

  
Karlsruher Institut für Technologie

## Fachwerkträger für den industriellen Holzbau

Karlsruher Tage 2012 – Holzbau: Forschung für die Praxis

Markus Enders-Comberg

Holzbau und Baukonstruktionen



KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

## Fachwerkträger für den industriellen Holzbau

  
Karlsruher Institut für Technologie

Ein Fachwerk ist ein Tragsystem aus mehreren Stäben, die durch Gelenke an den Stabenden miteinander verbunden sind.



2 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen

**Fachwerkträger für den industriellen Holzbau**

Druckgurt  
Druckdiagonale

Zugdiagonale  
Zuggurt

Zug  
Druck

3 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen

**Fachwerkträger für den industriellen Holzbau**

Offene Fragestellungen:

- Wahl der (Holz-) Werkstoffe
- Wahl der Verbindungsmittel
- Dimensionierung
- Bemessung des Fachwerks

4 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen




## Fachwerkträger für den industriellen Holzbau

Bisherige Fachwerkträgerlösungen

- Nagelplatten
- Stabdübel
- Greimbauweise
- Eingeklebte Gewindestangen
- Verbindungen mit Vollgewindeschrauben
- Dübel besonderer Bauart
- BVD-Ankerdübel
- Induo-Anker
- ...


5 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Fachwerkträger für den industriellen Holzbau

Beispielfachwerkträger:

- Gesamtlänge  
L = 10.000 mm
- Höhe  
H = 1.250 mm
- Zug- und Druckgurt  
h / b = 200 mm / 100 mm
- Zugdiagonale  
h / b = 128 mm / 71 mm
- Druckdiagonale  
h / b = 100 mm / 100 mm



6 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



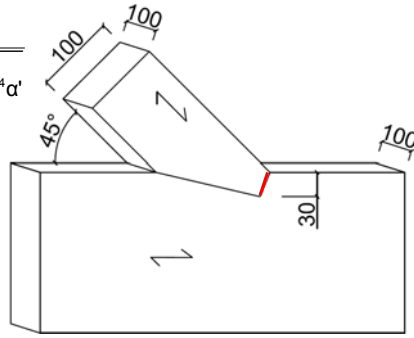
### Druckanschluss – Stirnversatz

Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:


- Bemessung nach EC 5, Kapitel NCI NA. 12.1
- Annahme: Stabilitätsversagen nicht maßgebend  
Ausreichend große Vorholzlänge

$$f_{c,\alpha',k} = \frac{f_{c,0,k}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,k}}{2 \cdot f_{c,90,k}} \sin^2 \alpha'\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,k}}{2 \cdot f_{v,k}} \sin \alpha' \cdot \cos \alpha'\right)^2 + \cos^4 \alpha'}}$$

$f_{c,22,5^\circ,k} = 12,6 \text{ N/mm}^2$

$$\rightarrow R_{s,k} = \frac{b \cdot t_v \cdot f_{c,22,5^\circ,k}}{\cos^2(22,5^\circ)} = 44,3 \text{ kN}$$


