

# Verbundbau - WS 2014/2015

## 4. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

06.11.2014



## Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
09.10.2014	Einführung ULS 1	Übersicht Stahlbau IV, Vorstellung der PVL, Allgemeines zum Verbundbau, Klassifizierung, Schnittgrößenermittlung
16.10.2014	ULS 2	plastische Momententragfähigkeit
23.10.2014	ULS 3	elastische Momententragfähigkeit, Biegung und Querkraft
<b>06.11.2014</b>	<b>ULS 4, Verbundmittel</b>	<b>Verbundmittel</b>
13.11.2014	Biegedrillknicken	Biegedrillknicken
20.11.2014	Verbundstützen 1	Einführung, Berechnungsverfahren
27.11.2014	Verbundstützen 2 Berechnung nach Elastizitätstheorie 1	Interaktion Biegung+Normalkraft
04.11.2014	Berechnung nach Elastizitätstheorie 2	Berücksichtigung zeitabhängigem Verhaltens, Gesamtquerschnittsverfahren
18.12.2014	Berechnung nach Elastizitätstheorie 3	Berücksichtigung zeitabhängigem Verhaltens, Gesamtquerschnittsverfahren
08.01.2015	Berechnung nach Elastizitätstheorie 4 Verbunddecken	Gesamtquerschnittsverfahren Einführung, Berechnungsverfahren
15.01.2015	Verbunddecken Anschlüsse im Verbundbau	Berechnungsbeispiel Entwurf von Anschlüssen
22.01.2015	Erhaltung stählerner Tragwerke	Richtlinien (Brückenbauwerke) Praxisbeispiel Eisenbahnhochbrücke Hochdonn

## Normen

- Erhältlich als Download in [www.perinorm.com](http://www.perinorm.com)  
DIN EN 1994-1-1 + NA



## Weitere Literatur

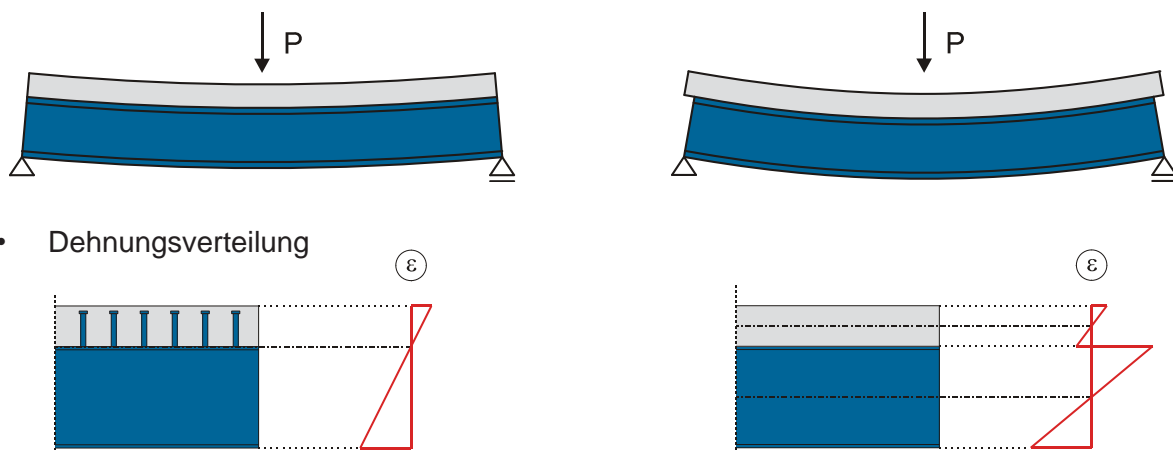
- Kuhlmann, U., Stahlbau Kalender 2010 (Verbundbau), Ernst & Sohn, Berlin 2010
- Minnert, J., Wagenknecht, G., Verbundbau-Praxis, Berechnung und Konstruktion nach Eurocode 4, Beuth Verlag, Berlin 2013

## Verbundmittel

### 1. Verbundmittel

#### 1.1 Zusammenwirken der Teilquerschnitte

Verbundmittel zwischen dem Stahlträger und der Betonplatte schaffen eine schubfeste Verbindung und erhöhen somit die Tragfähigkeit



Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte → lineare Dehnungsverteilung über den Gesamtquerschnitt

## 1.2 Arten von Verbundmitteln

<b>Stahldübel</b>	
<b>Reibungsverbund</b>	
<b>Noppen / Sicken</b>	
<b>Betondübel</b>	

