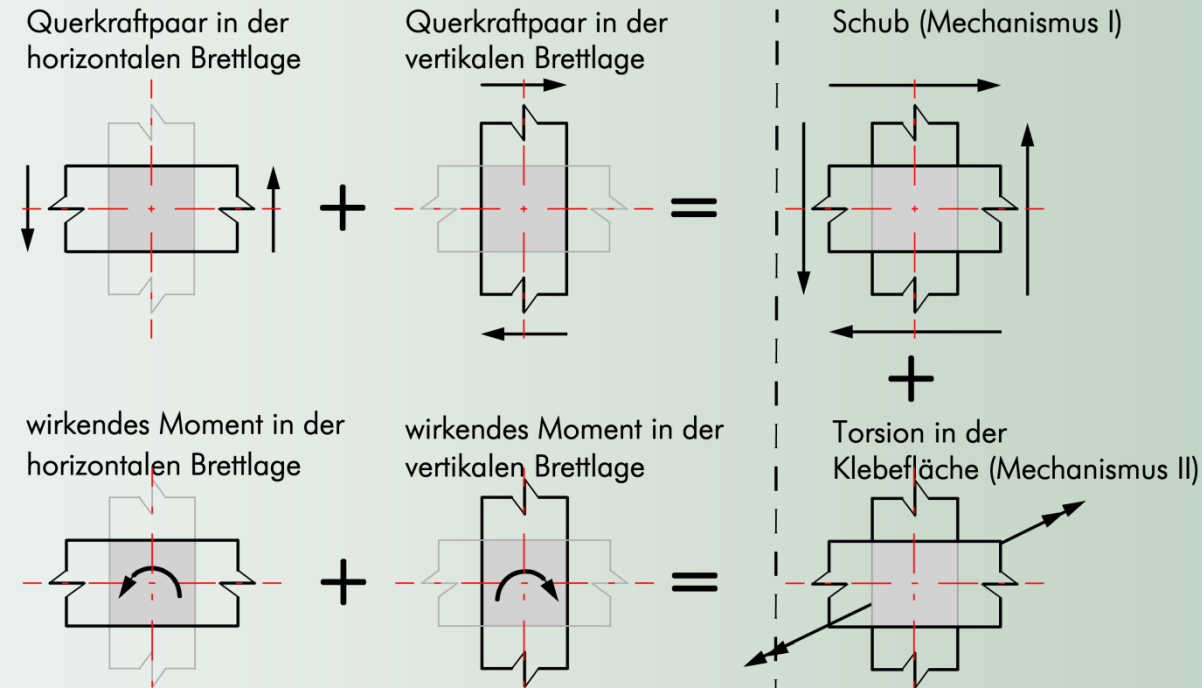
- Platte | Querdruck
- Scheibe | Schubkenngrößen
- Objekt | Verbindungstechnik sowie Erdbeben

geplante Module:

- Scheibennachweise (in Bearbeitung)
- Verbindungstechnik
- Übersetzung ins Französische (in Bearbeitung)

Ermittlung der Festigkeitskenngrößen für den BSP | CLT - Scheibenschub Mechanismus I ‘Schub’ und Mechanismus II ‘Torsion’

Erläuterung der beiden Mechanismen I und II



Beide Mechanismen treten gemeinsam auf!
→ **Beide Nachweise sind zu führen.**

Welcher Mechanismus nachweisrelevant wird, hängt insbesondere von den **charakteristischen Schubkenngrößen** für die beiden Mechanismen ab.

Ermittlung der charakteristischen Schubkenngrößen

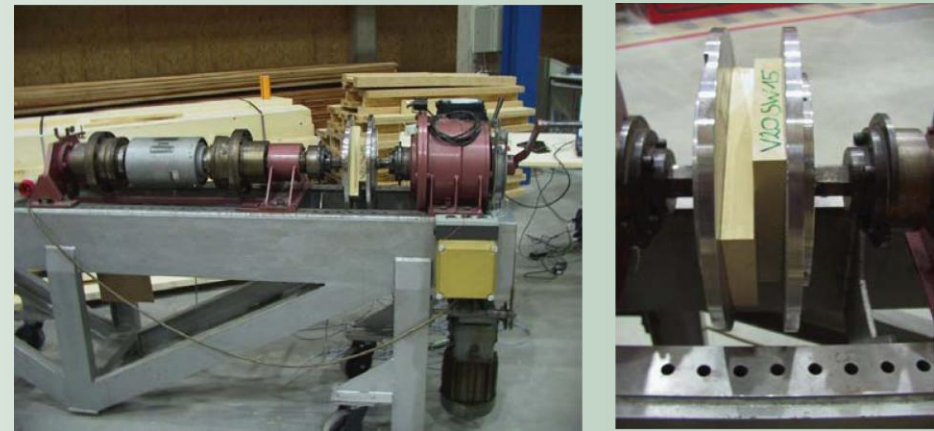
Mechanismus I 'Schub'

$$f_{v,clt,k} \mid \text{Scheibe}$$



Mechanismus II 'Torsion'

$$f_{T,clt,k}$$



R. Jöbstl | TU Graz, 2008

B. Hirschmann | TU Graz, 2010 (laufend)

$$f_{v,clt,k} \rightarrow \sim 10 \text{ N/mm}^2$$

in Diskussion

$$f_{v,clt,k} \leq 5,2 \text{ N/mm}^2$$

gegenwärtig in Zulassungen (konservativ)

