

## Fehler, Mangel Schaden

veröffentlicht vom Medienbeirat  
der Landesvereinigung der Prüfengeure  
für Baustatik – Baden-Württemberg

### Beispiel 3 / 2003 - Bereich Holzbau

Nagelplattenbinder sind eine kostengünstige Variante, um weitgespannte Dachkonstruktionen zu realisieren. Kennzeichnend für die Bauweise ist, dass die statischen Unterlagen und die Ausführungszeichnungen von der Herstellerfirma erstellt werden und in der Regel die Errichtung der Konstruktion dem örtlichen Zimmermann überlassen wird. Die statische Berechnung bei einer normalen Konstruktion mit einer Dachbinderform und einem Aussteifungsbinder in der Dachebene besteht aus ca. 15 Seiten EDV-Berechnung für die Binder und 2 Seiten Handrechnung für die Aussteifungselemente; d.h. die wichtigen Punkte werden sehr stiefmütterlich behandelt und oft nur in der statischen Berechnung zeichnerisch als Skizzen dargestellt. Der Nachweis beschränkt sich in der Regel auf die Ermittlung der Anzahl der erforderlichen mechanischen Verbindungsmittel. Die **vielfältigen Exzentrizitäten** werden nicht beachtet. In den meisten Fällen liegt die statische Berechnung auch nicht auf der Baustelle vor. Die Aussteifungselemente sollen dann "zimmermannsmäßig" -eine Bauweise, die nie genau definiert wurde - hergestellt werden.

Zur Aussteifung von Nagelplattenbindern kommen häufig Windrispenbänder (WR) zur Ausführung. Die WR tragen die Kräfte aus der Firstbohle in den Traufbereich ab. In Bild 1 und 2 ist ein solcher Traufpunkt dargestellt, wie er häufig ausgeführt wird. Folgende Fehler treten dabei häufig auf:

Es wird nicht überprüft, ob die erforderliche Anzahl der Nägel für das WR unter Beachtung der Rand- und Achsabstände der Nägel nach DIN 1052 in der zur Verfügung stehenden Anschlussfläche angeordnet werden kann. Häufig wird wegen zu kleiner Anschlussfläche das WR umgeknickt und die restlichen Nägel auf der Außenseite des Traufholzes angeordnet. Dabei wird die erforderliche Ausrundung an der Kante des Traufholzes fast nie angeordnet. Dies hat zur Folge, dass das WR sich eindrückt, das Band wird schlaff und das System verformt sich zu stark. Der erforderliche Ausrundungsradius ergibt sich näherungsweise zu  $R \approx F / (b * \pi)$ , wobei R und b in mm, F in N. (Beispiel :  $F = 10\ 000\ \text{N}$ , Windrispenband 60 mm,  $R \approx 10000 / (60 * \pi) = 53\ \text{mm}$ )

Die in Dachebene schräge Windrispenkraft, muss in verschiedene Komponenten gemäß Bild 3 aufgeteilt werden. Die erforderliche Abstützung durch zwei Knaggen oder andere gleichwertige Halterung (siehe Bild 1 + 2) wird oft nicht angeordnet.

Der Traufholzanschluss an die Betonkonstruktion wird dann mehr oder minder verbal abgehandelt: durch Angabe der Anzahl der einseitig angeordneten Winkelverbinder. Die zul. Kraft F2 bzw. F3 wird der Zulassung entnommen, dabei wird übersehen, dass die dort angeführten Werte nur für eine Verbindung Holz/Holz zugelassen sind. Dort wird ausgeführt: *die großen Löcher dürfen nicht mit Verbindungsmitteln versehen werden*. Ein Anschluss des Winkels mit Dübeln oder über eine Halfenschiene an die Betonkonstruktion ist mit der Zulassung nicht abgedeckt. Die Exzentrizitäten dürfen nicht vernachlässigt werden. Vor allem ist darauf zu achten, dass bei Winkelverbindern das äußere Loch eine große Exzentrizität zur Anschlussfuge Holz/senkrechter Winkelschenkel aufweist und der Bohrdurchmesser nur 11 mm beträgt. Ein Umstand, der immer wieder vergessen wird beim Anschluss an eine Halfenschiene HZA, die laut Zulassung Z-21.4-145 nur für Schrauben HZS M12 und M16 zugelassen ist. Da im Winkelverbinder nur eine Schraube angeordnet werden kann, muss das Versatzmoment - Kraft mal Abstand Achse Dübel zur Anschlussfläche Holz/ Winkel - durch die Nägel im senkrechten Schenkel aufgenommen werden (Zug- und Abscherkräfte). Dies ist eine aufwendige Berechnung und der Nachweis gelingt nur bei sehr kleinen Kräften. Es sind fast immer im horizontalen Winkelschenkel mind. 2 Verbindungsmittel, die einen Hebelarm aufweisen, erforderlich.

