

Verbundbau - WS 2014/2015

6. / 7. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

20.11.2014

27.11.2014



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
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
04.11.2014	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
DIN EN 1994-1-1 + NA



Weitere Literatur

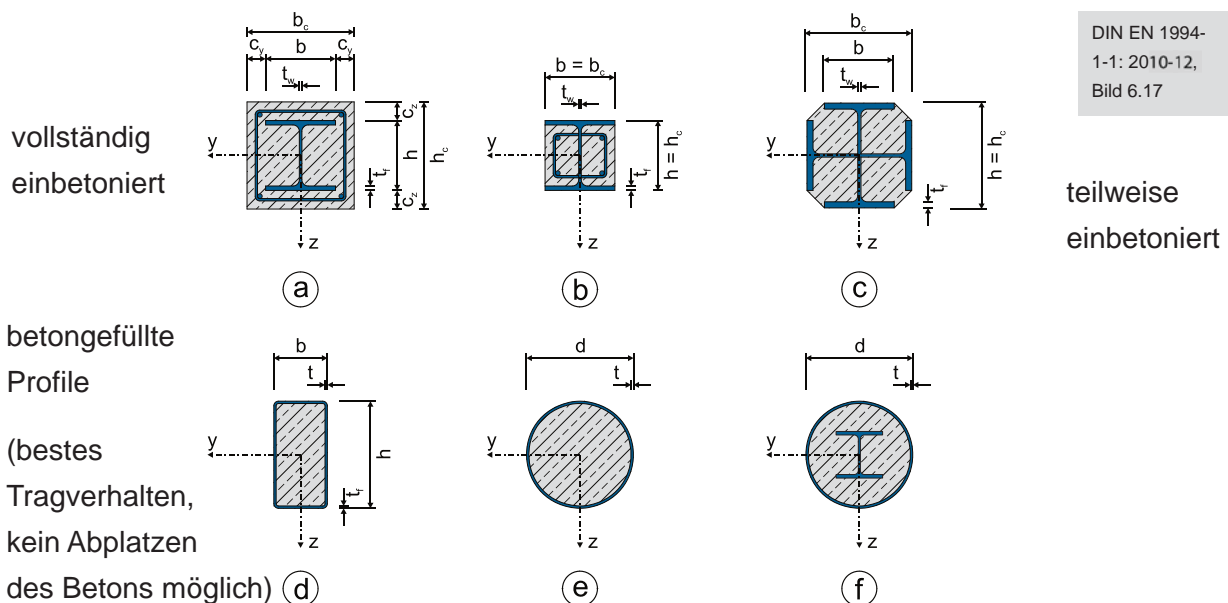
- Kuhlmann, U., Stahlbau Kalender 2010 (Verbundbau), Ernst & Sohn, Berlin 2010
- Minnert, J., Wagenknecht, G., Verbundbau-Praxis, Berechnung und Konstruktion nach Eurocode 4, Beuth Verlag, Berlin 2013

Verbundstützen

1. Verbundstützen

1.1 Allgemeines

- Typische Querschnitte von Verbundstützen



DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 6.7

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Bild 6.17

1.1 Allgemeines

- Voraussetzungen für die Berechnung von Verbundstützen
 - Einfluss des Langzeitverhaltens (Kriechen und Schwinden) ist zu erfassen (darf aber vernachlässigt werden, falls der Zuwachs der Verformungen unter der kriecherzeugenden Belastung weniger als 10 % beträgt)
 - Imperfektionen sind zu berücksichtigen (im vereinfachten Verfahren eingearbeitet)
 - Beton auf Zug wird nicht berücksichtigt
 - Im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird die Streckgrenze des Profilstahls erreicht, d.h. vor Erreichen der Streckgrenze treten keine lokalen Instabilitäten (Beulen) auf (Nachweis über c/t -Verhältnis)

DIN EN 1994-1-
1:2010-12, Kap.
5.2.1(3)

