



Reihe Praxis und Theorie
Zimmerer und Ingenieure

Nr. 14 am 10. April 2012
Druckstöße mit mechanischen Verbindungsmitteln



Für die gute konstruktive Zusammenarbeit und Ihre Begeisterung für die dreizehnte Reihe Praxis und Theorie möchten wir uns herzlich bedanken.

Wir wünschen Ihnen für Ihre berufliche Zukunft alles Gute und das nötige Glück und hoffen, dass Sie mit Holz auch weiterhin viel Erfolg haben.

Kurt Schwaner

Thomas Rothfuß

Am 10. April 2012 veranstaltete die Hochschule Biberach und das Zimmerer-Ausbildungszentrum Biberach ihren mittlerweile dreizehnten gemeinsamen Projekttag. Bauingenieurstudenten im 6. und 7. Semester, also kurz vor Ende ihres Studiums, und die Poliere des Frühjahrskurses 2012 trafen sich vormittags in der Werkstatt des Kompetenz-Zentrums, um in kleinen Gruppen Verbindungen im Ingenieurholzbau mit den üblichen mechanischen Verbindungsmitteln herzustellen. Diese Verbindungen wurden anschließend im Baustoffprüflabor der Hochschule getestet und bis zum Bruch belastet. Die theoretisch ausgebildeten Studenten konnten praktisch erfahren, wie Holzbauverbindungen handwerklich hergestellt werden. Die aus der Praxis kommenden Poliere haben zum ersten Mal erlebt, wie ihre eigenen Verbindungen zu Bruch gefahren wurden und welche Ursachen und Verformungen hierbei eine Rolle spielen.

Dipl.-Ing. Thomas Rothfuß, Leiter des Zimmerer-Ausbildungs-Zentrums Biberach ZAZ und Prof. Kurt Schwaner, Leiter des Instituts für Holzbau an der HBC, hatten 1998 vereinbart, gemeinsame Veranstaltungen von Studenten und Auszubildenden durchzuführen, um die Zusammenarbeit zwischen ihren Organisationen zu intensivieren. Bisher fand die Veranstaltung bei den beteiligten Polieren und Ingenieuren stets guten Anklang. Sie war für alle Beteiligten eine gute Erfahrung im Hinblick auf deren späteren beruflichen Werdegang. Die Studenten, allesamt mit dem Vertieferschwerpunkt Holzbau, waren mit der zugehörigen Theorie der mechanischen Verbindungen bereits vertraut und hatten schon einige Beispiele gerechnet.

Im Rahmen von Übungen hatten die Studenten 8 verschiedene Verbindungen entwickelt, die zwischen ca. 110 kN und ca. 150 kN Anschlusskraft aufnehmen sollten. Dabei wurden die Querschnitte, die Abstände der Verbindungsmittel untereinander und die Randabstände optimiert und die kleinsten erforderlichen Anschlußflächen ermittelt. Den Möglichkeiten der Prüfmaschine entsprechend wurden die zangenförmigen Verbindungen auf Druckbelastung ausgelegt.

Um die Gebrauchstauglichkeit noch zu verbessern wurden zusätzliche Exponate mit Doppelgewindeschrauben hergestellt.

Diese Quersugsicherung konnte als sehr effektive Maßnahme beurteilt werden.

Um die unterschiedlichen Versagensarten demonstrieren zu können, wurden die Durchmesser der einzelnen Verbindungsmittel vorher festgelegt. Bei rechnerisch gleicher Belastung sollten von jedem Typ viele, dünne mit wenigen, dicken miteinander verglichen werden: Einfräsdübel 12 Ø 65-A und 6 Ø 126-A, Stabdübel 32 Ø 10mm und 7 Ø 24mm, nicht vorgebohrte Nägel 128 Ø 5,5mm und 33 Ø 7,6mm und vorgebohrte Nägel 96 Ø 5,5 und 25 Ø 7,6mm. Für die Mittelhölzer ergaben Querschnitte von $b/h=12/16\text{cm}$ und für die Seitenhölzer $b/h=6/16\text{cm}$ bis $8/16\text{cm}$. Das Holz und die Verbindungsmittel wurden freundlicherweise vom ZAZ zur Verfügung gestellt.

