

Verbundbau - WS 2014/2015

1. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

09.10.2014



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
06.11.2014	ULS 4, Verbundmittel	Verbundmittel
13.11.2014	Biegedrillknicken	Biegedrillknicken
20.11.2014	Verbundstützen 1	Einführung, Berechnungsverfahren
27.11.2014	Verbundstützen 2 Berechnung nach Elastizitätstheorie 1	Interaktion Biegung+Normalkraft
04.12.2014	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
DIN EN 1994-1-1 + NA

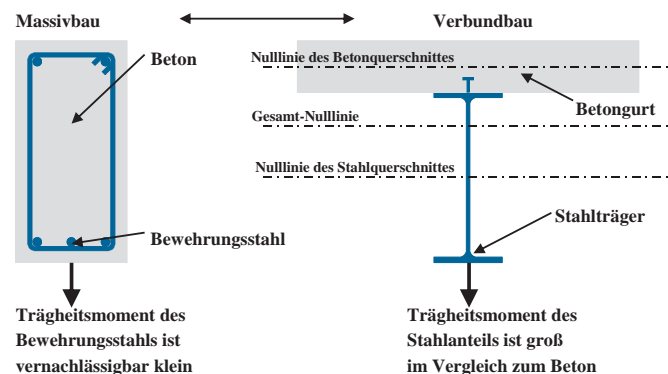


Weitere Literatur

- 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

1. Die Verbundbauweise

- Zusammenwirken der „Verbundpartner“ Stahl und Beton
- Werkstoffgerechte Kombination von Stahl und Beton. Die jeweils positiven Baustoffeigenschaften werden ausgenutzt: Beton auf Druck, Stahl auf Zug
- Das Trägheitsmoment des Stahlbauteils ist groß im Vergleich zum Beton – hoher „Bewehrungsgrad“



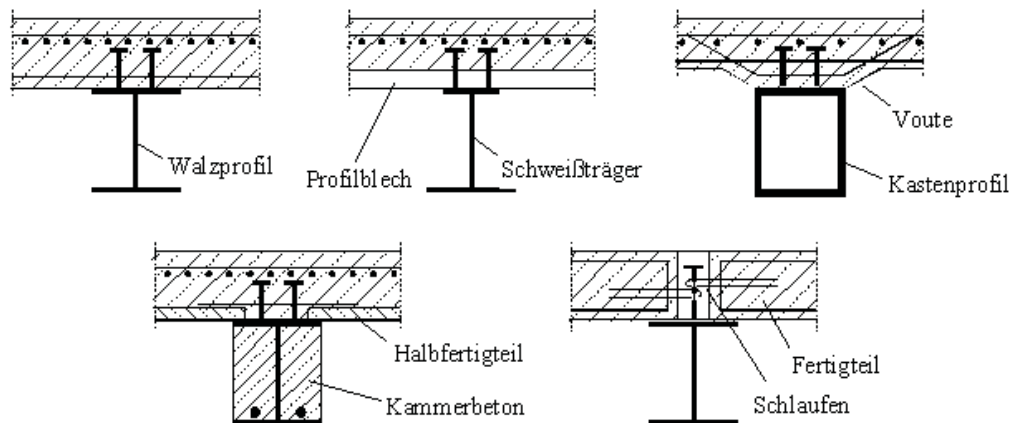
- Schubfeste Verbindung von Stahl- und Betonbauteilen

Verdübelungs- grad η	0 % keine Dübel	$40 \% \leq \eta < 100 \%$ Teilverbund	100 % Voller Verbund