→ ausreichende Materialstärken

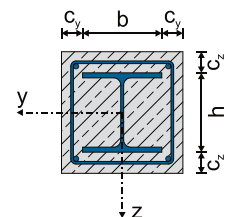
1.2 Grundgedanken der Bemessung

1.2 Grundgedanken der Bemessung

1.3 Vereinfachtes Nachweisverfahren für Verbundstützen

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 6.7.3

- Allgemeines
 - Basierend auf den Europäischen Knickspannungskurven und den vollplastischen Querschnittswiderständen
 - Imperfektionen sind im Verfahren eingearbeitet
 - Vereinfachungen durch in Versuchen abgesicherte Reduktionsfaktoren
 - **Anwendungsbereich**
 - doppelsymmetrische Querschnitte
 - Anforderungen an die Betondeckung
 - maximaler Bewehrungsanteil von 6%
 - maximale Schlankheit: $\bar{\lambda} \leq 2,0$
 - $0,2 \leq \delta \leq 0,9$ mit $\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{pl,Rd}}$
- Abgrenzung Stahlbetonstütze ($\delta < 0,2$) / Stahlstütze ($\delta > 0,9$)



Verbundstützen

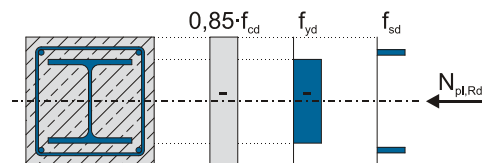
- Normalkraftwiderstand des Querschnitts
 - plastischer Normalkraftwiderstand = Σ Widerstände der Querschnittseinselteile

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd}$$

betongefüllte Hohlprofile → 1,0



Schutz vor Umgebungseinflüssen, daher weniger Einfluss auf die Festigkeit



- Normalkraftwiderstand des Querschnitts

Bei ausbetonierten, runden Stützen: Einfluss der Umschnürungswirkung darf berücksichtigt werden, wenn:

- $\bar{\lambda} \leq 0,5$ (gedrungene Stützen)
- $e/d \leq 0,1$ mit $e = M_{Ed} / N_{Ed}$ (maßgeblich auf Druck beanspruchte Stützen)

dann:
$$N_{pl,Rd} = \eta_a \cdot A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot f_{cd} \cdot \left(1 + \eta_c \cdot \frac{t}{d} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s \cdot f_{sd}$$

- für Druckglieder mit $e = 0$

$$\eta_a = \eta_{a0} = 0,25 \cdot (3 + 2\bar{\lambda}) \leq 1,0 \quad \eta_c = \eta_{c0} = 4,9 - 18,5\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 \geq 0$$

- für Druckglieder mit M+N, $0 \leq e/d \leq 0,1$

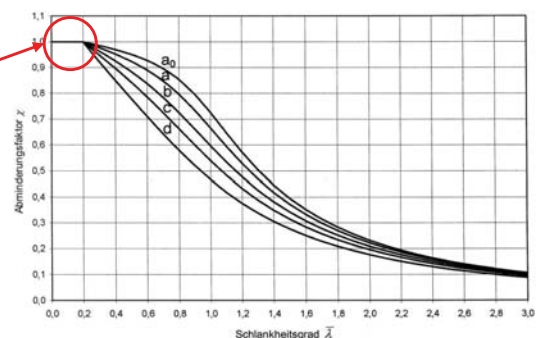
$$\eta_a = \eta_{a0} + (1 - \eta_{a0}) \cdot \left(10 \cdot \frac{e}{d} \right) \quad \eta_c = \eta_{c0} \cdot \left(1 - 10 \cdot \frac{e}{d} \right)$$

- Keine Stabilitätsgefahr, wenn

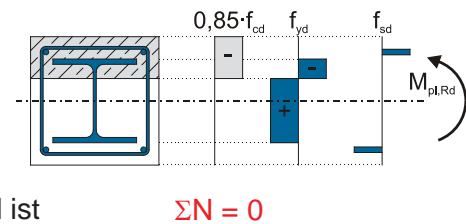
- bezogene Schlankheit

$$\bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \rightarrow \quad \chi = 1,0$$