Sowohl die "Theoretiker" als auch die "Praktiker" staunten nicht schlecht, wieviel Fragen im Detail noch offen waren, als es dann vormittags an die Herstellung der Proben ging. Wie genau sollten die Bohrpunkte aufgerissen werden? Mit welchem Bohrdurchmesser muß vorgebohrt werden und wie tief? Welche Verbindungen sind allein aus Herstellungsgründen eher nicht für Sichtqualität geeignet?

Studierende und Poliere sollten beim Zusammenbau das Holz ihrer Verbindung in Augenschein nehmen und z.B. Wuchsunregelmäßigkeiten feststellen und diese dokumentieren, um später evtl. Bruchursachen erläutern zu können. Ferner sollten Schätzungen der Bruchlast und der Belastung, die eine Verschiebung von 1,5mm verursacht, abgegeben werden.

Zimmermeister Rolf Willimowski, Ausbilder am ZAZ, betreute die Herstellung der Proben. Ihm ist es zu verdanken, daß der praktische Teil ohne größeres Blutvergießen und ohne Verwüstung der Werkstatt abgeschlossen werden konnte. Zur Stärkung gab es dann erst einmal Kaffee, begleitet von Austausch und Fachsimpelien zwischen zukünftigen Partnern am Bau.

Die Prüfung der Probekörper erfolgte unmittelbar anschließend im Baustofflabor der Hochschule. Die Prüfmeister Herr Romer und Herr Vogel begrüßten auch im Namen des Leiters der Prüfstelle Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Wohlfahrt die Poliere und Studenten und erläuterte das weitere Vorgehen. Insbesondere machten sie die Teilnehmer und Teilnehmerinnen mit dem Ablauf der Druckprüfung vertraut.

Zur Feststellung der Last bei der gegenseitigen Verschiebung von Mittel- und Seitenholz um 1,5mm wurden auf beiden Seiten der Probe durchgehende Bleistiftstriche angebracht und die Verschiebung der Fugen während der Belastung mit Lupen beo-

bachtet. Zwei „Hersteller“ aus jeder Gruppe mußten ihre Messungen selber durchführen. Im Rahmen der Genauigkeit der Prüfung war es dann auch nicht so schlimm, wenn vor lauter Spannung eine Ablesung vergessen wurde - es gab ja einen Partner, der Bescheid gab, wenn auf seiner Seite die Verschiebung die 1,5mm-Grenze erreicht hat. Das allgemeine Erstaunen war dann doch recht groß, als man das Bruchversagen beobachten und die tatsächliche Bruchlast auf der Prüfmaschine ablesen konnte. Während des Versuches waren auch die verschiedenen Einflußfaktoren wie Äste, Schrägfasrigkeit, Holzrisse usw. gut zu erkennen. Die einzelnen Versuche wurden eingehend gemeinsam diskutiert und zum Schluß wurden alle Proben gegenübergestellt, um das Trag- und Verformungsverhalten der verschiedenen Verbindungsmittel und der unterschiedlichen Durchmesser vergleichen zu können.

Sowohl Studenten als auch Poliere haben sich übereinstimmend positiv zu diesem Experiment geäußert. Durch diese praktischen Versuche sei ein echtes, tieferes Verständnis der Holzverbindungen entstanden. Für die meisten war es das erste Mal, daß sie den Bruch einer Holzverbindung erlebt haben, obwohl viele von ihnen schon seit Jahren solche Bauteile in der Praxis herstellen. Die Bauingenieur-Studenten haben die Umsetzung der Theorie, der Rechenverfahren und der Normen in die Baupraxis erleben können und wie ihre zukünftigen Planungen im Büro auch von der Ausführung auf der Baustelle bestimmt werden.

Das Zusammenführen von Praxis und Theorie, die Zusammenarbeit von Hochschule und Ausbildungszentrum ist am konkreten Beispiel hervorragend gelungen und soll weiterhin fester Bestandteil in der jeweiligen Ausbildung werden.

Die Hochschule Biberach als der Bau-Spezialist wird in Zukunft auch neue Wege gehen, die Praxis in die Lehre einzubinden und den Studierenden ein noch besser auf ihre zukünftigen Tätigkeitsbereiche abgestimmtes Lehrangebot zu bieten.