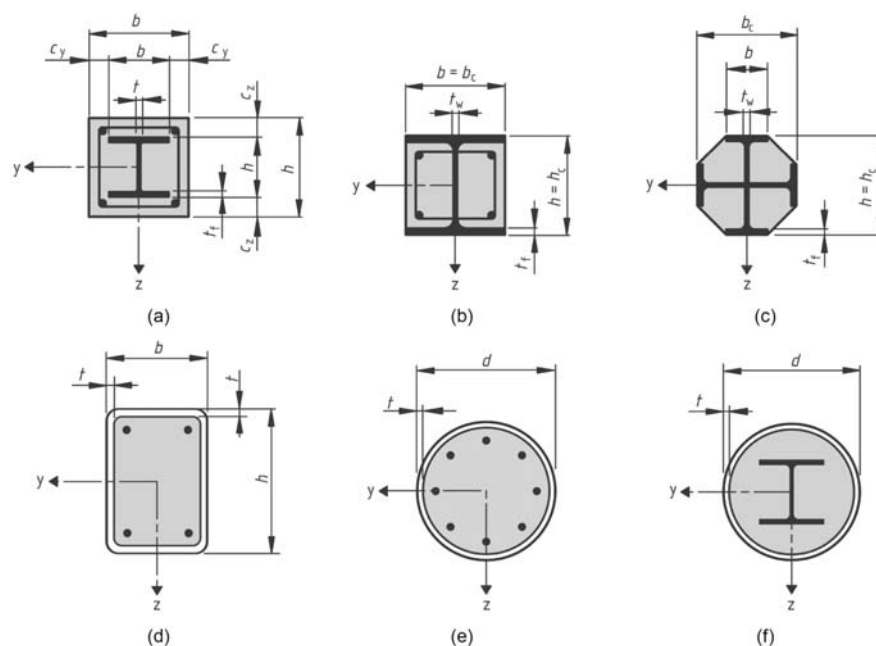
Typische Tragelemente des Verbundbaus

Verbunddecken		
Verbundträger		
Verbundstützen		

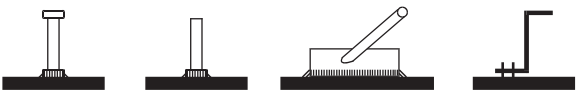

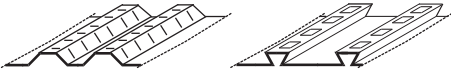

Typische Verbundträger-Querschnitte



Typische Verbundstützen-Querschnitte



Typische Verbundmittel

Stahldübel	
Reibungsverbund	
Noppen / Sicken	
Betondübel	



Nutzungseigenschaften für den planenden Ingenieur

- Flexibilität in der Wahl des Tragwerkssystems, hohe Gestaltungsfreiheit
- Hohe Tragfähigkeit bei kleinen Bauteilabmessungen und geringem Eigengewicht
- „Stützenfreie“ Konstruktionen mit großen Spannweiten
- Ästhetische und filigrane Konstruktionen (schlanke Bauwerke)
- Nachträgliche Verstärkung möglich

Vorteile beim Bauablauf

- Exakte Terminierung durch weitgehende industrielle Vorfertigung
- Witterungsunabhängigkeit (Fertigteilbauweise)
- Geringer Umfang der Baustelleneinrichtung
- Hohe Arbeitssicherheit bei Verwendung von Stahlprofilblechen für Decken

Nutzungseigenschaften für den Bauherrn/Investor

- Kurze Bauzeiten, frühe Nutzung, dadurch geringere Finanzierungs- und Baustellenkosten
- Flexibilität in der Raumnutzung durch große Spannweiten und kleine Querschnittsabmessungen
- Größere Nutzfläche durch wenige, schlanke Stützen
- Relativ einfache Umbau- und Erweiterungsbaumaßnahmen

2. Anwendungsbeispiele

2.1 Hochbau



2.2 Brückenbau



3. Vorschriften

3.1 europäisch – Eurocode 4

DIN EN 1994

„Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton“

- Teil 1-1:2010-12: „Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau“
- Teil 1-2:2010-12: „Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall“
- Teil 2:2010-12: „Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für Brücken“

3.2 national

DIN EN 1994/NA

„National festgelegte Parameter“

- Teil 1-1, 1-2 und 2

4. Bemessungsgrundlagen nach EC 4, Teil 1

4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

- Nachweis ausreichender Querschnittstragfähigkeit in kritischen Schnitten
- Nachweis gegen Biegedrillknicken
- Nachweis gegen Schubbeulen
- Nachweis ausreichender Tragfähigkeit von auf Querdruk beanspruchten Stegen
- Nachweis gegen Ermüdung

Nachweisverfahren

$$E_d \leq R_d$$

Der Tragwiderstand R_d ist mit den Bemessungswerten der jeweiligen Werkstofffestigkeiten unter Berücksichtigung der entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte zu ermitteln:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} ; f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} ; f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} ; f_{pd} = \frac{f_{pk}}{\gamma_{ap}}$$