- $N_{Ed} \leq 0,04 \cdot N_{cr}$



- Momentenwiderstand des Querschnitts
 - Annahme: vollplastische Spannungsverteilung
 - Keine Berücksichtigung des Betons im Zugbereich
 - Plastische Nulllinie unter der Berücksichtigung, dass die Resultierende der Normalspannungen gleich Null ist



- Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}$
 - Die bezogene Schlankheit der Verbundstütze ergibt sich über die Knicklast N_{cr} der Stütze und dem Normalkraftwiderstand des Querschnitts $N_{pl,Rk}$ zu

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} \quad \text{mit} \quad N_{cr} = \frac{(EI)_{eff} \cdot \pi^2}{L_{cr}^2} \quad (\text{Eulerfall 2!})$$

- Der Einfluss des Kriechens und Schwindens wird erst bei sehr schlanken Stützen maßgebend.

Verbundstützen

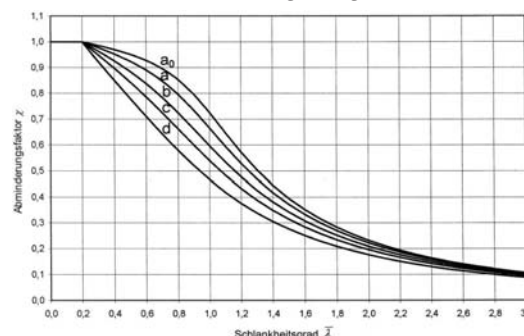
- Effektive Biegesteifigkeit $(EI)_{eff}$
 - Addition der einzelnen Biegesteifigkeiten der Querschnittskomponenten

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + E_s \cdot I_s + K_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$K_e \rightarrow$ Berücksichtigung der Rissbildung im Beton ($K_e = 0,6$)

- Planmäßig zentrischer Druck
 - Für jede Hauptachse des Querschnitts ist nachzuweisen, dass die Bemessungsnormalkraft N_{Ed} nicht die Normalkrafttragfähigkeit der Stütze überschreitet:

$$N_{Ed} \leq \chi \cdot N_{pl,Rd}$$



Beispiel 8: Verbundstütze

Knicklänge: $L_{cr} = 4,20 \text{ m}$

Belastung: $N_{Ed} = 7500 \text{ kN}$

Beton C 50/60:

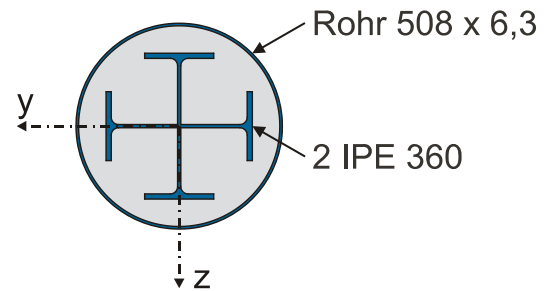
$$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_C = 1,5 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 33\frac{1}{3} \text{ N/mm}^2$$

Baustahl S 355 (IPE):

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_{M0} = 1,0 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad A = 72,7 \text{ cm}^2$$

Baustahl S 235 (Rohr):

$$f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_{M0} = 1,0 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ N/mm}^2$$



Ziel: Nachweis der Tragfähigkeit für zentrische Belastung, Einfluss aus Kriechen und Schwinden kann vernachlässigt werden.

