

Verbundbau - WS 2014/2015

5. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

13.11.2014



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



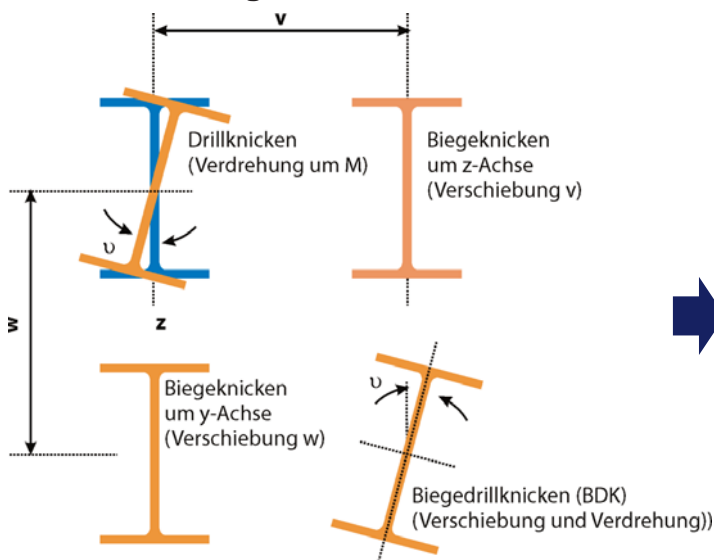
Weitere Literatur

- 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

Biegedrillknicken (Stahlbau II)

1. Biegedrillknicken

Wiederholung



Biegeknicken (Stahlbau I):

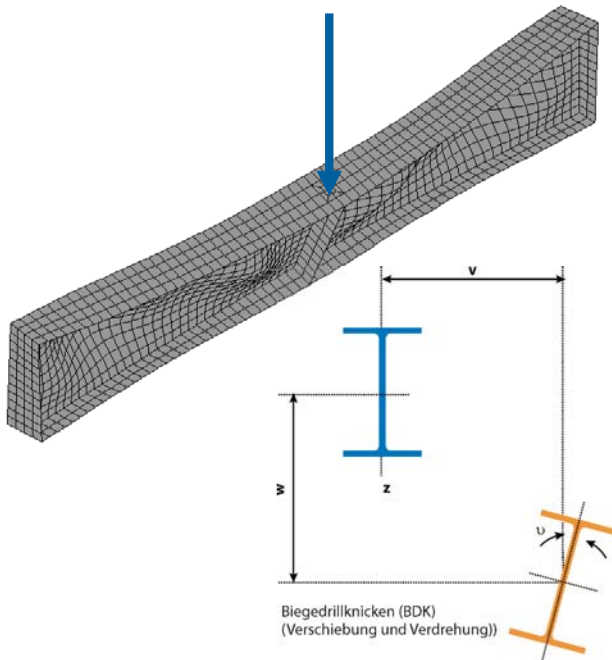
Verformungen treten nur in der betrachteten (Knick-) ebene auf, translatorische Bewegung in eine Richtung (w, v)

Biegedrillknicken (Stahlbau II):

räumliche Verformungsfigur, Verschiebung in eine oder zwei Richtungen + Verdrehung des Querschnitts ($w+v+u$)