Kurt Schwaner

Beim Vergleich der Versuchsergebnisse mit den berechneten charakteristischen Werten ist zu beachten, dass die nach Norm berechneten Tragfähigkeiten Sicherheiten beinhalten. Es war daher durchaus zu erwarten, dass die gemessenen Tragfähigkeiten über den berechneten Werten liegen.

Lösung zum Versuch 1:

Mindestabstände:

$$a_{||} = 130 \text{ mm}$$

$$a_{\perp} = 78 \text{ mm}$$

$$a_{||u} = 78 \text{ mm}$$

$$a_{\perp u} = 39 \text{ mm}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$K_{LED} = \text{kurz}; \quad NKL = 1; \quad k_{mod} = 0,9$$

Aus Colling oder Schneider Tabelle:

$$t_{1,req} = 45 \text{ mm} < 60 \text{ mm}$$

$$t_{2,req} = 75 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

⇒ keine Abminderung

$$R_{C,0,k} = 18,34 \text{ kN}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

$$n_{h,ef} = 2,0 \quad (\text{aus Tabelle Colling})$$

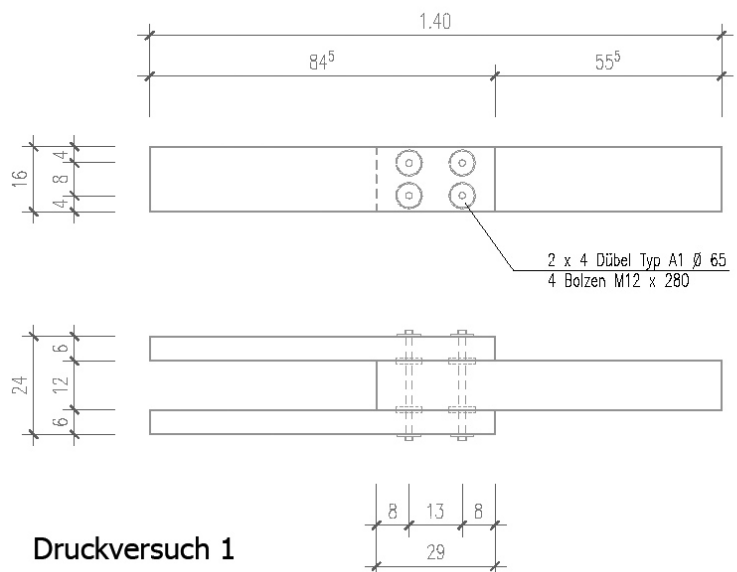
$$n_{ef} = 2 * 2 = 4$$

$$R_k = 18,34 * 4 * 2 = \mathbf{146 \text{ kN}}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 116 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 194 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 153 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 206 \text{ kN}$



Druckversuch 1

Lösung zum Versuch 2:

Mindestabstände:

$$\begin{aligned} a_{||} &= 252 \text{ mm} \\ a_{\perp} &= 151,2 \text{ mm} \\ a_{||u} &= 151,2 \text{ mm} \\ a_{\perp u} &= 75,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$K_{LED} = \text{kurz}; \quad NKL = 1; \quad k_{mod} = 0,9$$

Aus Colling oder Schneider Tabelle:

$$\begin{aligned} t_{1,req} &= 45 \text{ mm} < 60 \text{ mm} \\ t_{2,req} &= 75 \text{ mm} < 120 \text{ mm} \\ &\Rightarrow \text{keine Abminderung} \end{aligned}$$

$$R_{C,0,k} = 49,50 \text{ kN}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

$$\begin{aligned} n_{h,ef} &= 2,85 \quad (\text{aus Tabelle Colling}) \\ n_{ef} &= 1 * 2,85 = 2,85 \end{aligned}$$