7 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen

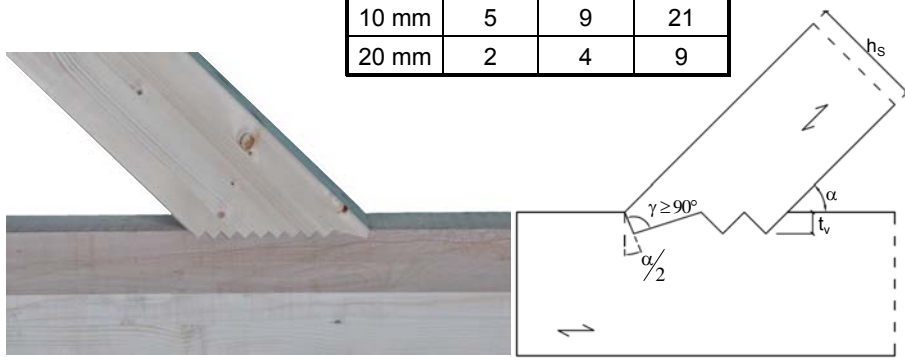


### Druckanschluss – Treppenversatz


Treppenversatz

- Maximale Fersenanzahl bei  $\alpha = 45^\circ$

$h_s \backslash t_v$	100 mm	160 mm	320 mm
5 mm	12	21	43
10 mm	5	9	21
20 mm	2	4	9



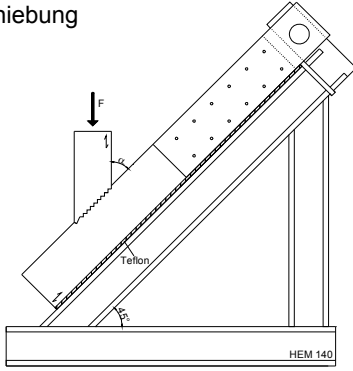

8 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen



## Druckanschluss – Versatz

Versuchsdurchführung

- DIN EN 26891
- Versagen bei Lastabfall oder 15 mm Verschiebung

9 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Druckanschluss – Versatz

Versuchsergebnis

- Stirnversatz
  - GL28h (Strebe:  $b / h = 120 / 160$  mm)
  - $\alpha = 45^\circ$
  - $t_v = 30$  mm
  - Lokales Ausknicken
  - $F_{\text{mean}} = 128$  kN




10 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Druckanschluss – Versatz

Versuchsergebnis

- Doppelter Versatz
  - GL28h (Strebe:  $b / h = 120 / 160$  mm)
  - $\alpha = 45^\circ$
  - $t_v = 30$  mm
  - $F_{\text{mean}} = 209$  kN




11 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



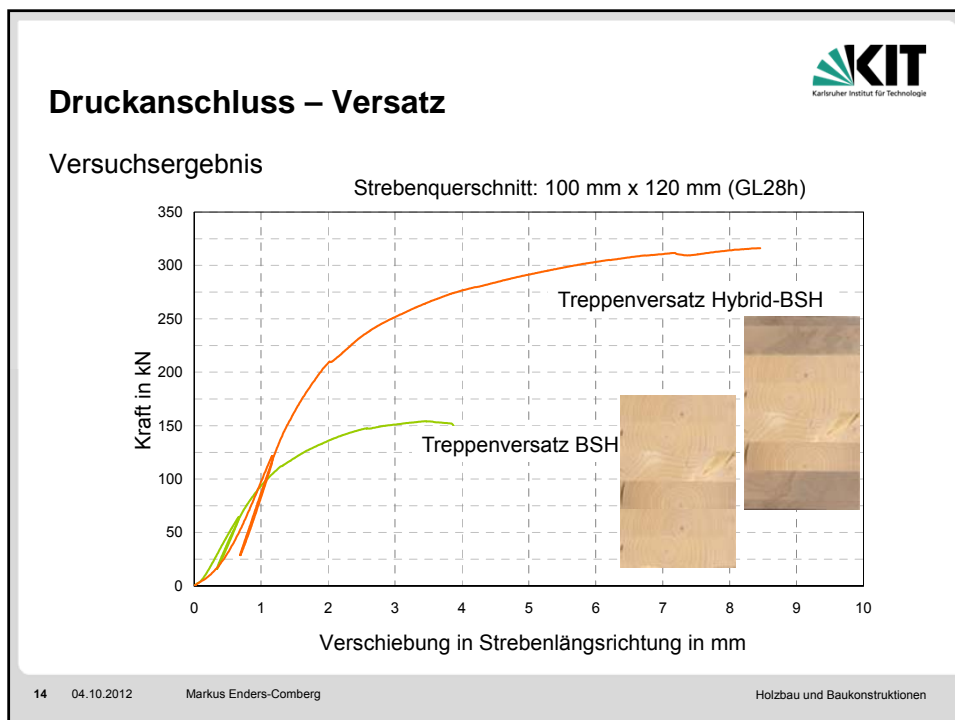
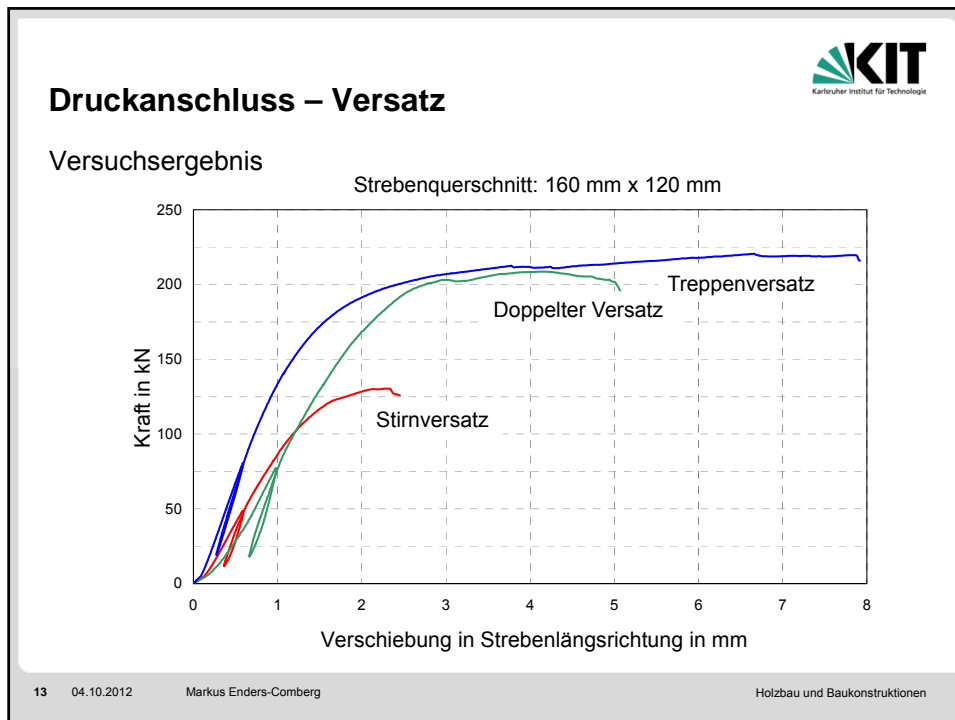
## Druckanschluss – Versatz