Charakteristische Werte der Festigkeiten:

f_{yk}	Baustahl
f_{ck}	Beton
f_{sk}	Bewehrungsstahl
f_{pk}	Profilblech
α_{cc}	Verhältnis von Dauerfestigkeit zu Kurzzeitfestigkeit
	$\alpha_{cc} = 0,85$ (für Verbundstützen 1,00)

4.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (EN 1990:2002-10, Kap. 3.4)

- Verformungen und Verschiebungen, die das
 - Erscheinungsbild
 - das Wohlbefinden der Nutzer oder
 - die Funktionen des Tragwerks beeinflussen oder
 - die Schäden an Belägen, Beschichtungen oder an nichttragenden Bauteilen hervorrufen;
- Schwingungen
 - die bei Personen körperliches Unbehagen hervorrufen oder
 - die Funktionsfähigkeit des Tragwerks einschränken
- Schäden, die voraussichtlich das
 - Erscheinungsbild,
 - die Dauerhaftigkeit oder
 - die Funktionsfähigkeit des Tragwerks nachteilig beeinflussen.

Nachweisverfahren

$$E_d \leq C_d$$

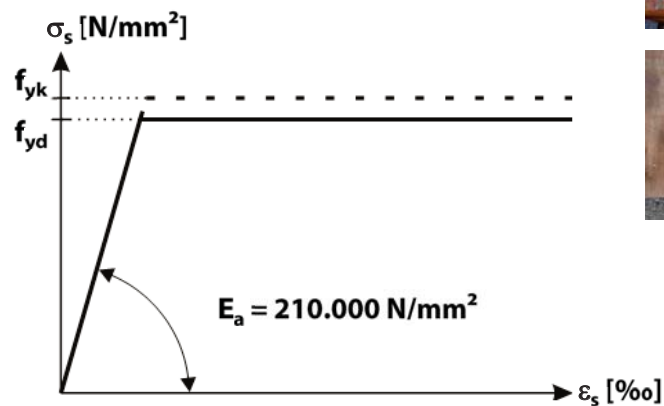
C_d beschreibt dabei die geforderten Bauwerkseigenschaften.

Für Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für die Baustoff-, Bauprodukt- und Bauteileigenschaften mit 1,0 anzunehmen, wenn in den EN 1994 keine gegenteiligen Angaben gemacht werden.

5. Werkstoffe

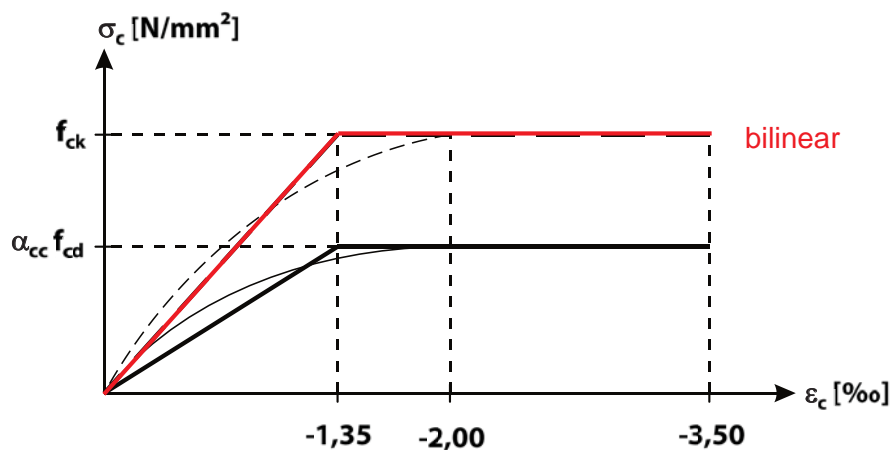
5.1 Baustahl

Spannungs-Dehnungs-Linie



5.2 Beton

Spannungs-Dehnungs-Linie

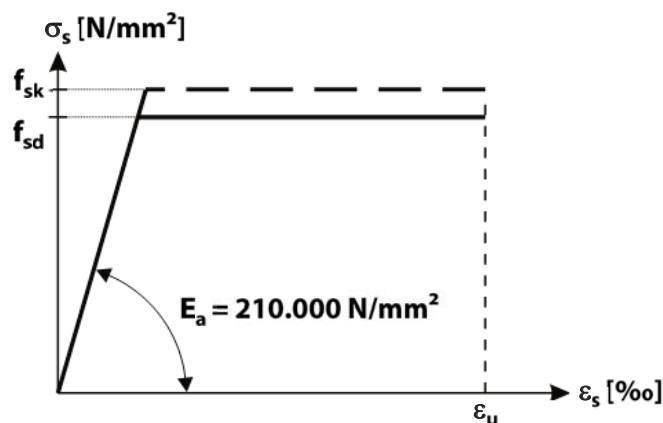


Achtung:

Bei Verbundkonstruktionen sind derzeit nur Betone der Festigkeitsklassen C20/25 bis C50/60 zugelassen!

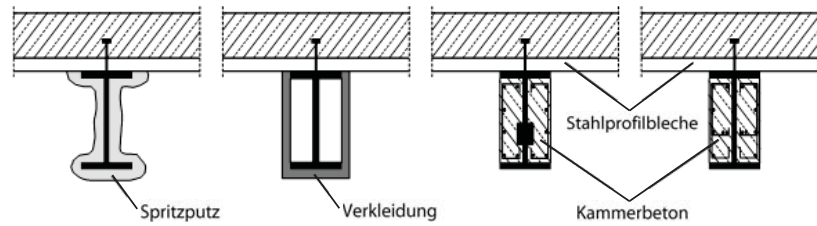
5.3 Betonstahl (Bewehrungsstahl)

Spannungs-Dehnungs-Linie



- Der charakteristische Wert der Streckgrenze f_{sk} entspricht bei Bewehrungsstählen mit ausgeprägter Streckgrenze der 0,2%-Dehngrenze
- Wärmeausdehnungskoeffizient: $\alpha_{Ts} = 10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

6. Brandschutz



Konventioneller Brandschutz bei Verbundträgern

- Spritzputz oder Platten
- Kammerbetonbauweise

Konventioneller Brandschutz bei Verbundstützen

- Einbetonierte oder ausbetonierte I-Profile

Aktive Brandschutzmaßnahmen

- Fluchtwege
- Meldeanlagen
- Werksfeuerwehr
- Sprinkleranlage

7. Tragverhalten von Verbundträgern

$P < P_R$: elastischer Bereich

$P = P_R$: Erreichen der Betonzugfestigkeit in der Randfaser über der Stütze

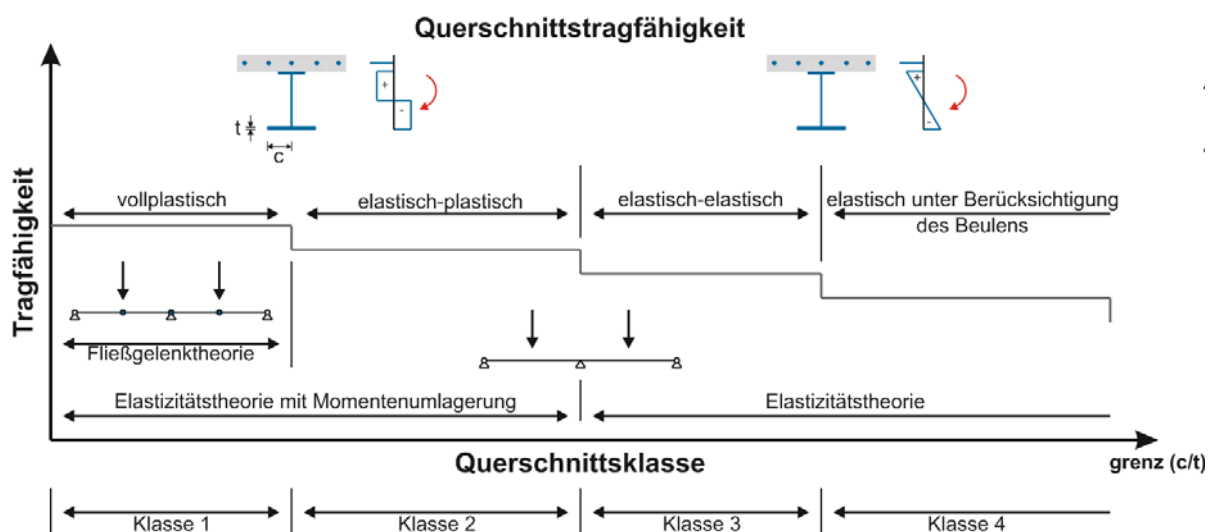
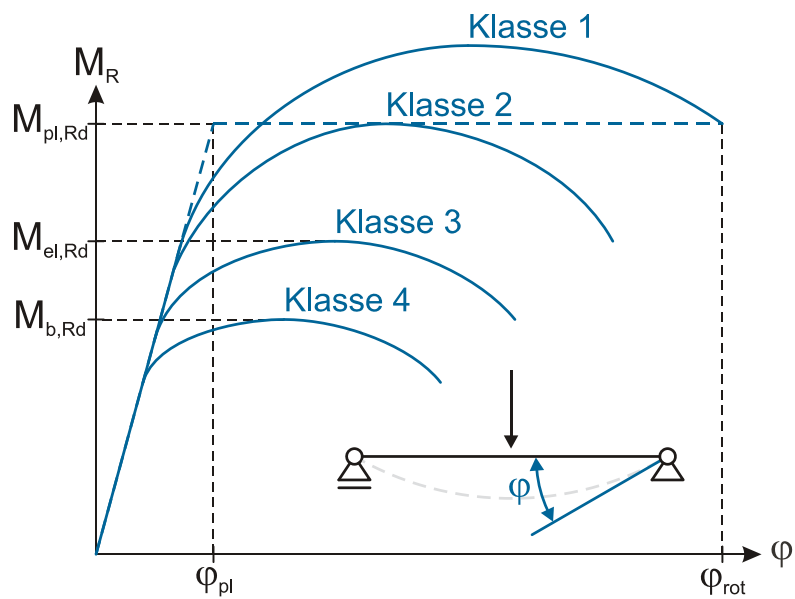
$P = P_1$: Erreichen der Streckgrenze des Baustahls f_{yd} über der Stütze