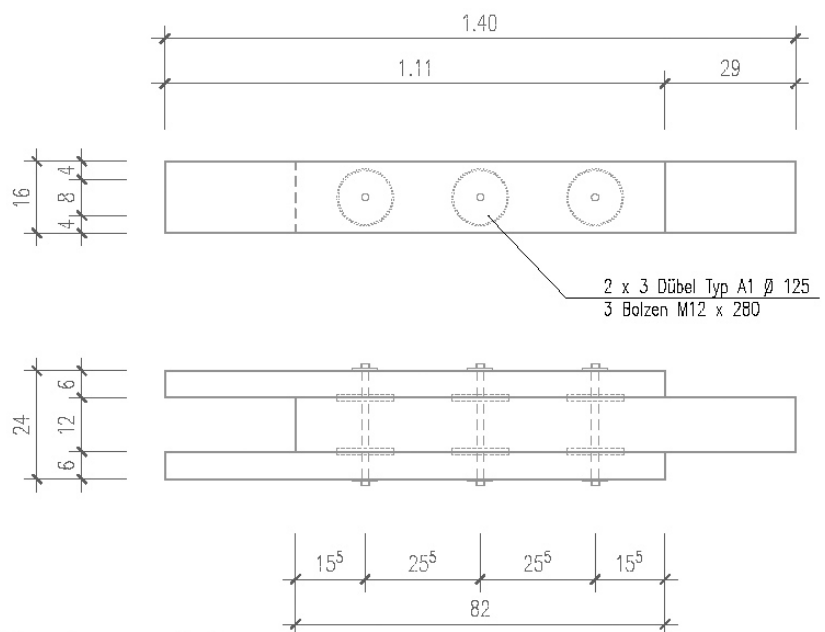
$$R_k = 49,50 * 2,85 * 2 = \mathbf{282 \text{ kN}}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 193 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 377 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 100 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 334 \text{ kN}$

Probe 3: $D_{1,5} = 281 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 416 \text{ kN}$



Druckversuch 2

Lösung zum Versuch 3:

Mindestabstände:

$$\begin{aligned} a_{||} &= 50 \text{ mm} \\ a_{\perp} &= 30 \text{ mm} \\ a_{||u} &= 30 \text{ mm} \\ a_{\perp u} &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$K_{LED} = \text{kurz}; \quad NKL = 1; \quad k_{mod} = 0,9$$

Aus Colling oder Schneider Tabelle:

$$\begin{aligned} t_{1,req} &= 51 \text{ mm} < 60 \text{ mm} \\ t_{2,req} &= 42 \text{ mm} < 120 \text{ mm} \\ &\Rightarrow \text{keine Abminderung} \end{aligned}$$

$$R_{C,0,k} = 4,71 \text{ kN}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9*4} \sqrt{\frac{a_{||}}{10*d}} \end{array} \right\}$$

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 5^{0,9*4} \sqrt{\frac{50}{10*10}} \end{array} \right\} = 3,58$$

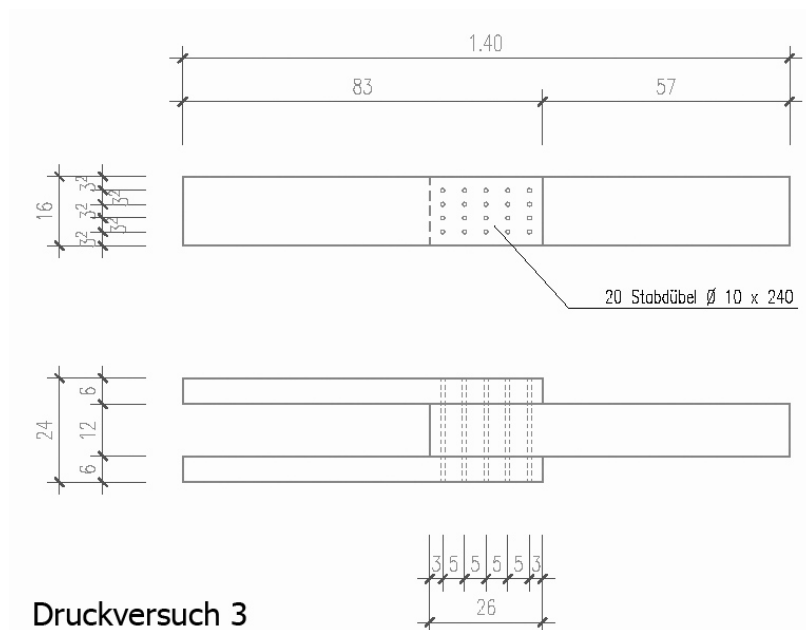
$$n_{ef} = 4 * 3,58 = 14,32$$

$$R_k = 4,71 * 14,32 * 2 = 134 \text{ kN}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 57 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 275 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 88 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 285 \text{ kN}$