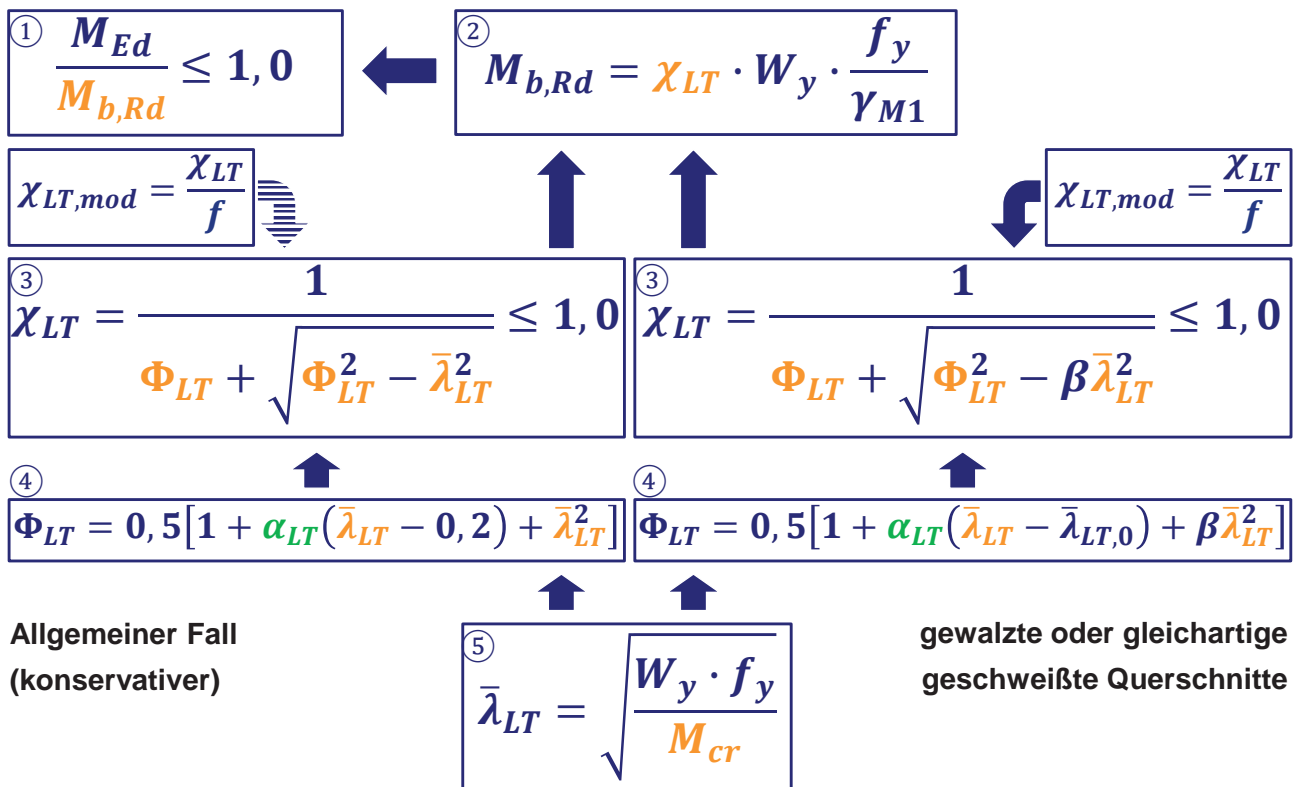
1. Biegedrillknicken

Wiederholung



- tritt bei biegebeanspruchten Trägern mit und ohne Normalkraft auf, wobei das Biegemoment maßgebend ist
- hohe Biegedruckspannungen führen in destabilisierender Weise zu einem seitlichen Ausknicken des Druckgurtes
- der Träger entzieht sich im Versagensfall den Lasten durch gleichzeitiges Verdrehen um die Stabachse und Verschieben in Richtung der Querschnittsachsen
- der Versagenszustand wird durch das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr} gekennzeichnet

Biegedrillknicken (Stahlbau II)



1. Biegedrillknicken

Wiederholung

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{GI_t \cdot l^2}{EI_z \cdot \pi^2} + \frac{I_w}{I_z}} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l^2} \cdot \sqrt{0,039 \cdot \frac{I_t \cdot l^2}{I_z} + \frac{I_w}{I_z}}$$

Herleitung für konstanten Momentenverlauf \Downarrow Berücksichtigung des Belastungsfalls

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l_{LT}^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + 0,039 \cdot \frac{l_{LT}^2 \cdot I_T}{I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

k_z Knicklängenbeiwert für Knicken aus der Ebene

k_w Beiwert zur Verwölbungs-berücksichtigung
(keine Vorkehrungen zur Verminderung der Verwölbung: $k_w = 1,0$)

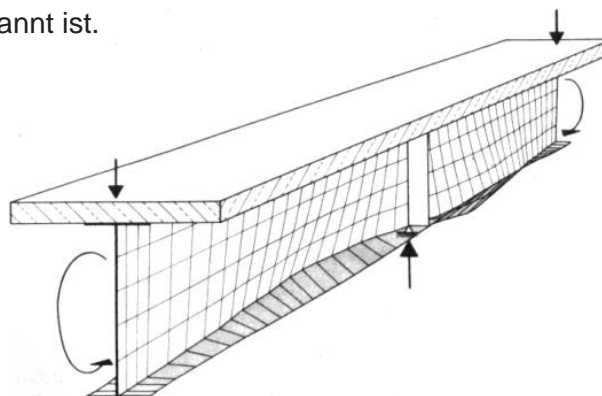
C_1, C_2 Beiwerte zur Berücksichtigung des Belastungsfalls

Biegedrillknicken

1. Biegedrillknicken

1.1 Allgemeines

- Biegedrillknicken (BDK): seitliches Ausweichen des gedrückten Stahlträgerflansches
- Der Nachweis gegen BDK ist in den negativen Momentenbereichen von durchlaufenden Verbundträgern zu führen.
- Das BDK-Verhalten bei Verbundträgern ist wesentlich günstiger als bei reinen Stahlträgern, da der Obergurt durch die Betonplatte seitlich gehalten und zusätzlich elastisch eingespannt ist.



DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Kap. 6.4

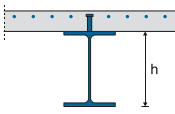
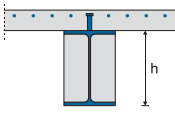
1.2 Vereinfachter Biegedrillknicknachweis

- BDK-Nachweis kann generell entfallen, wenn: $\bar{\lambda}_{LT} < 0,4$ oder $\frac{M_{Ed}}{M_{Cr}} < 0,16$
- BDK-Nachweis kann für Walzprofile mit einer Grenzhöhe (siehe Tabelle) entfallen (dazu müssen Bedingungen für das Stützweitenverhältnis und das Verhalten von Verkehrs- zu Eigenlasten eingehalten werden)

DIN EN 1993-1-1: 2010-12, 6.3.2.2 (4)

Umdruck „Stahlbau IV“, Kap. 2.3.6.1

DIN EN 1994-1-1: 2010-12, Tab. 6.1

		Baustahl			
	Stahlprofil	S 235	S 275	S 355	S 420 S 460
	IPE	600	550	400	270
	HE	800	700	650	500
	IPE	800	750	600	420
	HE	1000	900	850	650

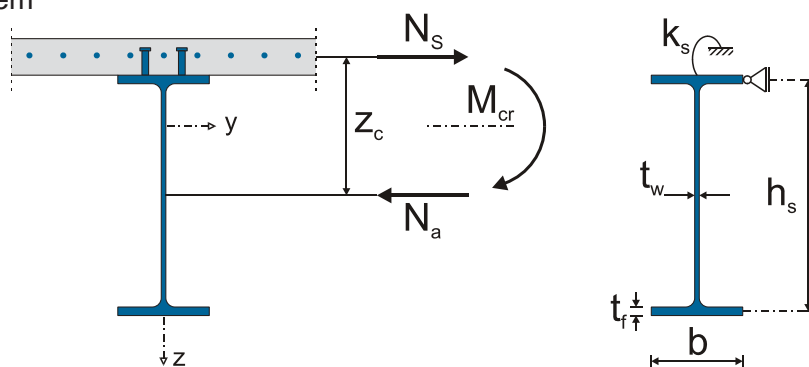
1.3 Nachweis gegen Biegedrillknicken

- Bemessungswert der Momententragfähigkeit

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{Rd}$$

1.4 Berechnung des idealen BDK-Momentes M_{cr}

- Ersatzsystem



Umdruck
„Stahlbau IV“,
(2.48) ff.

$$M_{cr} = \frac{k_c \cdot C_4}{L} \cdot \sqrt{\left(G \cdot I_{at} + k_s \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \right) \cdot E_a \cdot I_{afz}}$$

- Der Betongurt stellt für den Stahlträger eine horizontale Halterung des Obergurtes sowie eine kontinuierliche drehelastische Bettung (k_s) dar. Über die Drehfeder k_s können außerdem Einflüsse aus der Profilverformung erfasst werden

1.4 Berechnung des idealen BDK-Momentes M_{cr}

$$M_{cr} = \frac{k_c \cdot C_4}{L} \cdot \sqrt{\left(G \cdot I_{at} + k_s \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \right) \cdot E_a \cdot I_{afz}}$$

k_c	Beiwert für die Form des Stahlquerschnitts
C_4	Momentenbeiwert für die Form der Momentenlinie
k_s	Beiwert für die federelastische Einspannung in den Betongurt
I_{at}	St. Vernantscher Torsionswiderstand des Baustahlprofils
I_{afz}	Trägheitsmoment des Untergurtes um die z -Achse