$P = P_2$: Erreichen der plastischen Momententragfähigkeit über der Stütze

$P > P_2$: Bildung ausgedehnter plastischer Zonen im Stahlträger (im Feldbereich)

$P = P_3$: Erreichen der plastischen Momententragfähigkeit des Gesamtsystems

8. Querschnittsklassifizierung



Klasse 1: plastische Querschnitte

Klasse 2: kompakte Querschnitte

Klasse 3: halbkompakte Querschnitte

Klasse 4: schlanke Querschnitte

9. Mittragende Breite des Betongurtes

Feldbereichen und an Mittelauflagern

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

DIN EN 1994-1-
1:2010-12, (5.3)

Endauflager

$$b_{eff} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei}$$

mit

$$\beta_i = \left(0,55 + 0,025 \frac{L_e}{b_{ei}} \right) \leq 1,0$$

DIN EN 1994-1-
1:2010-12, (5.4)
und (5.5)

$$b_{ei} = \frac{L_e}{8} \leq b_i$$

$$L_e = 0,85 L_{Endfeld}$$

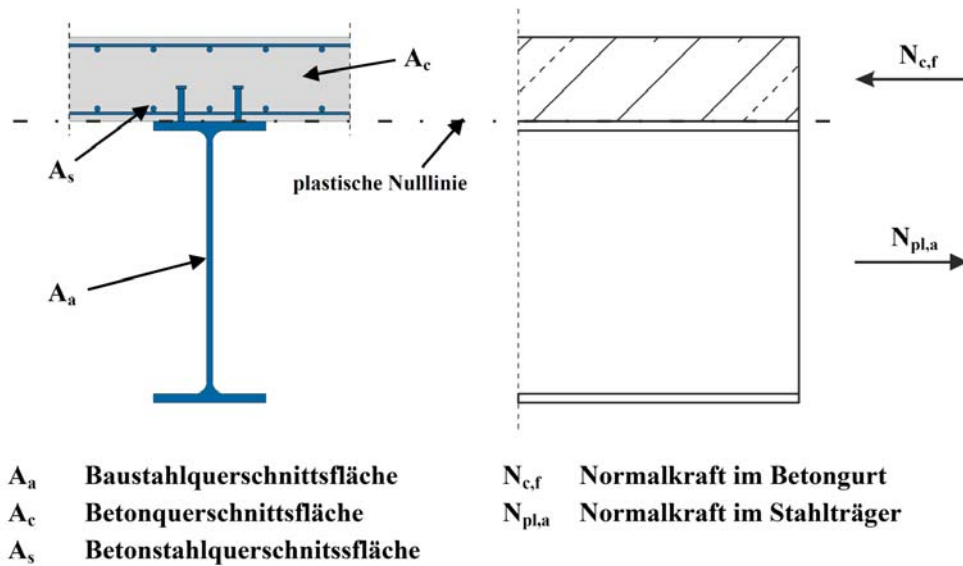
$$L_e = 0,25 (L_{Feld,links} + L_{Feld,rechts})$$