Lösung zum Versuch 4:

Mindestabstände:

$$a_{II} = 120 \text{ mm}$$

$$a_{\perp} = 72 \text{ mm}$$

$$a_{II,u} = 72 \text{ mm}$$

$$a_{\perp,u} = 72 \text{ mm}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$K_{LED} = \text{kurz}; \quad NKL = 1; \quad k_{mod} = 0,9$$

Aus Colling oder Schneider Tabelle:

$$t_{1,req} = 112 \text{ mm} > 80 \text{ mm}$$

$$t_{2,req} = 92 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

⇒ Abminderung

$$R_{C,0,k} = 20,94 * 80/112 = 14,95 \text{ kN}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9 * 4} \sqrt{\frac{a_{II}}{10 * d}} \end{array} \right\}$$

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 7 \\ 7^{0,9 * 4} \sqrt{\frac{120}{10 * 24}} \end{array} \right\} = 4,845$$

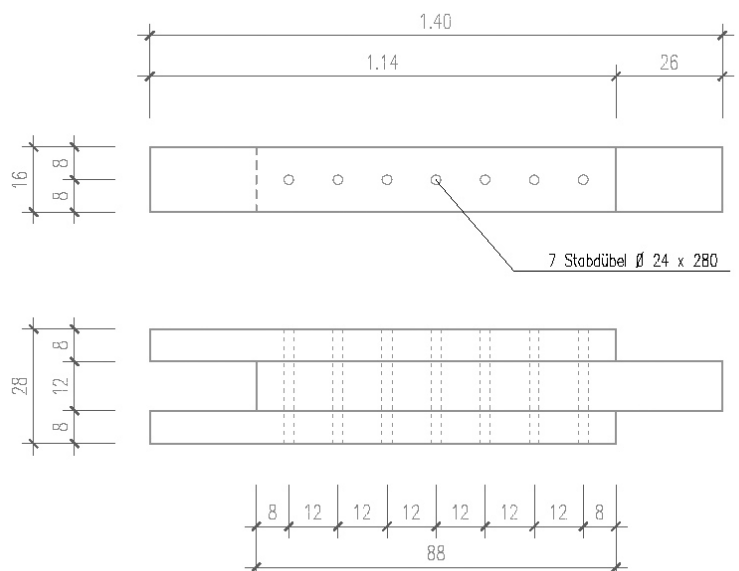
$$n_{ef} = 1 * 4,845 = 4,845$$

$$R_k = 14,95 * 4,845 * 2 = \mathbf{144 \text{ kN}}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 87 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 262 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 154 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 202 \text{ kN}$



Druckversuch 4

Lösung zum Versuch 5:

Mindestabstände:

$$\begin{aligned} a_{||} &= 60 \text{ mm} \\ a_{\perp} &= 25 \text{ mm} \\ a_{||u} &= 50 \text{ mm} \\ a_{\perp u} &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$K_{LED} = \text{kurz}; \quad NKL = 1; \quad k_{mod} = 0,9$$

Aus Colling oder Schneider Tabelle:

$$\begin{aligned} t_{req} &= 70 \text{ mm} < 80 \text{ mm} \\ t_{E,req} &= 45 \text{ mm} < 60 \text{ mm} \\ &\Rightarrow \text{keine Abminderung} \end{aligned}$$

$$R_{C,0,k} = 1,446 \text{ kN}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