$$I_{afz} = \frac{t_f \cdot b_f^3}{12}$$

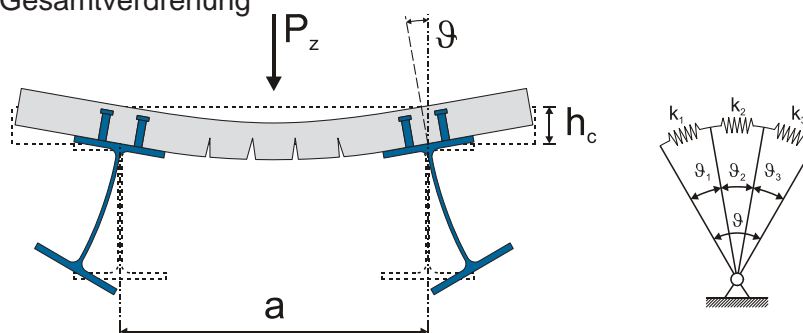
- Beiwert k_c für die Form des Stahlquerschnitts
(doppelt-symmetrische Stahlquerschnitte)

- Faktor C_4 für den Einfluss des Momentenverlaufes

Belastung und Lagerungsbedingungen	Momentenverlauf	C_4								
		$\psi = 0,50$	$\psi = 0,75$	$\psi = 1,00$	$\psi = 1,25$	$\psi = 1,50$	$\psi = 1,75$	$\psi = 2,00$	$\psi = 2,25$	$\psi = 2,50$
		41,5	30,2	24,5	21,1	19,0	17,5	16,5	15,7	15,2
		33,9	22,7	17,3	14,1	13,0	12,0	11,4	10,9	10,6
		28,2	18,0	13,7	11,7	10,6	10,0	9,5	9,1	8,9
		21,9	13,9	11,0	9,6	8,8	8,3	8,0	7,8	7,6
		28,4	21,8	18,6	16,7	15,6	14,8	14,2	13,8	13,5
		12,7	9,8	8,6	8,0	7,7	7,4	7,2	7,1	7,0

Belastung und Lagerungsbedingungen	Momentenverlauf	$\frac{L}{L_c}$	C_4				Belastung und Lagerungsbedingungen	Momentenverlauf	C_4				
			$\psi = 0,00$	$\psi = 0,50$	$\psi = 0,75$	$\psi = 1,00$			$\psi = 0,00$	$\psi = 0,25$	$\psi = 0,50$	$\psi = 0,75$	$\psi = 1,00$
		0,25	47,6	33,8	26,6	22,1			11,1	9,5	8,2	7,1	6,2
		0,50	12,5	11,0	10,2	9,3			11,1	12,8	14,6	16,3	18,1
		0,75	9,2	8,8	8,6	8,4							
		1,00	7,9	7,8	7,7	7,6							

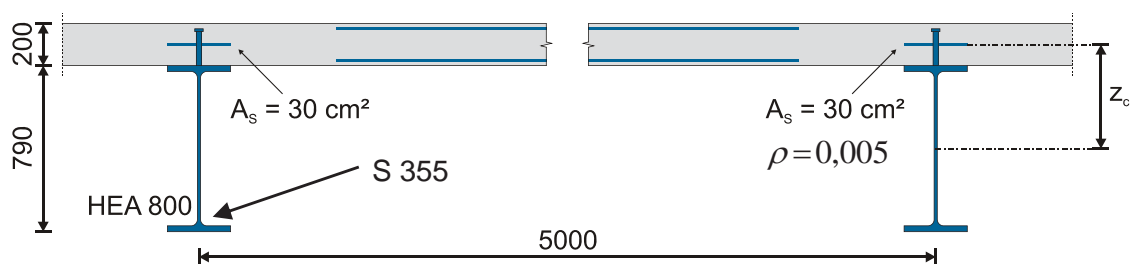
- Beiwert k_s für die federelastische Einspannung in den Betongurt
- Elastische Gesamtverdrehung



- Beiwert k_s für die federelastische Einspannung in den Betongurt
 1. Betondecke (k_1)

- Beiwert k_s für die federelastische Einspannung in den Betongurt
 2. Profilverformung (k_2)