$$L_e = 0,70 L_{Mittelfeld}$$

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

zur Info: $L_e = 2 L_{Kragarm}$

10. Plastische Momententragfähigkeit für Verbundträger (Klasse 1/2)



10. Plastische Momententragfähigkeit für Verbundträger (Klasse 1/2)

Fall 1: Nulllinie im Betongurt, positive Momentenbeanspruchung

10. Plastische Momententragfähigkeit für Verbundträger (Klasse 1/2)

Fall 2: Nulllinie in Verbundfuge, positive Momentenbeanspruchung

→ wie Fall 1, mit $x_{pl} = h_c$

10. Plastische Momententragfähigkeit für Verbundträger (Klasse 1/2)

Fall 3: Nulllinie im Baustahlquerschnitt, positive Momentenbeanspruchung

a) Nulllinie im Obergurt

10. Plastische Momententragfähigkeit für Verbundträger (Klasse 1/2)

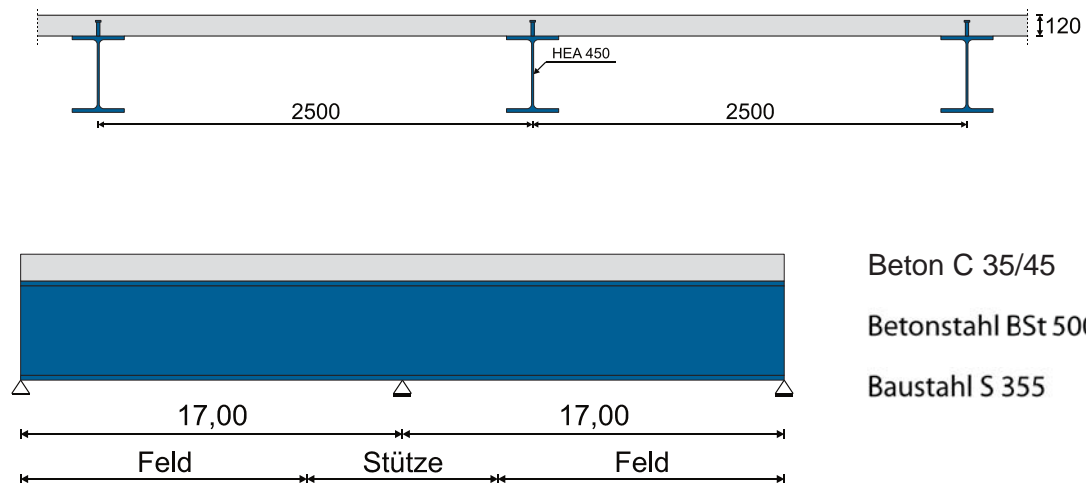
Fall 3: Nulllinie im Baustahlquerschnitt, positive Momentenbeanspruchung

b) Nulllinie im Steg des Stahlquerschnittes

10. Plastische Momententragfähigkeit für Verbundträger (Klasse 1/2)

Negative Momentenbeanspruchung

Beispiel 1: Querschnittsklassifizierung



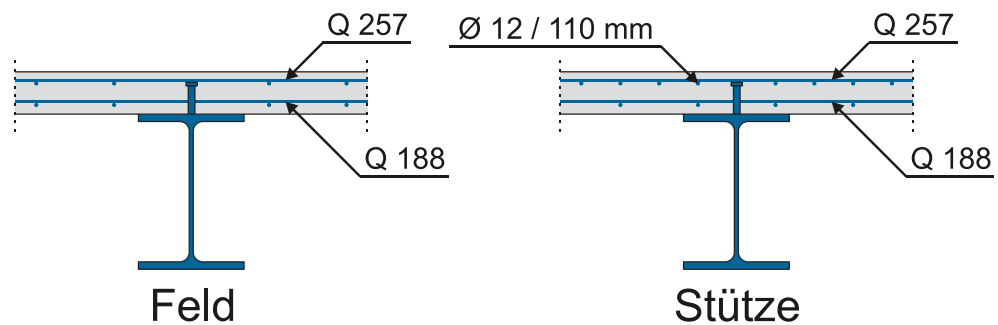
Beton C 35/45

Betonstahl BSt 500

Baustahl S 355

- **Ziel:** Einteilung des Verbundträgers in eine Querschnittsklasse

Werkstoffe



Beton C 35/45:

$$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_c = 1,5 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 23,33 \text{ N/mm}^2$$

Betonstahl BSt 500:

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_s = 1,15 \quad f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Baustahl S 355:

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

Mittragende Breite des Betongurtes

a) Feldbereich

$$L_e = 0,85 L = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_1 = b_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_{eff1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

b) Stützbereich (Innenstütze)

$$L_e = 0,25 (L_{links} + L_{rechts}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_1 = b_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_{eff2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

c) Stützbereich (Endstütze)

$$L_e = 0,85 L = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_1 = b_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \left(0,55 + 0,025 \frac{L_{Endfeld}}{b_{e1}} \right) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\beta_1 b_{e1} = \beta_2 b_{e2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_{eff3} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Querschnittsklassen

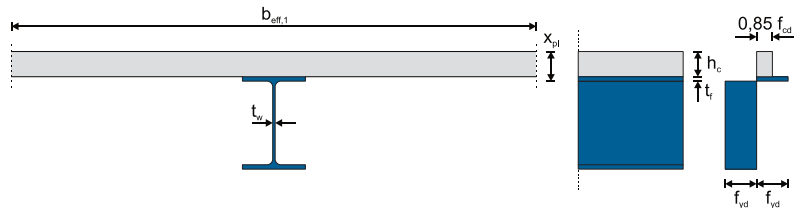
a) Feldbereich

$$A_c = b_{eff1} \cdot h_c = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{c,f} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_c = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{pl,a} = f_{yd} \cdot A_a = \underline{\hspace{2cm}} \quad N_{c,f} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$x_{pl} = \frac{N_{pl,a} - N_{c,f}}{2 \cdot f_{yd} \cdot b} + h_c = \underline{\hspace{2cm}}$$

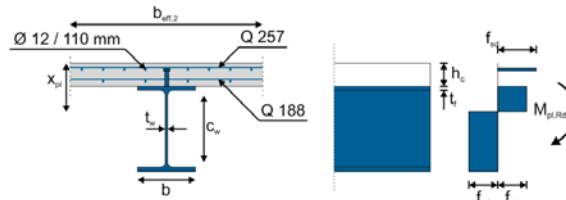


Flansch: $\text{grenz} \left(\frac{c}{t} \right) = 9 \cdot \varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}$

$$\left(\frac{c}{t} \right)_{\text{vorh.}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tab. 5.2

Steg:



b) Stützbereich

$$A_s = \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \cdot \frac{b_{eff}}{s} + A_{s,Q188} + A_{s,Q257} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$N_s = f_{sd} \cdot A_s = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$N_f = f_{yd} \cdot b \cdot t_f = \underline{\hspace{10cm}}$$

Annahme:

$$x_{pl} = \frac{N_{pl,a} - N_{pl,s} - N_f}{2 \cdot f_{yd} \cdot t_w} + h_c + t_f = \underline{\hspace{10cm}}$$

Flansch: $\text{grenz} \left(\frac{c}{t} \right) = 9 \cdot \varepsilon = \underline{\hspace{10cm}}$

$\left(\frac{c}{t} \right)_{\text{vorh.}} = \underline{\hspace{10cm}}$

DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tab. 5.2

Steg:

$$\alpha = 1 - \frac{x_{pl} - h_c - t_f - r}{c_w} = 1 - \frac{25,2 - 12 - 2,1 - 2,7}{34,4} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\text{grenz} \left(\frac{c}{t} \right) = \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \alpha - 1} = \underline{\hspace{10cm}}$$