Versuchsergebnis

- Treppenversatz
  - GL28h (Strebe:  $b / h = 120 / 160$  mm)
  - $\alpha = 45^\circ$
  - $t_v = 10$  mm
  - Querdruckversagen
  - $F_{\text{mean}} = 216$  kN



12 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen





## Druckanschluss – Treppenversatz

Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:

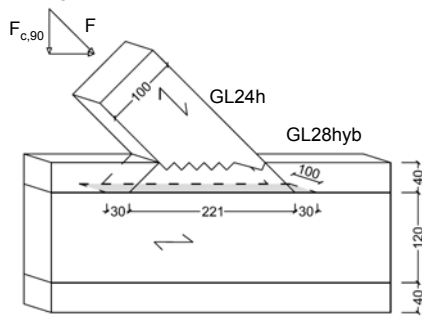
- Bemessung wie Querdruknachweis für Anschlüsse  $\geq 45^\circ$
- Annahme:
  - Versagen der NH-Lamelle unterhalb der Buchenholzlamelle
  - Lastausbreitungswinkel  $45^\circ$
  - Biege widerstand der Buchenlamelle bleibt unberücksichtigt
  - Ausreichend große Vorholzlänge

$A = 100 \cdot (2 \cdot 30 + 221) = 28100 \text{ mm}^2$

$$\frac{R_{c,90,k}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \cdot A} = 1$$

$\rightarrow R_{c,90,k} = 1,0 \cdot 2,7 \cdot 28100 = 75,9 \text{ kN}$

$\rightarrow R_k = \sqrt{2} \cdot R_{c,90,k} = 107 \text{ kN}$



15    04.10.2012    Markus Enders-Comberg    Holzbau und Baukonstruktionen



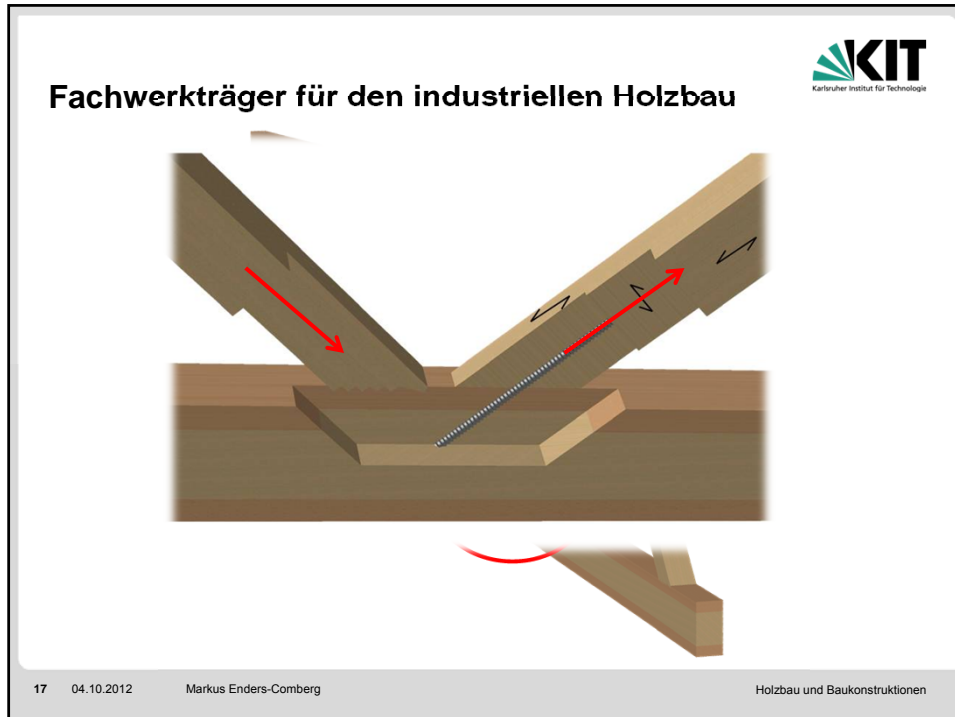

## Druckanschluss – Versätze

Zusammenfassung

- Tragfähig
- Geringe Schwächung
- Buche – Doppelte Tragfähigkeit
- Querdruknachweis