- Häufigste Anwendung im Hoch- und Brückenbau:
  - einfach zu montieren
  - Kombination mit Verbundblechen
  - duktil → Kräfteumlagerung

Duktilität:

## 1.2.1 Kopfbolzendübel

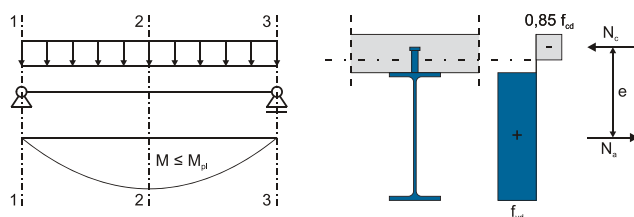
### 1.3 Unterscheidung von Verbundarten

- **starrer** und **nachgiebiger** Verbund

Die Unterscheidung zwischen starrem und nachgiebigem Verbund bezieht sich auf das Zusammenwirken zwischen den Verbundpartnern in der Verbundfuge. Die Bezeichnung „starr“ wird hierbei so verstanden, dass das Maß der Relativverschiebung zwischen Betongurt und Stahlträger so gering ist, dass seine Auswirkungen vernachlässigt werden können.

- **vollständiger** und **teilweiser** Verbund

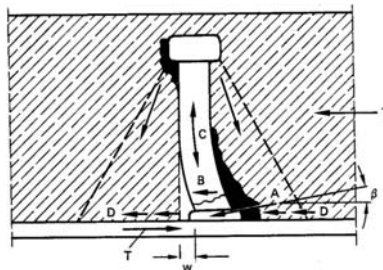
Vollständiger Verbund liegt vor, wenn durch eine ausreichende Anzahl an Verbundmitteln die maximale Biegetragfähigkeit erzielt werden kann. Ein weiteres Hinzufügen von Dübeln führt dann zu keiner weiteren Erhöhung der Beanspruchbarkeit. Bei zu geringer Dübelanzahl kann die maximale Biegetragfähigkeit des Gesamtquerschnitts nicht aufgebaut werden, es liegt Teilverbund vor.



## 1.4 Tragverhalten / Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln

## 1.4 Tragverhalten / Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln

Die Tragfähigkeit von einbetonierten Kopfbolzendübeln ist durch eine Kombination der Beanspruchungsanteile aus Schub, Biegung und Zug gekennzeichnet:



Traganteil **A**: Schweißwulst des Dübels

Traganteil **B**: Dübelschaft (zunehmend auf Biegung beansprucht)

Traganteil **C**: Horizontalkomponente der Dübelzugkraft

Traganteil **D**: zusätzliche Reibung

## 1.4.1 Ermittlung der Tragfähigkeit

## Verbundmittel

Die Dübeltragfähigkeit auf Schub von Kopfbolzendübeln wird als Grenzscherkraft nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{Rd} = \min$$

- $d$  Schaftdurchmesser des Dübels ( $\leq 25$  mm)  
 $f_u$  spezifizierte Zugfestigkeit des Bolzenmaterials ( $\leq 500$  N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_{ck}$  char. Zylinderdruckfestigkeit des Betons im entsprechenden Alter  
 $E_{cm}$  mittlerer Elastizitätsmodul des Betons  
 $\alpha$  Faktor zur Erfassung des Einflusses der Dübelhöhe  

$$\alpha = \begin{cases} 0,2 \cdot \left( \frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) & \text{für } 3,0 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4,0 \\ 1,0 & \text{für } \frac{h_{sc}}{d} \geq 4,0 \end{cases} \Rightarrow \frac{h_{sc}}{d} \geq 3,0$$
  
 $h_{sc}$  Gesamthöhe des Bolzens ( $\geq 3d$ )  
 $\gamma_V$  Teilsicherheitsbeiwert (ULS)  $\gamma_V = 1,25$  (Dübel) /  $1,5$  (Beton)

DIN EN 1994-1-1:2010-12,  
Kap. 6.6.3.1

DIN EN 1994-1-1:2010-12,  
Kap. 2.4.1.2(5)

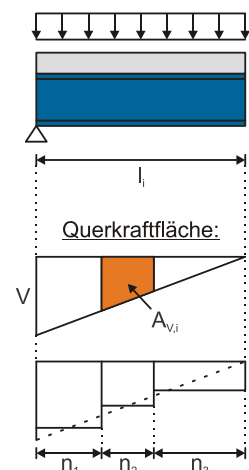
DIN EN 1994-1-1/NA:2010-12,  
zu 6.6.3.1(1)