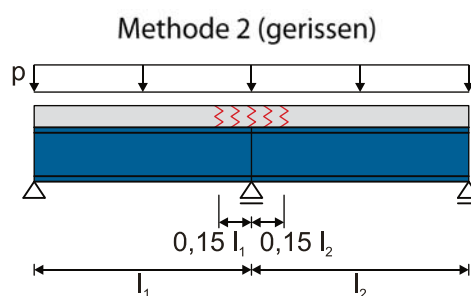
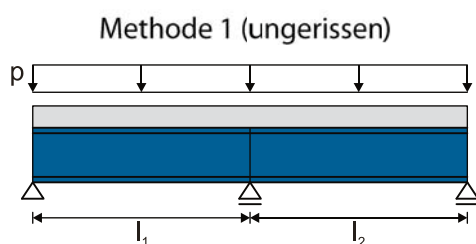
$\left(\frac{c}{t} \right)_{\text{vorh.}} = \underline{\hspace{10cm}}$

9. Methoden der Schnittgrößenermittlung

9.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Querschnittsklasse	Methode der Schnittgrößenermittlung für ständige Lasten und Verkehrslasten	Berücksichtigung vom Kriechen, Schwinden und Zwangsschnittgrößen	Berücksichtigung der Belastungsgeschichte	Querschnittstragfähigkeit
1	Fließgelenktheorie oder Elastizitätstheorie mit Momentumlagerung ³	nein ¹	nein ²	plastisch
2	Elastizitätstheorie mit begrenzter Momentumlagerung	nein ¹	nein ²	plastisch
3	Elastizitätstheorie mit begrenzter Momentumlagerung	nein (Ausnahmen folgen später)	ja	elastisch
4	Elastizitätstheorie ohne Momentumlagerung, wenn die Rissbildung erfasst wird	ja	ja	Stabilitätsnachweise

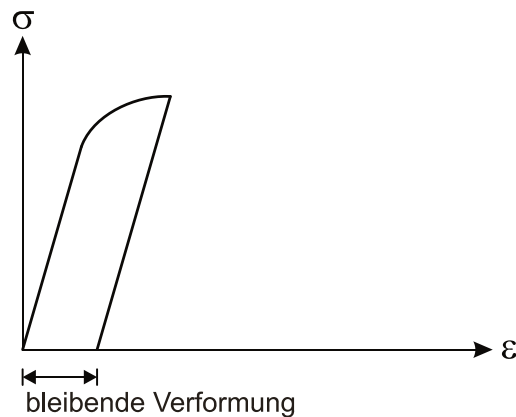
Momentenumlagerung



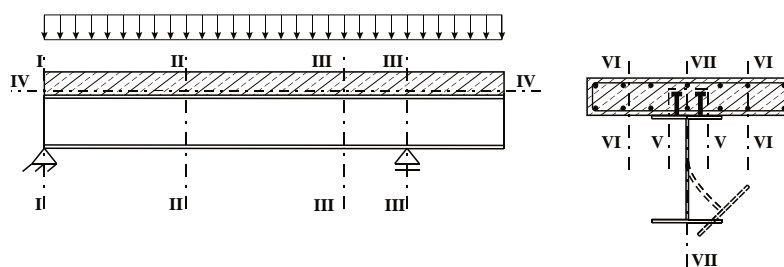
QKL	1	2	3	4
Methode 1				
Methode 2				

9.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

- Für SLS müssen die Schnittgrößen grundsätzlich nach der E-Theorie berechnet werden.
→ keine plastischen Verformungen



10. Erforderliche Querschnittsnachweise

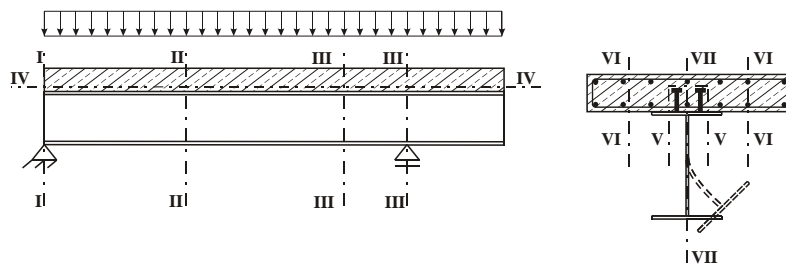


Schnitt I-I

Schnitt II-II

Schnitt III-III

Schnitt IV-IV



Schnitt V-V

Schnitt VI-VI

Schnitt VII-VII