Beispiel 6: Biegedrillknicken



Querschnittswerte HEA 800:

$$A_a = 286 \text{ cm}^2$$

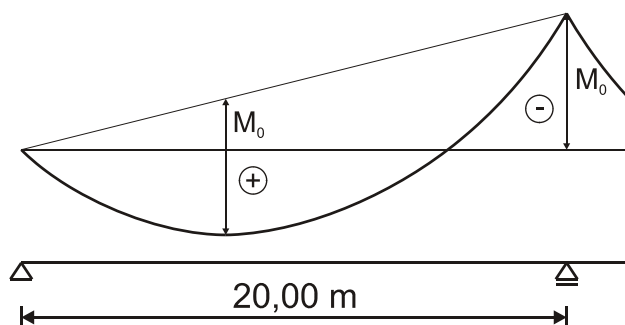
$$I_{a,y} = 30,34 \text{ cm}^2 \text{ m}^2$$

$$I_{a,z} = 1,26 \text{ cm}^2 \text{ m}^2$$

$$I_{a,f,z} = 0,63 \text{ cm}^2 \text{ m}^2$$

$$I_{a,t} = 0,0599 \text{ cm}^2 \text{ m}^2$$

$$i_x^2 = 0,11 \text{ m}^2$$



Querschnittsklassifizierung

- Geometrische Parameter

$$h = 79 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

$$t_w = 1,5 \text{ cm}$$

$$r = 3,0 \text{ cm}$$

$$c_w =$$

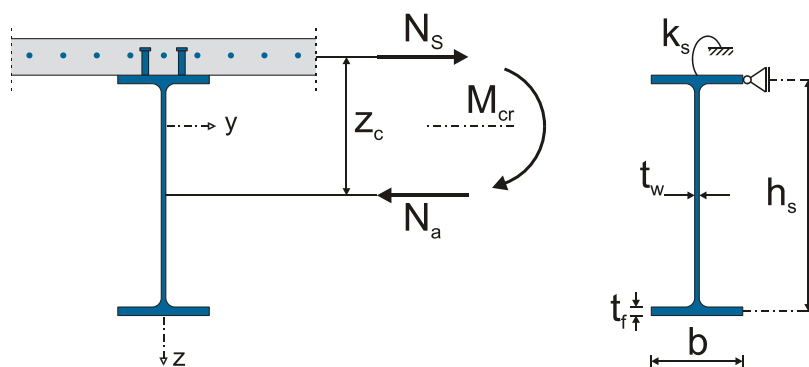
$$c_f =$$

- vollplastische Normalkräfte N_i

- Klassifizierung des Steges

- Klassifizierung des Flansches

M_{cr}



$$M_{cr} = \frac{k_c \cdot C_4}{L} \cdot \sqrt{\left(G \cdot I_{at} + k_s \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \right) \cdot E_a \cdot I_{afz}}$$

Querschnittswerte des Gesamtstahlquerschnittes



Ermittlung der Drehfedersteifigkeit

- Drehfederkonstante k_1 des Betongurtes

Querschnittswerte des Gesamtstahlquerschnittes

- Drehfederkonstante k_2 aus Profilverformung des Baustahlquerschnittes
- Resultierende Drehfederkonstante k_ϕ

Beiwerte

Belastung und Lagerungsbedingungen	Momentenverlauf				
		$\psi = 0,50$	$\psi = 0,75$	$\psi = 1,00$	$\psi = 1,25$
		41,5	30,2	24,5	21,1

Ideales Biegedrillknickmoment M_{cr}

Berechnung des Reduktionsfaktors χ_{LT}

- Charakteristisches plastisches Moment des Verbundquerschnittes $M_{pl,Rk}$

Berechnung des Reduktionsfaktors χ_{LT}

Ermittlung des Schlankheitsgrades:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rk}}{M_{cr}}}$$

DIN EN 1993-1-1, (Gl. 6.56)

Berechnung des Reduktionsfaktors χ_{LT}

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (für gewalzte Profile):

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

DIN EN 1993-1-1, (Gl. 6.57)

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien
gewalzt I-Profil	$h/b \leq 2$	a
	$h/b = 79/30 > 2$	b

Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.57)

DIN EN 1993-1-1, (Tab. 6.5)

Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
a	0,21
b	0,34

Empfohlene Imperfektionsbeiwerte α_{LT} der Knicklinien für das Biegedrillknicken

DIN EN 1993-1-1, (Tab. 6.3)

Berechnung des Reduktionsfaktors χ_{LT}

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (für gewalzte Profile):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0$$

DIN EN 1993-1-1, (Gl. 6.57)

Biegedrillknicken

Grenztragsmoment des Verbundquerschnittes $M_{b,Rd}$

- vollplastisches Momenttragfähigkeit $M_{pl,Rd}$

- Grenztragsmoment $M_{b,Rd}$