Im nachfolgenden Text werden die wichtigsten Punkte als eine Art Checkliste zusammengefasst und eine Näherungsberechnung unter Beachtung der Exzentrizitäten für den Anschluss Bild 1 + 2

durchgeführt. Der Anschluss wird für den Fall einer Halfenschiene berechnet, der Anschluss für ein Dübelpaar ist ähnlich, nur sind dabei die Achsabstände und die Randabstände gemäß Dübelzulassung zu beachten.

⇒ **Windrispenband.** An das Spanngerät sind erhöhte Anforderungen zu stellen. Die Windrispen dienen zur Aussteifung von Bindern ( Stabilität aus der Binderebene) und müssen deshalb straff angezogen werden, eine wellenartige Verlegung des WR ist nicht akzeptabel , z.B. ist bei BMF-Windrispenband das Spanngerät S zu verwenden. Dies ist ausdrücklich im Plan festzuhalten. In den meisten Fällen wird die zulässige Belastung des WR durch die eingeschlagenen Nägel begrenzt. Die Anzahl der Nägel hängt von der Breite des Bandes, der Traufholzbreite (hier 10 cm) und dem Winkel  $\alpha$  zwischen Band und Traufholz ab. Auf die Einhaltung der Nagelabstände gemäß DIN 1052 Teil 2 wird hingewiesen. Die o.a. Ausrundung ist bei Abknicken des WR zu beachten.

⇒ **Knagge oder gleichwertige Halterung ( Näherungsberechnung)**

Für die näherungsweise Ermittlung der Kräfte, die auf die Knaggen wirken, wurde eine ausreichende Reibung zwischen Stirnfläche Knagge und Traufholz vorausgesetzt. Die Bezeichnungen in den Formeln sind den Bildern 1 bis 3 zu entnehmen.

$$P_{k,2} \approx F \cdot \sin \alpha [ 0,5 + s / (L-d) ] \cdot 1,15 \quad \text{für } f < 0,20 \cdot c \quad (1)$$

$P_{k,1}$  für die Bemessung bei sym. Anordnung der Knaggen und  $s > 0$  nicht maßgebend

$$F_H = F \cdot \cos \gamma \quad , \quad \gamma = \arcsin ( \sin \beta \cdot \sin \alpha ) \quad (2)$$

Die Querpressung am Kontaktstoß und die Anzahl der Nägel für den Anschluss der Knaggen sind nachzuweisen.

⇒ **Kräfte im globalen System ( Näherungsberechnung)**

Die Kräfte wirken im globalen X-Y-Z System, Vorzeichen von  $H_z$  beachten. Bei genauer Ermittlung wirkt auf den Winkel Nr. 1 (Bezeichnung Bild 2) infolge der Exzentrizität  $f/2$  von  $P_k$  zusätzlich eine H -Kraft ( Zugkraft), die wenn das Rispenband im positiven Y-Bereich angeordnet wird (  $s \approx L/4$  ) vernachlässigt werden kann. Die Zugkraft aus der Exzentrizität  $f/2$  von  $P_k$  im Bereich des Winkels Nr.2 kann durch Reibung zwischen Unterkante Traufholz und Betonoberkante aufgenommen werden. In Erdbebengebieten kann diese Zugkraft auf die Winkel nicht mehr vernachlässigt werden. Das Rispenband muss, wie im Bild 2 dargestellt, im positiven y-Bereich (  $s > 0$  ) angeordnet werden, damit die Näherungsrechnung zutreffend ist. Wird das Rispenband im hinteren Teil angenagelt (  $s < 0$  ), sind die o.a. Zugkräfte auf den Winkel Nr.1 ebenfalls nicht mehr vernachlässigbar.