16    04.10.2012    Markus Enders-Comberg    Holzbau und Baukonstruktionen



**Zuganschluss – Stahlblech-Holz-Verbindung**

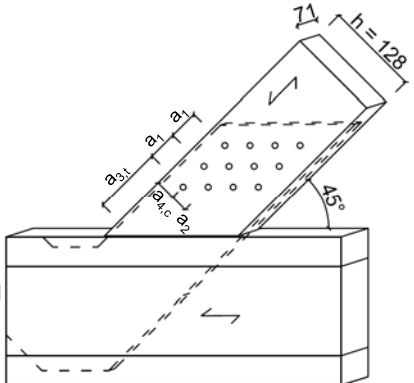
Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:

- Bemessung nach EC 5
- Annahme: Verbindung im Gurt nicht maßgebend  
Stahlblechdicke  $t = 7$  mm  
Stabdübel  $\varnothing 8$  mm; S235  
BSH GL24h


$a_1 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot 8 = 40$  mm  
 $f_{a_3,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 28,7$  N / mm<sup>2</sup>  
 $M_{y,k} = 30 \beta = f_{a_3,k} \cdot d^2 = 24069$  Nmm  
 $a_{4,c} = 3 \cdot d = 24$  mm  
 (f):  $R_k = 28,7 \cdot 32 \cdot 8 = 7,35$  kN

(g):  $R_k = \min \left[ 28,7 \cdot 32 \cdot 8 \cdot \sqrt{\frac{a_1 \cdot d}{13 \cdot t}} - 1; \frac{4 \cdot 24069}{28,7 \cdot 8 \cdot 32^2} - 1 \right] = 4,06$  kN

(h):  $R_k = 2,3 \cdot \sqrt{24069 \cdot 28,7 \cdot 8} = 5,41$  kN  
 $R_k = 2 \cdot 4 \cdot 2,12 \cdot 4,06 = 68,8$  kN



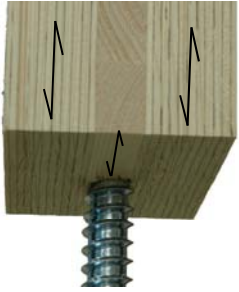
18 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen



## Zuganschluss – Gewindestange in BSP

Allgemeines

- Axial beanspruchte Holzschrauben können hohe Kräfte übertragen
- Steife Verbindung (Blaß, Bejtka und Uibel 2006)
- Unbekanntes Langzeitverhalten bei  $\alpha = 0^\circ$   
→ Schrauben werden unter  $90^\circ$  zur Faser eingebracht
- Ausziehtragfähigkeit von rechtwinklig zur Faserrichtung eingedrehten Schrauben in BSP entspricht der Tragfähigkeit von VH bzw. BSH (Blaß und Uibel 2007)
- Längslagen von BSP stehen zur Übertragung der Normalkräfte zur Verfügung



19 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



## Zuganschluss – Gewindestange in BSP

- Versagen der Verbindung:
  - Stahlversagen
  - Scherversagen in der Mantelfläche des Schraubengewindes
  - Rollschubversagen



20 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



## Zuganschluss – Gewindestange in BSP





21 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Zuganschluss – Gewindestange in BSP

Anzahl	d	ℓ <sub>ef</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1,c</sub>	f <sub>1,k</sub> <sup>1)</sup>	f <sub>1,mean</sub>
						

<sup>1)</sup> Auswertung nach DIN EN 14358

<sup>2)</sup> Stahlversagen

22 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Zuganschluss – Gewindestange in BSP

Zusammenfassung:

- Geeignet
- Stahlversagen
- Querlagendicke  $\geq$  Gewindeaußendurchmesser
- Querzugverstärkung
- Klebefuge

23 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



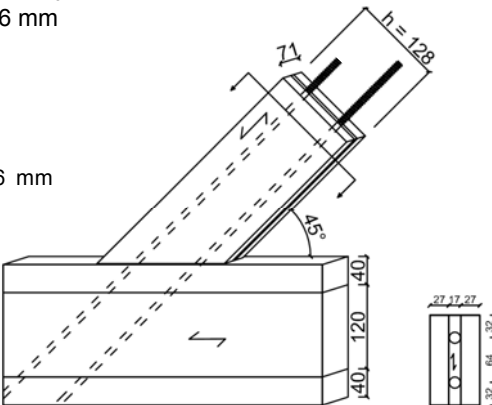
## Zuganschluss – Gewindestange in BSP

Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:


- Bemessung nach EC 5 und abZ Z-9.1-777
- Annahme:     Einschraubtiefe im BSP  $\ell_{ef} = 500$  mm  
                  Gewindestange  $\varnothing 16$  mm  
                  BSP (27 – 17 – 27)
- Ausziehtragfähigkeit:
 
$$f_{t,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 10,1 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ax,k} = f_{t,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} \text{ für } \alpha = 90^\circ \text{ und } d = 16 \text{ mm}$$

$$R_{ax,k} = 10,1 \cdot 16 \cdot 500 = 80,8 \text{ kN}$$
 wirksame Anzahl  $n_{ef} = n^{0,9} = 1,87$   
 $\rightarrow R_{ax,k,ges} = 1,87 \cdot 80,8 = 151 \text{ kN}$
- Zugtragfähigkeit Längslage:
 
$$R_{t,k} = A \cdot f_{t,k} = (128 \cdot 2 \cdot 27) \cdot 16,5 = 114 \text{ kN}$$



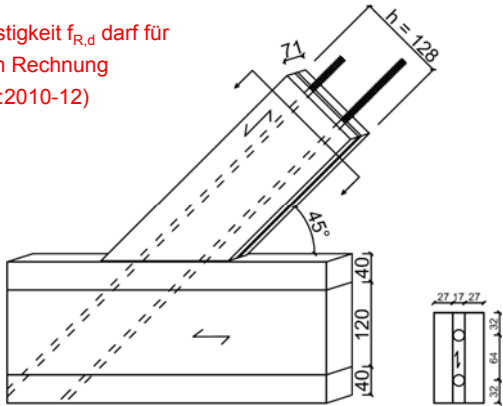
24 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Zuganschluss – Gewindestange in BSP

Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:

- Rollschubtragfähigkeit:
 
$$R_{R,k} = A \cdot f_{R,k} = (2 \cdot 128 \cdot 500) \cdot 1,0 = 128 \text{ kN}$$
- „Der Bemessungswert der Rollschubfestigkeit  $f_{R,d}$  darf für alle Festigkeitsklassen mit  $1,0 \text{ N/mm}^2$  in Rechnung gestellt werden.“ (DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12)
- Zugtragfähigkeit Gewindestangen:
 
$$R_{t,u,k} = 2 \cdot 91,5 = 183 \text{ kN}$$



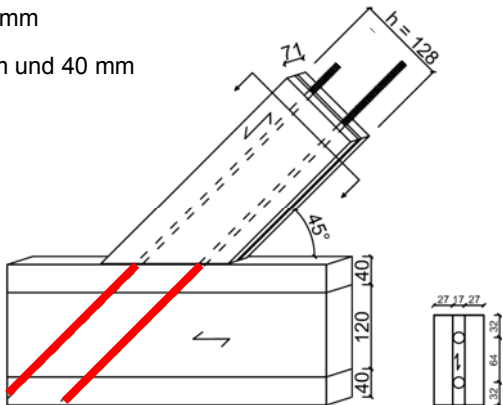
25 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen



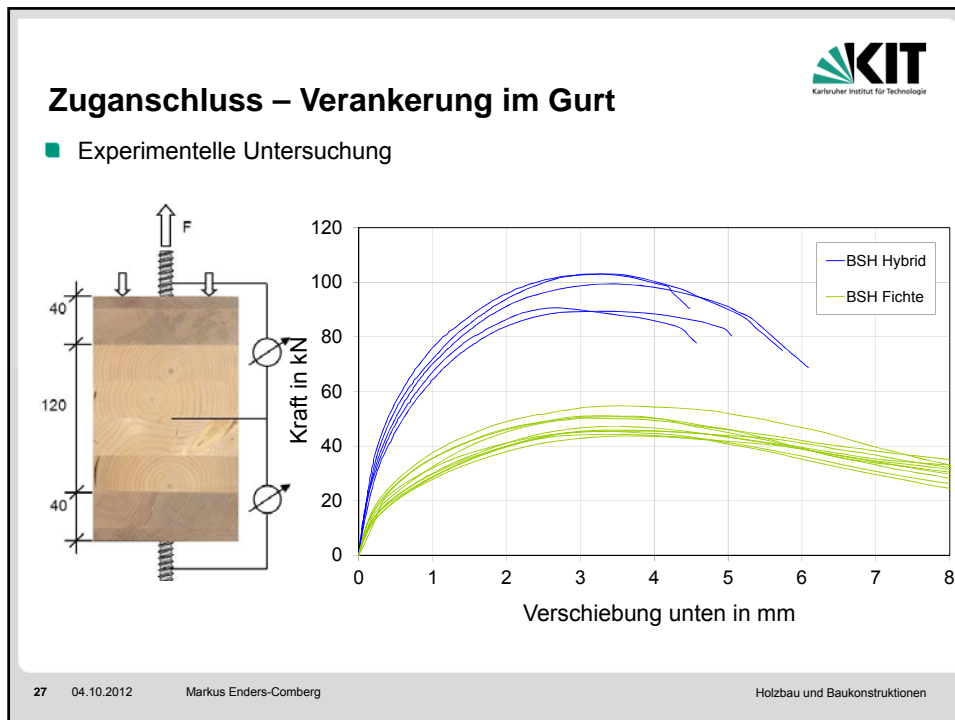
## Zuganschluss – Verankerung im Gurt

Unbekannte Ausziehtragfähigkeit von Gewindestangen in Hybrid-BSH

- Experimentelle Untersuchung mit Hybrid-BSH, Fichte-BSH und Buchenlamellen
- Durchmesser:  $\varnothing 16 \text{ mm}$  und  $\varnothing 20 \text{ mm}$
- Einschraubtiefen: 200 mm, 120 mm und 40 mm
- Kraft-Faser-Winkel:  $90^\circ$



26 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen




### Zuganschluss – Verankerung im Gurt

■ Experimentelle Untersuchung

Material	d in mm	$l_s$ in mm	$f_1$ in N/mm <sup>2</sup>	Anzahl
Hybrid	16	200	$\bar{x} = 23,6$	5
	20	200	$\bar{x} = 24,3$	5
Buche	16	40	$\bar{x} = 35,7$	10
	20	40	$\bar{x} = 26,1$	7
Fichte	16	120	$\bar{x} = 13,4$	5
	20	120	$\bar{x} = 18,7$	3

28 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen



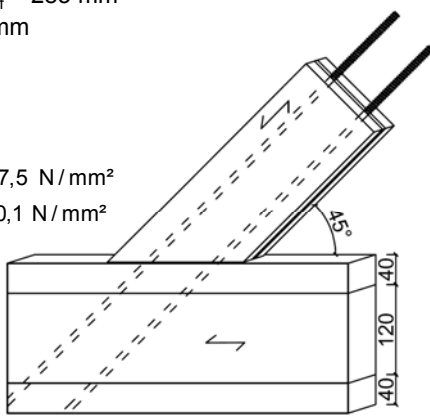
## Zuganschluss – Verankerung im Gurt

Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:

- Bemessung nach abZ Z-9.1-777
- Annahme:     Einschraubtiefe im Gurt  $\ell_{ef} = 283 \text{ mm}$   
                  2 Gewindestangen  $\varnothing 16 \text{ mm}$   
                  GL28hyb (40-120-40)
- Ausziehtragfähigkeit:
 
$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$
 Buche: Annahme  $\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3 \rightarrow f_{1,k} = 17,5 \text{ N/mm}^2$   
 Fichte: Annahme  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \rightarrow f_{1,k} = 10,1 \text{ N/mm}^2$

$$R_{ax,k} = f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} = d \cdot (f_{1,k,Bu} \cdot \ell_{Bu} + f_{1,k,Fi} \cdot \ell_{Fi})$$

$$R_{ax,k} = 59,1 \text{ kN}$$

$$R_{ax,k,ges} = 2 \cdot 59,1 = 118 \text{ kN}$$


29    04.10.2012    Markus Enders-Comberg    Holzbau und Baukonstruktionen




## Fachwerkträgergurt – Druckgurt

DIN 1052, EC 5

- „Querschnittsschwächungen sind beim Tragfähigkeitsnachweis der Bauteile zu berücksichtigen.“
- „Folgende Querschnittsschwächungen dürfen vernachlässigt werden:  
Querschnittsschwächungen in der Druckzone von Bauteilen, wenn diese Querschnittsschwächungen mit einem Baustoff größerer Steifigkeit als die des Holzes ausgefüllt werden.“



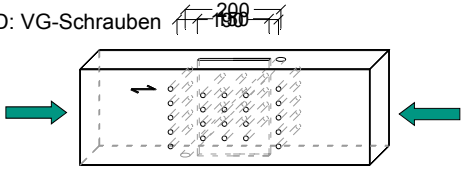
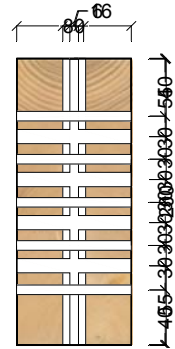
30    04.10.2012    Markus Enders-Comberg    Holzbau und Baukonstruktionen