## 1.5 Verteilung der Dübel in Trägerlängsrichtung

- **äquidistante** Anordnung
  - Nur im Hochbau üblich mit vorwiegend ruhenden, gleichmäßig verteilten Lasten
  - 1- oder 2-reihige Anordnung in Querrichtung
  - Umlagerung der Dübelkräfte von den stark beanspruchten Auflagerbereichen hin zu den Feldbereichen → gleichmäßigere Beanspruchung der Dübel
  - Voraussetzung:  $2,5 \cdot M_{pl,a,Rd} \stackrel{!}{\geq} M_{pl,Rd}$

DIN EN 1994-1-1:2010-12,  
6.6.1.3(3)

- Verteilung **affin** zum Schubflussverlauf
  - Vorwiegend im Brückenbau
  - Anpassung der Dübelanordnung an die Einhüllende des Schubflussverlaufes
  - Bereichsweise konstante Dübelabstände
  - Einschnneiden in den Schubflussverlauf zulässig, wobei das Maß von der Steifigkeit der Verbundmittel abhängt:
    - 10% bei steifen Verbundmitteln (z.B. Blockdübel) analog zum Stahlbetonbau
    - 25% bei nachgiebigen Verbundmitteln (z.B. Kopfbolzendübel)



## 1.6 Nachweis der Längsschubtragfähigkeit

- **Vollständige** Verdübelung

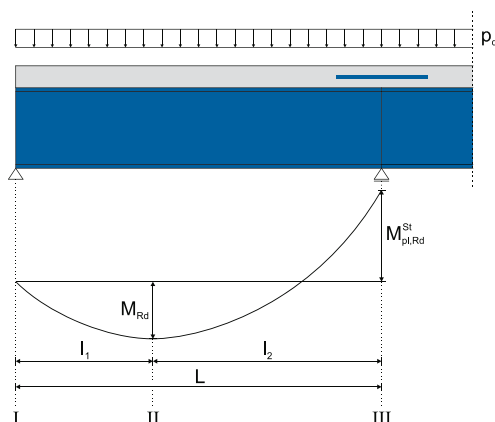
Bei vollständiger Verdübelung ist für die Tragfähigkeit des Trägers das Momentenversagen in kritischen Schnitten maßgebend. Zwischen kritischen Schnitten müssen dann so viele Dübel angeordnet werden, dass die vollplastischen Momententragfähigkeiten erreicht werden. Für die Anzahl an Dübeln, die zur Übertragung der Bemessungs-Längsschubkraft

$V_I$  zwischen zwei kritischen Schnitten mindestens erforderlich ist, gilt:  $erf \cdot n \geq \frac{V_I}{P_{Rd}}$

Maßgebende Schnitte, zwischen denen eine auftretende Längskraftdifferenz eingeleitet werden muss, können sein:

- End- und Zwischenauflager
- Stellen maximaler Biegebeanspruchung
- Momentennullpunkte
- wesentliche Querschnittsänderungen
- Angriffspunkte nennenswerter Einzellasten

Für das nachfolgend dargestellte Beispiel ergeben sich für die beiden Bereiche 1 und 2 folgende Ansätze:





Bereich 1

Bereich 2

Dübelanzahl:

Dübelanzahl:

Dübelabstand:

Dübelabstand:

Weiterhin ist nachzuweisen, dass die Mindestabstände der Dübel in Längs- und Querrichtung eingehalten sind. Hierfür gilt:

in Trägerlängsrichtung:  $e_{\min} \geq 5 \cdot d$

in Trägerquerrichtung:  $e_{\min} \geq 2,5 \cdot d$

- **Teilweise** Verdübelung

- **Teilweise** Verdübelung

Bei nicht ausreichender Anzahl von Dübeln kann die maximale Biegetragfähigkeit nicht erzielt werden

→ Berechnung eines reduzierten plastischen Biegemomentes  $M_{pl,red}$  in Abhängigkeit vom Verdübelungsgrad:

$$\eta \geq \frac{n}{n_f} = \frac{N_c}{N_{c,f}}$$

Anwendungsgrenzen:

- Querschnittsklasse 1 oder 2
- duktiles Verbundmittel (bei Kopfbolzendübeln  $h \geq 4d$ )
- Mindestverdübelungsgrad in Abhängigkeit von der Querschnittsgeometrie