Querschnittswerte

Querschnittsparameter δ

Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}$

Einfluss aus Kriechen und Schwinden



→ wird hier vernachlässigt

Einfluss der Umschnürungswirkung

→ bei gedrunenen Stützen
mit geringer Lastausmitte

DIN EN 1994-
1-1:2010-12,
Kap. 6.7.3.2(6)

Reduktionsfaktor χ

ausbetonierte kreisförmige und rechteckige Hohlprofile 	$\rho_b \leq 3 \%$	y-y und z-z	DIN EN 1994- 1-1:2010-12, Tab. 6.2	
	$3\% < \rho_b \leq 6 \%$	y-y und z-z		
ausbetonierte Röhre mit zusätzlichem I-Profilen als Einstellprofil 		y-y	b	1/200
		z-z	b	1/200

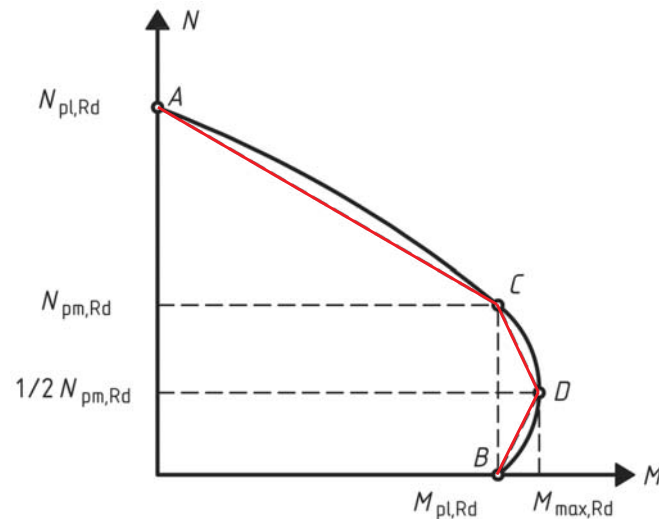
Biegeknicknachweis

DIN EN 1994-
1-1:2010-12,
Kap. 6.7.3.5

1.2 M-N-Interaktion (Verbundstützen mit Druck und Biegung)

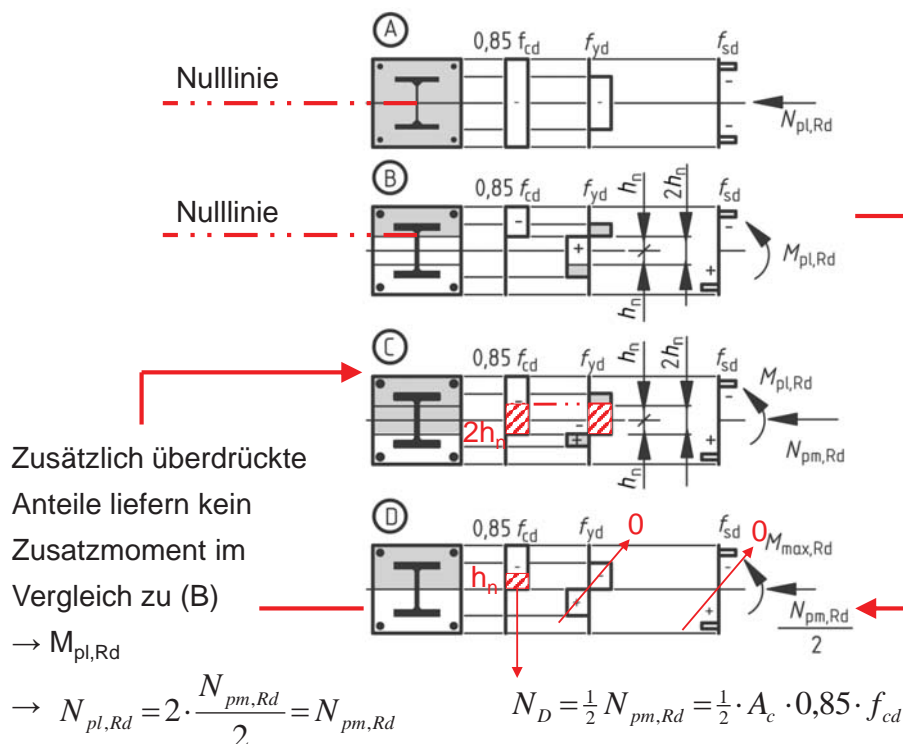
1.2 M-N-Interaktion (Verbundstützen mit Druck und Biegung)