$$M_x = H_y \cdot c + H_z \cdot s \quad (\text{Vorzeichen von } H_z \text{ negativ !}) \quad (3)$$

$$H_y = F \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

$$H_z = - F_H \cdot \tan \gamma \quad (5)$$

⇒ **Aktionskräfte auf Winkel Nr . 1 (senkrechter Schenkel )**

Siehe Bild 4

$$h_y = | H_y / 2 | \quad (6)$$

$$h_z = | M_x/a | + | H_z/2 | \quad (7)$$

Zwischen senkrechtem und horizontalem Schenkel wird ein Scharniergelenk angenommen. Der horizontale Schenkel erleidet jedoch wegen der Exzentrizität  $a_x$  und infolge von  $h_z$  Plattenbiegung. Ermittlung der Belastung für ein Verbindungsmittel, ungünstigste Stelle und senkrechter Schenkel:

$$P_y = h_y / n + h_y * z_p * z_i / I_p \quad (8)$$

$$I_p = \sum (y_i^2 + z_i^2) \quad \text{für } i = 1 \text{ bis } n \quad (9)$$

$$P_z = h_z / n + h_z * z_p * y_i / I_p \quad (10)$$

$$\text{Resultierende } R = \sqrt{(P_y^2 + P_z^2)} \quad (11)$$

Im Bild 4 sind die angreifenden Kräfte  $h_y$  und  $h_z$  für den Stahlwinkel dargestellt.

#### ⇒ Aktionskräfte auf Winkel Nr.1 (horizontaler Schenkel)

bezogen auf die Achse 1 - 1 im Bild 4 erzeugt die Vertikalkraft  $h_z$  ein Biegemoment. Dieses Biegemoment wird durch die Kräfte  $Z$  und  $D$  umgelenkt. Bei zwei Schrauben wirkt je Schraube :

$$Z \approx 0,5 * (h_z + h_z * a_x / 0,9 * a^2) \quad (12)$$

Die Horizontalkraft  $h_y$  weist ebenfalls einen Hebelarm auf. Auf eine Schraube wirkt:

$$h_x = h_y * a_x / a^3 \quad (13)$$

$$R_H = \sqrt{(h_x^2 + (h_y/2)^2)} \quad (14)$$

$$R = \sqrt{(R_H^2 + Z^2)} \quad (15)$$

#### ⇒ Zahlenbeispiel

Gegeben ( siehe Bild 1 - 4 ):

Winkel Zwischen Achse WR und Rückseite Traufholz  $\alpha = 40$ ,

Neigung Obergurt Winkel  $\beta = 30$ ,

lichte Weite Binderabstand  $L = 100$  cm

Abstand der Winkel  $a = 60$  cm

Schnittpunkt Achse WR und hintere Kante Traufholz  $s = 20$  cm

Traufholzbreite  $b = 10 \text{ cm}$ , Hinterkante  $c = 30 \text{ cm}$ ,  $z_p = 10 \text{ cm}$   
 Knagge  $d = 6 \text{ cm}$  und  $f = 6 \text{ cm}$   
 Windrispenkraft  $F = 8 \text{ kN}$  (Lastfall H)  
 $a_x = 5 \text{ cm}$ ,  $a_3 = 10 \text{ cm}$   
 Stahlgüte Winkel : S235JR (St37-2)

$$\text{Winkel } F_H = 8 * \cos 18,7 = 7,58 \text{ kN} , \quad \gamma = \arcsin ( \sin 30 * \sin 40 ) = 18,7$$

$$P_{k,2} \approx 8 * \sin 40 ( 0,5 + 20/94 ) * 1,15 = 4,21 \text{ kN}$$

$$\text{Querpressung } \sigma \approx 4,21 / 6 * 6 = 0,12 < 0,20 \text{ kN/ cm}^2$$

$$\text{Erforderliche Nagelanzahl } , \text{ gewählt } 8 \text{ N 42/110} , \text{ Binderdicke } 6 \text{ cm} , n = 4,21 / 0,62 = 6,8 < 8$$