### Fachwerkträgergurt – Druckgurt

Druckversuche:

- Anzahl: 250 Versuche
- Bauteilabmessung: 480 mm / 80 mm / 200 mm
- Querschnittstypen:
  - Typ A: Ungeschwächt
  - Typ B: Gewindestange
  - Typ C: Stabdübel
  - Typ D: VG-Schrauben



31 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



### Fachwerkträgergurt – Druckgurt

Druckversuche:

- A: Ungeschwächt

$$\frac{A_{\text{Netto}}}{A_{\text{Brutto}}} = 1,0$$

32 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen





## Fachwerkträgergurt – Druckgurt

Druckversuche:


- B: Gewindestange





$$\frac{A_{\text{Netto}}}{A_{\text{Brutto}}} = 0,8$$


33 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen

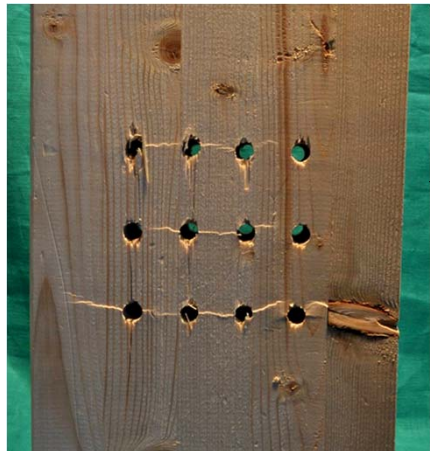


## Fachwerkträgergurt – Druckgurt

Druckversuche:


- C: Stabdübel





$$\frac{A_{\text{Netto}}}{A_{\text{Brutto}}} = 0,71$$


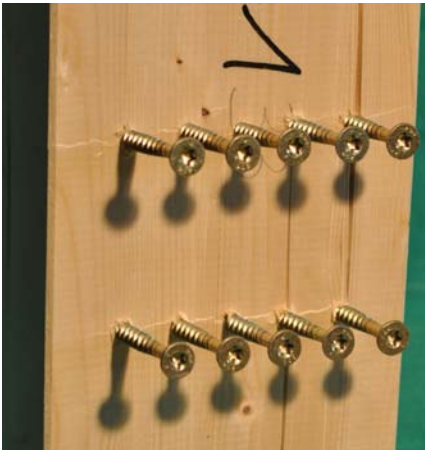
34 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



## Fachwerkträgergurt – Druckgurt


Druckversuche:

- D: VG-Schrauben

$$\frac{A_{\text{Netto}}}{A_{\text{Brutto}}} = 0,85$$

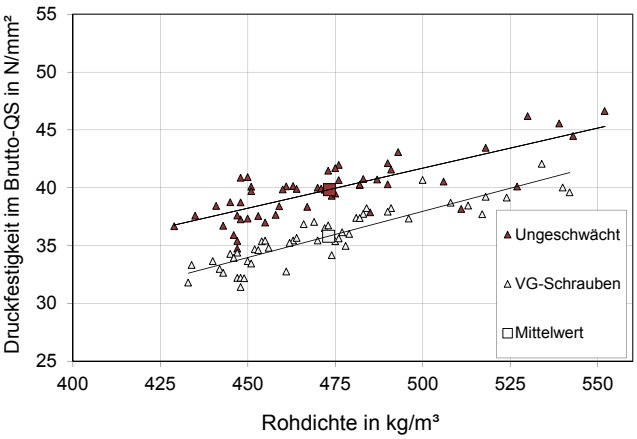
35 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



## Fachwerkträgergurt – Druckgurt


Druckversuche:

- Ergebnisse:



Rohdichte in kg/m³	Druckfestigkeit im Brutto-QS in N/mm² (Ungeschwächt)	Druckfestigkeit im Brutto-QS in N/mm² (VG-Schrauben)
425	37	32
450	39	34
475	40	35
500	41	36
525	42	37
550	43	38

36 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen




## Fachwerkträgergurt – Druckgurt

Druckversuche:

- Ergebnisse:

Typ	$f_{c,brutto}$ in N/mm <sup>2</sup>	$A_{netto}/A_{brutto}$	$f_{c,brutto,X}/f_{c,brutto,A}$
A1 Ungeschwächt	42,1	1,0	1,0
B Gewindestange	33,3	0,8	0,79
C Stabdübel	31,1	0,71	0,74
A2 Ungeschwächt	39,8	1,0	1,0
D VG-Schrauben	35,8	0,85	0,90