- Interaktionskurve für Druck und einachsige Biegung



DIN EN 1994-1-1:2010-12, Bild 6.19

Verbundstützen



- **Punkt A**

- vollplastischer Normalkraftwiderstand

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + 0,85 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd}$$

- **Punkt B**

- Bei reiner Momentenbeanspruchung ergibt sich die plastische Nulllinie durch die Summe aller horizontalen Kräfte (siehe auch Verbundträgerberechnung)
- Die plastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ ergibt sich aus der Momentensumme der inneren Normalkräfte

- **Punkt D**

- Da die innere Normalkraft bei reiner Momentenbeanspruchung gleich Null ist, kann die resultierende Normalkraft $\frac{1}{2}N_{pm,Rd}$ nur aus zusätzlich überdrückten Querschnittsteilen herrühren $\rightarrow h_n$

- Die innere Normalkraft ergibt sich nur aus den Betonanteilen des Querschnitts, da sich die Anteile aus Stahl und Bewehrung aufheben

$$\frac{1}{2} N_{pm,Rd} = \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

- Spannungsnulllinie liegt auf der Querschnittsmittellinie ($x_{pl} + h_n$). Alle Spannungsanteile liefern bei der Bildung der Momentensumme um die Mittellinie positive Anteile \rightarrow maximales Biegemoment

$$M_{max,Rd} = W_{pl,a} \cdot f_{yd} + \frac{1}{2} \cdot W_{pl,c} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} + W_{pl,s} \cdot f_{sd}$$

- **Punkt C**

- Die plastische Nulllinie ist über die Mittellinie hinaus zu verschieben, bis erneut der Abstand h_n überdrückt ist. Die zusätzlich überdrückten Anteile heben sich auf. Für das innere Moment ergibt sich somit wieder $M_{pl,Rd}$
- Die resultierende Normalkraft ist doppelt so groß wie bei Punkt D $\rightarrow N_{pm,Rd}$

Beispiel 9: Verbundstütze (50cm x 50cm)

Knicklänge: $L_{cr} = 5,00 \text{ m}$

Belastung: $N_{Ed} = 6500 \text{ kN}$

Beton C 50/60:

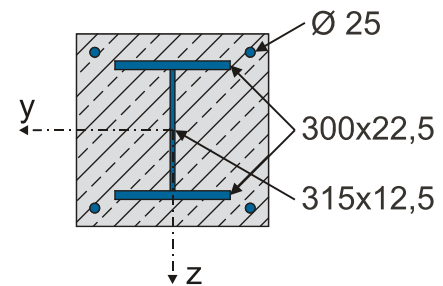
$$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_C = 1,5 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 33\frac{1}{3} \text{ N/mm}^2 \quad c_{nom} = 3,5 \text{ cm}$$

Baustahl S 355:

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

Betonstahl S 500:

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



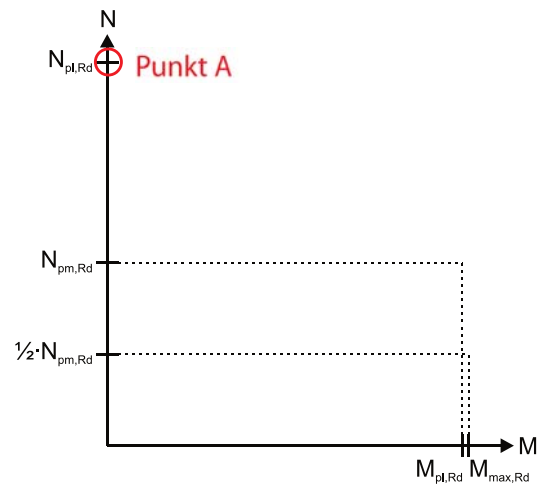
gesucht: Interaktionskurve (Polygonzug) und maximal zusätzlich aufnehmbares Moment