\Rightarrow keine Abminderung

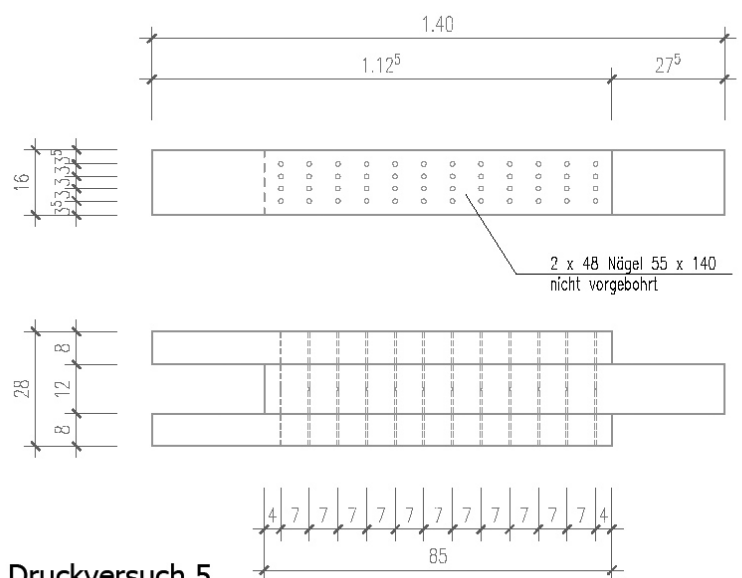
$$n_{ef} = 4 \cdot 12 = 48$$

$$R_k = 1,446 \cdot 48 \cdot 2 = \mathbf{138 \text{ kN}}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 150 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 324 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 150 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 304 \text{ kN}$



Lösung zum Versuch 6:

(alle Formeln aus Praxis Handbuch S.153ff)

Mindestabstände:

$$\begin{aligned} a_{||} &= 91 \text{ mm} \\ a_{\perp} &= 38 \text{ mm} \\ a_{||u} &= 76 \text{ mm} \\ a_{\perp u} &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$R_k = \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d}$$

$$f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3}$$

$$f_{h,k} = 0,082 * 350 * 7,6^{-0,3} = 15,618 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 * 600 * 7,6^{2,6} = 35106,5 \text{ N/mm}^2$$

$$R_k = \sqrt{2 * 35106,5 * 15,618 * 7,6} = 2,887 \text{ kN}$$

$$t_{\text{req}} = 14 * d = 14 * 7,6 = 106,4 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

$$t_{E,\text{req}} = 9 * d = 9 * 7,6 = 68,4 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$$

⇒ keine Abminderung

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9 * 4} \sqrt{\frac{a_{||}}{10 * d}} \end{array} \right\}$$

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10 \\ 10^{0,9 * 4} \sqrt{\frac{91}{10 * 7,6}} \end{array} \right\} = 8,309$$

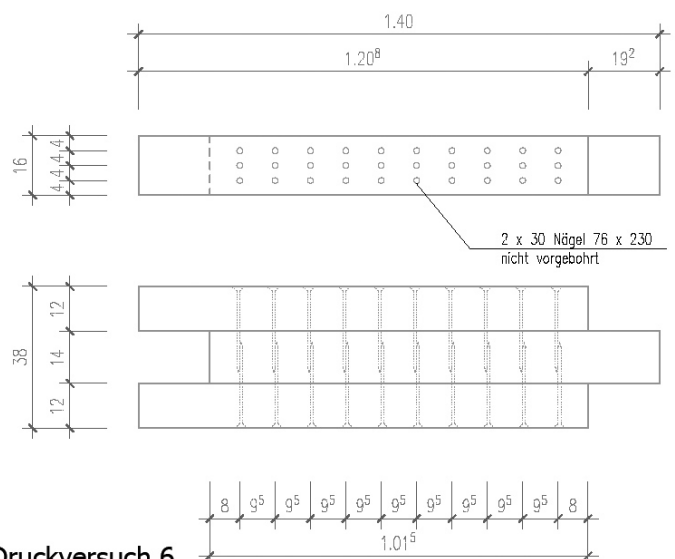
$$n_{ef} = 3 * 8,309 = 24,927$$

$$R_k = 2,887 * 24,927 * 2 = 144 \text{ kN}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 140 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 206 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 190 - 260 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 310 \text{ kN}$



Druckversuch 6

Lösung zum Versuch 7:

Mindestabstände:

$$a_{||} = 27,5 \text{ mm}$$

$$a_{\perp} = 16,5 \text{ mm}$$

$$a_{||u} = 38,5 \text{ mm}$$

$$a_{\perp u} = 16,5 \text{ mm}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$K_{LED} = \text{kurz}; \quad N_{KL} = 1; \quad k_{mod} = 0,9$$

Aus Colling oder Schneider Tabelle:

$$t_{req} = 50 \text{ mm} < 60 \text{ mm}$$

$$t_{E,req} = 50 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

⇒ keine Abminderung

$$R_{C,0,k} = 2,125 \text{ kN}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