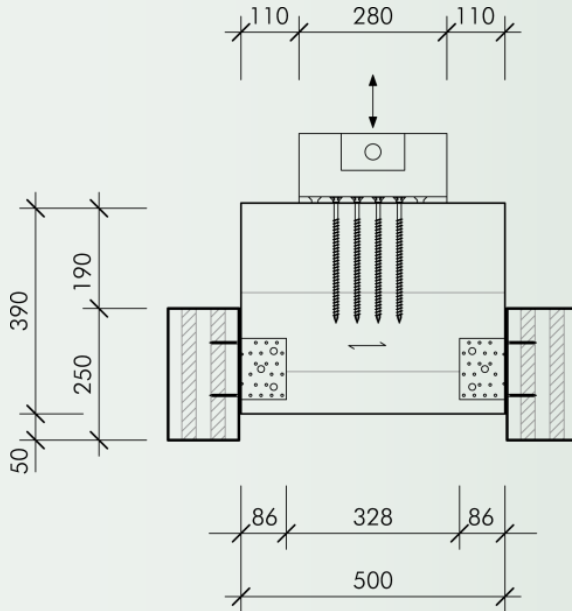
G. Jeitler | TU Graz, 2003

$$f_{T,clt,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

bestätigt und in Zulassungen verankert

Eignung der Holz-Massivbauweise in BSP | CLT für Erdbebenregionen

- Erdbebennormung in Europa und deren Anwendung auf Wohnbauten in Holz-Massivbauweise (abgeschlossen)
 - wesentliche Erkenntnisse betreffend Berechnungsverfahren
 - Ergänzung BSPHandbuch
- Außergewöhnliche Einwirkungen ‘Erdbeben’ – Überlegungen zur versuchstechnischen Erfassung der Verbindungstechnik im Holz-Massivbau (laufend)



Ziel: Ergänzung nat. und intern. BSP | CLT-Zulassungen hinsichtlich dyn. Beanspruchbarkeit der Holz-Massivbauweise in BSP | CLT.

Prozessoptimierung für BSP | CLT-Produktionslinien

Kooperationspartner: MINDA Industrieanlagen, JOWAT AG



Versuchsanlage und Laborpresse an der TU Graz zur Herstellung von Prüfplatten

- Ziel 1: Ermittlung des Einflusses der Pressdruck-Klebstoff-Interaktion auf die BSP | CLT-Eigenschaften [Variation Pressdruck | Klebstoffmenge]
- Ziel 2: 'multipress'-Anlage zur Herstellung von stab- UND flächenförmigen Produkten unter Heranziehung einschnitt- und querschnittsoptimierter Brettware (patentiertes Verfahren)

Headquarter MM holding | Leoben / Steiermark / A



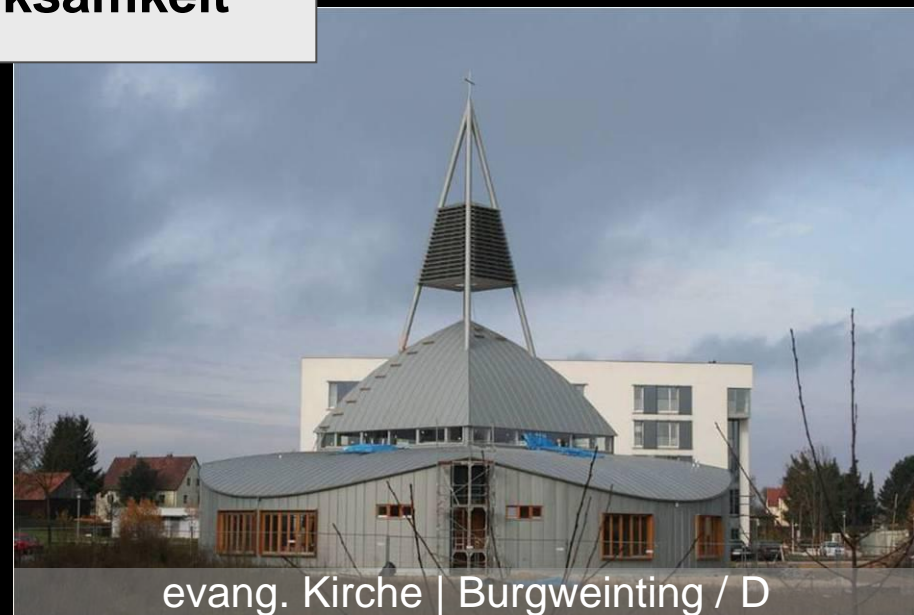
Headquarter Binder | Fügen / Tirol / A



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**



Kindergarten | Leoben / Steiermark / A



evang. Kirche | Burgweinting / D

Kontakt:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer

Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz | AT
Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh Graz | AT

Inffeldgasse 24/I
A-8010 Graz

gerhard.schickhofer@tugraz.at
tel.: +43 316 873 4600

www.lignum.at
www.holzbauforschung.at
www.clt designer.at