$$H_y = 8 * \cos 40 = 6,12 \text{ kN}$$

$$H_z = - 7,58 * \tan 18,7 = - 2,57 \text{ kN}$$

$$M_x = 6,12 * 30 - 2,57 * 20 = 132,2 \text{ kNcm}$$

### **Nachweis Verbindungsmittel senkrechter Schenkel von Winkel Nr.1**

$$h_y = 6,12 / 2 = 3,06 \text{ kN}$$

$$h_z = 132,2 / 60 + 2,57 / 2 = 3,48 \text{ kN}$$

$$I_p = 4 * 5^2 + 4 * 4^2 = 164$$

$$P_y = 3,06 / 4 + 3,06 * 10 * 4 / 164 = 1,51 \text{ kN}$$

$$P_z = 3,48 / 4 + 3,06 * 10 * 5 / 164 = 1,80 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{ ( 1,51^2 + 1,80^2 ) } = 2,35 \text{ kN}$$

Gewählt 4 Holzschrauben DIN 571  $d=12 \text{ mm}$ , Länge 100 mm, Einschraubtiefe 95 mm,  
 Abminderung (  $1 - 50/360 = 0,87$  ) wegen  $d > 10 \text{ mm}$  und Neigung ca. 50 Grad

$$\text{Zul. } N_a = 3,06 * 0,86 = 2,63 > 2,35 \text{ kN}$$

### **Nachweis Verbindungsmittel horizontaler Schenkel von Winkel Nr. 1**

$$Z = 0,5 * ( 3,48 + 3,48 * 5 / 0,9 * 10 ) = 2,70 \text{ kN}$$

$$h_x = 3,06 * 5 / 10 = 1,53 \text{ kN}$$

$$R_H = \sqrt{ ( 1,53^2 + 1,53^2 ) } = 2,16 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{ ( 2,16^2 + 2,70^2 ) } = 3,45 \text{ kN} < 3,50 \text{ kN} ( \text{ gemäß Zulassung HZA Z-21.4-145 } )$$

### **Nachweis Stahlwinkel**

$$\text{Biegemoment bezogen auf die Achse 1 } m_d = \gamma * h_z * a_x = 1,5 ( 3,48 * 5 ) = 26,1 \text{ kNcm}$$

$$\text{Vorhandenes Widerstandsmoment } W = (16 - 2,8) * 1,0^2 / 6 = 2,2 \text{ cm}^3$$

$$26,1 / 2,2 * (24/1,1) = 0,54 < 1,0$$

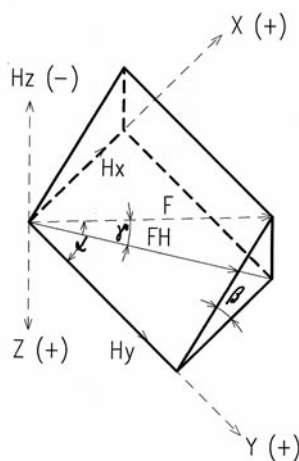
Das Traufholz muss aufgrund der Belastung durch  $F_H$  auf Zwischenbiegung nachgewiesen werden.

Wie man sieht ist der Aufwand nicht unerheblich. Da aber diese Details immer wieder zur Anwendung kommen, kann man die einfachen mathematischen Beziehungen programmieren und mit Hilfe einer Exeldatei einfach auswerten.

Bei Anschlüssen von Holztafelwänden an die Betondecke zur Aufnahme der Horizontalkräfte im Schwellenbereich mit auf der Innenseite angeordneten Winkeln treten entsprechende Beanspruchungen auf und die o.a. Formeln können leicht abgeändert werden.

Im übrigen werden im Tagungsbericht Freudenstadt Nr. 29 ab Seite 155 weitere zu beachtende Punkte ausführlich dargestellt. Dieser Band kann im Internet bestellt werden, siehe Ingenieurbox Abschnitt Tagungsberichte Freudenstadt.

**Bild 1**



**Räumliche Darstellung  
der angreifenden Kräfte**

Winkel  $\alpha$  wird in Dachebene gemessen  
Positive  $Z$ -Achse zeigt nach unten



**Bild 4**

vom Traufholz auf den Winkel 1  
einwirkende Kräfte  $h_y$  und  $h_z$