⇒ keine Abminderung (DIN 1052, 12.5.2 Abs. (14))

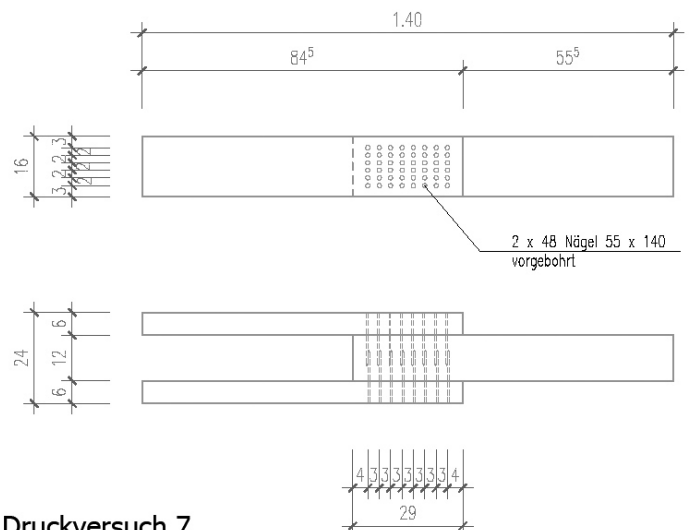
$$n_{ef} = 6 * 8 = 48$$

$$R_k = 2,125 * 48 * 2 = \mathbf{204 \text{ kN}}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 230 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 294 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 192 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 291 \text{ kN}$



Druckversuch 7

Lösung zum Versuch 8:

(alle Formeln aus Praxis Handbuch S.153ff)

Mindestabstände:

$$\begin{aligned} a_{||} &= 38 \text{ mm} \\ a_{\perp} &= 23 \text{ mm} \\ a_{||u} &= 53 \text{ mm} \\ a_{\perp u} &= 23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge

$$R_k = \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d}$$

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k$$

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * 7,6) * 350 = 26,519 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 * 600 * 7,6^{2,6} = 35106,5 \text{ N/mm}^2$$

$$R_k = \sqrt{2 * 35106,5 * 26,519 * 7,6} = 3,762 \text{ kN}$$

$$t_{\text{req}} = 9 * d = 9 * 7,6 = 68,4 \text{ mm} < 70 \text{ mm}$$

$$t_{E,\text{req}} = 9 * d = 9 * 7,6 = 68,4 \text{ mm} < 70 \text{ mm}$$

⇒ keine Abminderung

Errechnen der charakteristischen Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9 * \sqrt{\frac{a_{||}}{10 * d}}} \end{array} \right\}$$

$$n_{h,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 5^{0,9 * \sqrt{\frac{38}{10 * 7,6}}} \end{array} \right\} = 3,58$$

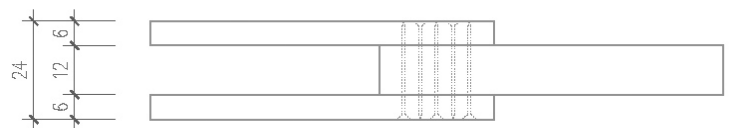
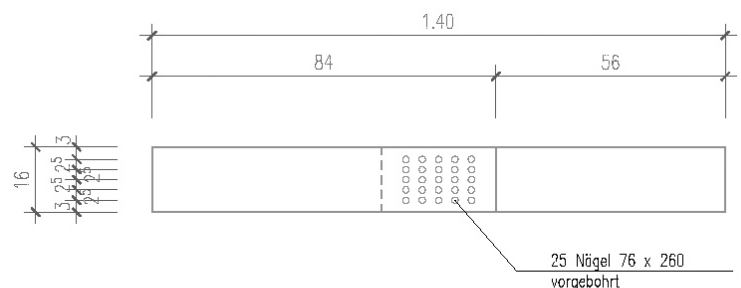
$$n_{ef} = 5 * 3,58 = 17,9$$

$$R_k = 3,762 * 17,9 * 2 = 135 \text{ kN}$$

Versuchsergebnisse:

Probe 1: $D_{1,5} = 130 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 226 \text{ kN}$

Probe 2: $D_{1,5} = 190 \text{ kN}$
 $D_{Br} = 268 \text{ kN}$



Druckversuch 8