37 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



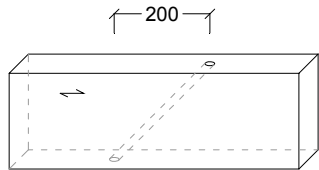

## Fachwerkträgergurt – Druckgurt

Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit:

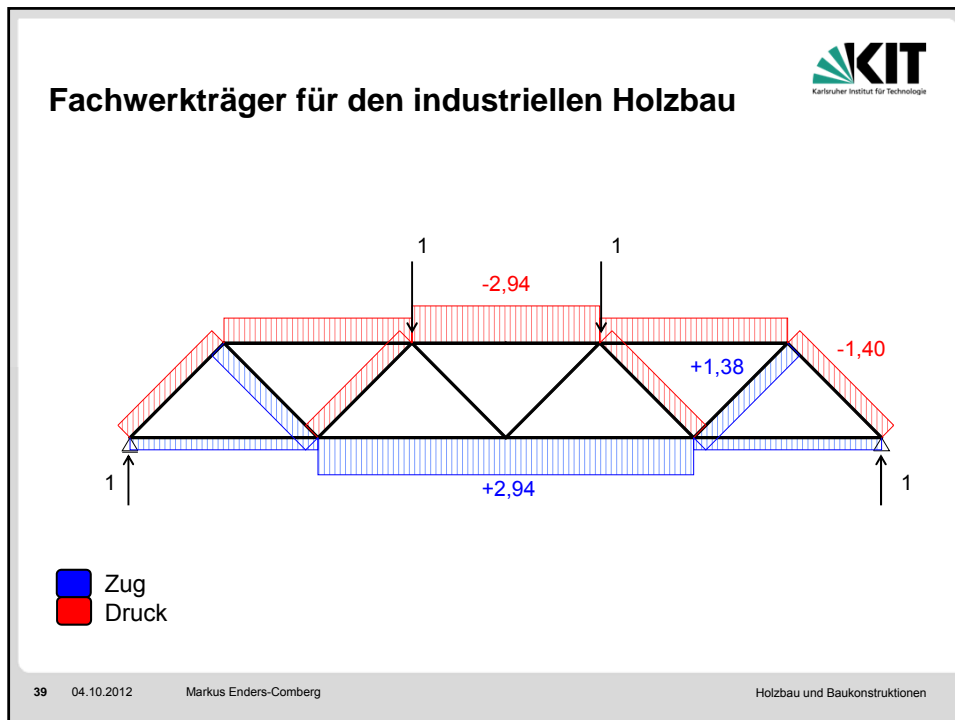
- Bemessung nach EC 5 bzw. DIN 1052 unter Berücksichtigung der Schwächungen
- Annahme:  $\varnothing$  13 mm Bohrung für Gewindestange  
GL28hyb; H / B = 200 mm / 100 mm
- Druck parallel zur Faser:

$$R_{c,0,k} = A_{Netto} \cdot f_{c,0,k} = 200 \cdot (100 - 13) \cdot 24 = 417,6 \text{ kN}$$

$$R_{c,0,k} = A_{Brutto} \cdot f_{c,0,k} = 200 \cdot 100 \cdot 24 = 480 \text{ kN}$$

38 04.10.2012 Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen



### Fachwerkträger für den industriellen Holzbau

Bauteil		$R_{k,V}$	$R_{k,E}$	$R_{k,neu}/R_{k,alt}$
Druckdiagonale	<i>Stirnversatz</i>	44,3	2x31,6	2,4
	<b>Treppenversatz</b>	<b>107</b>	<b>2x76,6</b>	
	<i>Stahlblech-Holz</i>	68,8	2x49,3	
Zugdiagonale	<b>Gewindestange in BSP</b>	<b>114</b>	<b>2x82,0</b>	1,7
	Verankerung	118	2x85,3	
Gurt	<i>Druckgurt <math>A_{brutto}</math></i>	480	2x163	0,87
	<b>Druckgurt <math>A_{Netto}</math></b>	<b>418</b>	<b>2x142</b>	
	Zuggurt $A_{Netto}$	273	2x92,9	

40 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen

**Fachwerkträger für den industriellen Holzbau**

Prüfung eines Fachwerkträgers

- Gelenkige Auflager
- Zwei Kraftkolben zur Lasteinleitung
- Ausgesteifter Träger



41 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen

**Fachwerkträger für den industriellen Holzbau**

Prüfung eines Fachwerkträgers

- Versagen des Trägers bei 2 x 83 kN



42 04.10.2012 Markus Enders-Comberg Holzbau und Baukonstruktionen