DIN EN 1994-1-1:2010-12, Kap. 6.6.1.2

# Verbundmittel

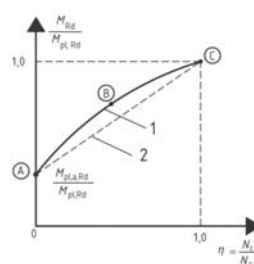
Berechnung der reduzierten Biegetragfähigkeit

- über lineare Interpolation Berechnung eines reduzierten plastischen Biegemomentes  $M_{Rd}$  in Abhängigkeit vom Verdübelungsgrad:

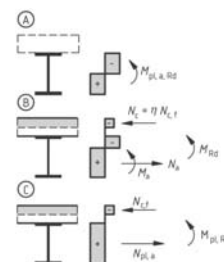
$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,f}}$$

DIN EN 1994-1-1:2010-12, (6.1)

- Über Gleichgewichtsmethode

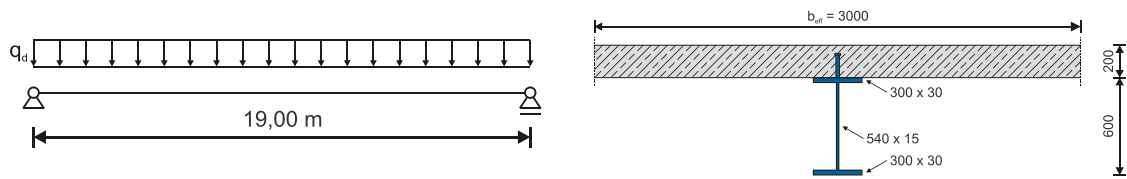


Legende  
1 Teilverbundtheorie  
2 vereinfachte Berechnung



DIN EN 1994-1-1:2010-12, Bild 6.5

## Beispiel 7a: Verbundmittel (Kopfbolzendübel)



Beton C 35/45:

$$f_{ck} = 35 \frac{N}{mm^2} \quad \gamma_C = 1,5 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 23 \frac{1}{3} \frac{N}{mm^2}$$

Baustahl S 355:

$$f_{yk} = 355 \frac{N}{mm^2} \quad \gamma_{M0} = 1,0 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 355 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{pl,Rd} = 3616 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,a,Rd} = 2010 \text{ kNm}$$

Kopfbolzendübel Ø 22:

$$h = 150 \text{ mm} \quad \gamma_V = 1,25 \quad f_{uk} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

Belastung:  $q_d = 72 \text{ kN/m}$

## Berechnung der Dübeltragfähigkeit

- Anwendungsgrenzen

DIN EN 1994-  
1-1:2010-12,  
Kap. 6.6.3.1

- Duktilität des Dübels

DIN EN 1994-  
1-1:2010-12,  
(6.21)

## Grenzscherkraft

DIN EN 1994-  
1-1:2010-12,  
(6.18) & (6.19)

## Berechnung der erforderlichen Dübelanzahl für vollen Verbund

### Verteilung der Dübel mit konstantem Abstand in Trägerlängsrichtung

## Kontrolle der Zulässigkeit einer äquidistanten Verteilung

### Nachweis der Tragfähigkeit bei Teilverbund

geg: Dübelabstand  $e = 110 \text{ mm}$

Mittels der vorhandenen Dübelanzahl kann folgende Längsschubkraft übertragen werden:

### Kontrolle des Mindestverdübelungsgrades

- Träger mit doppelsymmetrischen Baustahlquerschnitten:

DIN EN 1994-  
1-1:2010-12,  
Kap. 6.6.1.2

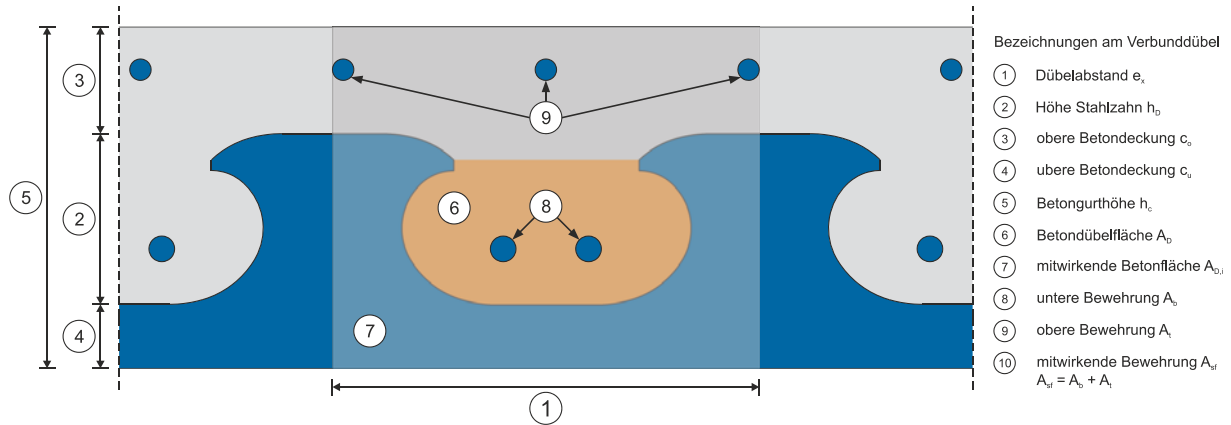
DIN EN 1994-  
1-1:2010-12,  
Bild 5.1

### Berechnung der reduzierten Biegetragfähigkeit

### Nachweis

## 2.7 Verbunddübelleiste

- Bezeichnungen



- Anwendungsgrenzen

Dübelabstand:  $150 \text{ mm} \leq e_x \leq 500 \text{ mm}$

Stegdick:  $6 \text{ mm} \leq t_w \leq 40 \text{ mm}$  und  $0,08 \text{ mm} \leq \frac{t_w}{h_D} \leq 0,5 \text{ mm}$

$$h_{D,Klothoide} = 0,4 \cdot e_x \quad h_{D,Puzzle} = 0,27 \cdot e_x$$

Querabstand:  $e_y \geq 120 \text{ mm}$

Betondeckung:  $c_o; c_u \geq 20 \text{ mm}$

Betongurtbreite:  $b_c \geq 250 \text{ mm}$

- statische Tragfähigkeit

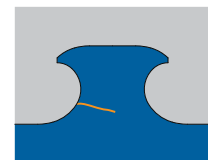
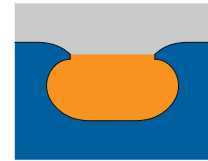
Abscheren:  $P_{sh,k} = \eta_D \cdot e_x^2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (1 + \rho_D)$

$$\eta_{D,Klothoide} \geq 3 - \frac{e_x}{180}; \quad \eta_{D,Puzzle} \geq 2 - \frac{e_x}{400}; \quad \rho_D = \frac{E_s \cdot A_b}{E_{cm} \cdot A_D}$$

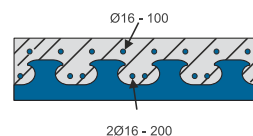
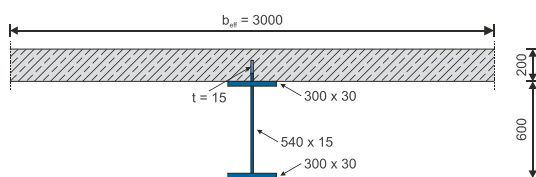
Ausstanzen:  $P_{po,k} = 90 \cdot h_{po}^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (1 + \rho_{D,i})$

$$h_{po} = (c_o + 0,07 \cdot e_x; c_u + 0,13 \cdot e_x) ; \quad \rho_{D,i} = \frac{E_s \cdot A_{sf}}{E_{cm} \cdot A_{D,j}}$$

Stahlversagen:  $P_{pl,k} = 0,25 \cdot e_x \cdot t_w \cdot f_y$



## Beispiel 7b: Verbundmittel (Verbunddübelleiste)



Beton C 35/45:

$$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_c = 1,5 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 23 \frac{1}{3} \text{ N/mm}^2 \quad E_{cm} = 3400 \text{ kN/cm}^2$$

Baustahl S 355:

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_{M0} = 1,0 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad E_a = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

Baustahl S 355:

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_{M0} = 1,0 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad E_s = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

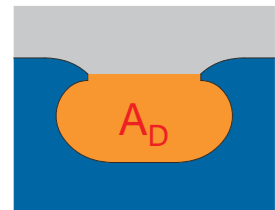
Verbunddübelleiste (Klothoide):

$$e_x = 200 \text{ mm} \quad \gamma_v = 1,25$$

## Berechnung der Dübeltragfähigkeit

- Anwendungsgrenzen

## Abscheren

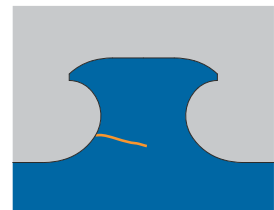




## Ausstanzen



## Stahlversagen



## Grenzscherkraft

## Berechnung der erforderlichen Dübelanzahl für vollen Verbund

## Berechnung der vorhandenen Verbunddübel