Querschnittswerte

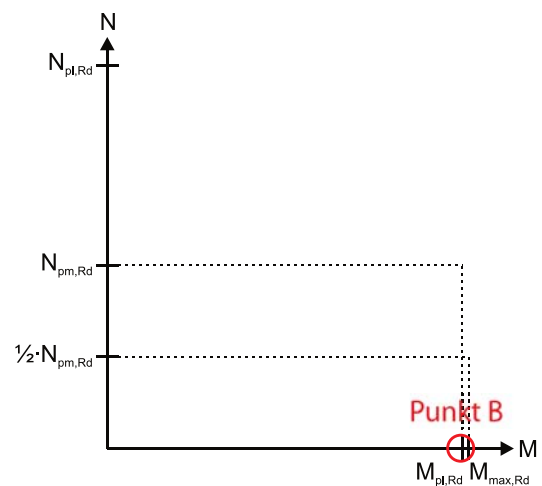
E-Moduln

Interaktionskurve

- Punkt A



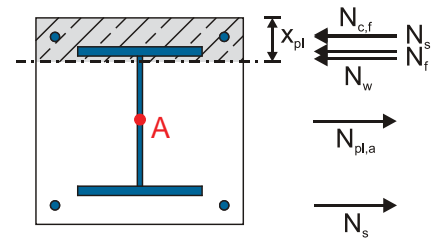
- Punkt B:
- Lage der plastische Nulllinie



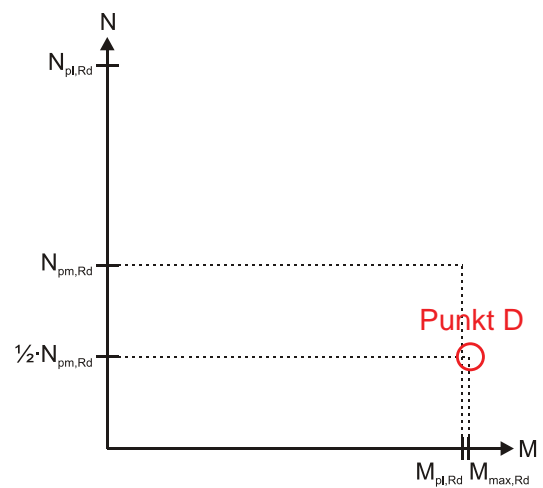
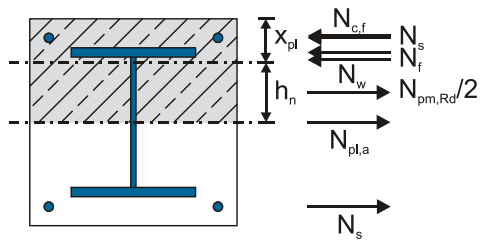
- Punkt B:

- Punkt B:

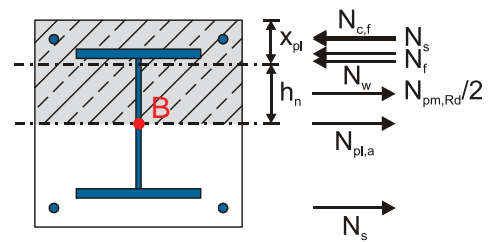
- plastische Momententragfähigkeit



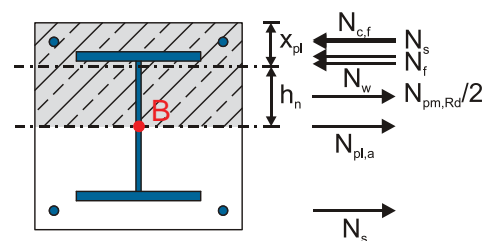
- Punkt D



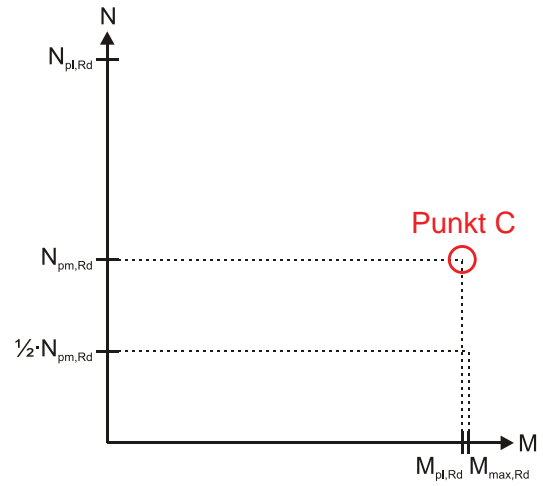
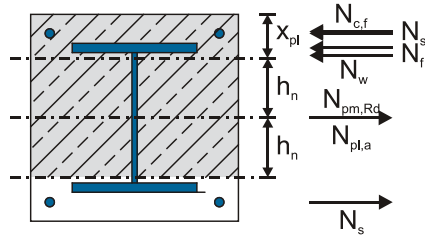
- maximale Momententragfähigkeit



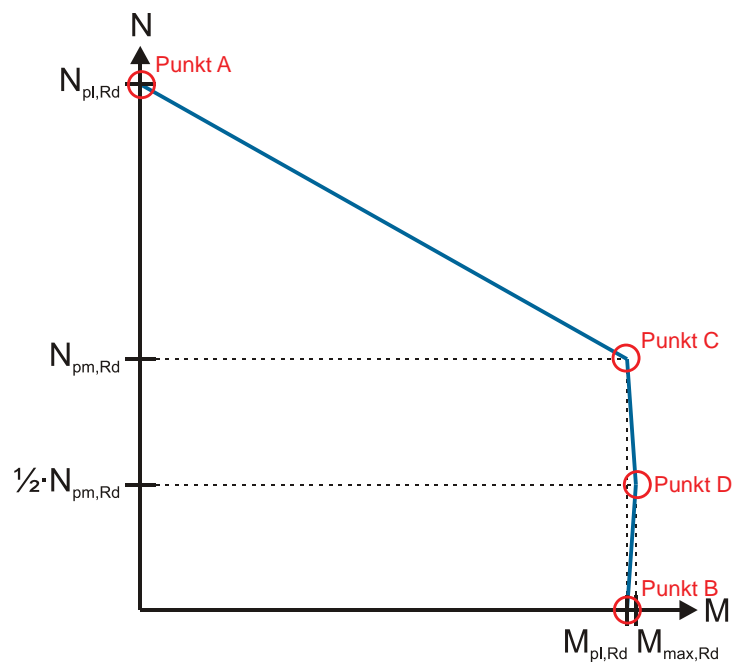
- maximale Momententragfähigkeit



- Punkt C



- Interaktionskurve



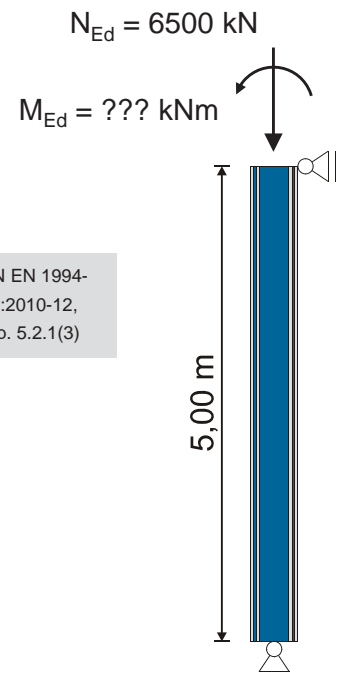
Maximal aufnehmbares Moment

- Kriechen und Schwinden

wird hier vernachlässigt

- Berechnung nach Theorie II. Ordnung

$\alpha_{cr} \geq 10 \rightarrow$ Berechnung nach Theorie I. Ordnung



Euler Fall 2

