

Stahlbau II - SS 2016

6. Vorlesung / Übung

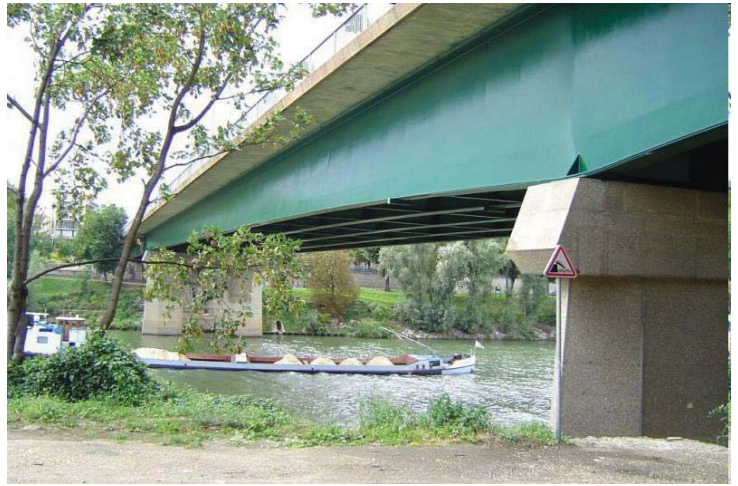
Daniel Pak

02.06.2016



Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
14.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
21.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
28.04.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung
19.05.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung, Verbände und Aussteifungen
02.06.2016	Stabilität	Biegeknicken von Stabtragwerken, Rahmen Biegedrillknicken
09.06.2016	Sonderfragen der Bemessung	Örtliche Lastenleitung / Rahmenecken
16.06.2016	Ermüdung	Grundlagen, Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
23.06.2016	Ermüdung	Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
30.06.2016	Schweißverfahren	Vertiefte Kenntnisse des Schweißens
07.07.2016 / 14.07.2016 21.07.2016	Ausweichtermin bzw. Fragen zur Klausur	



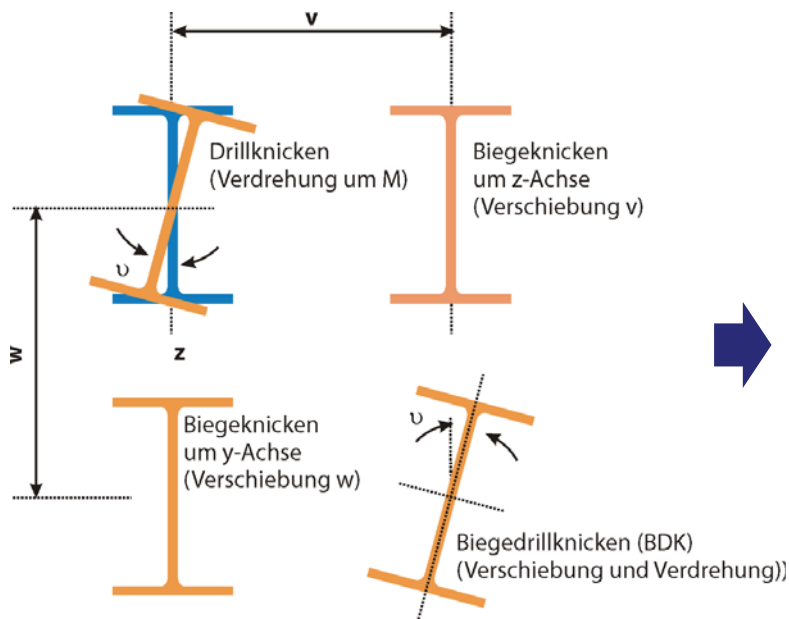
Normen

- Erhältlich als Download in www.perinorm.com
DIN EN 1993-1-1:2010 + NA



Weitere Literatur

- Kindmann, R.: Stahlbau, Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, Verlag Ernst und Sohn
- Roik, K.: Vorlesungen über Stahlbau, Verlag Ernst und Sohn, Berlin/München/Düsseldorf
- Bode, H.: Stahlbau III
- Petersen, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg Verlag, Braunschweig/München 1982



Biegeknicken (Stahlbau I):

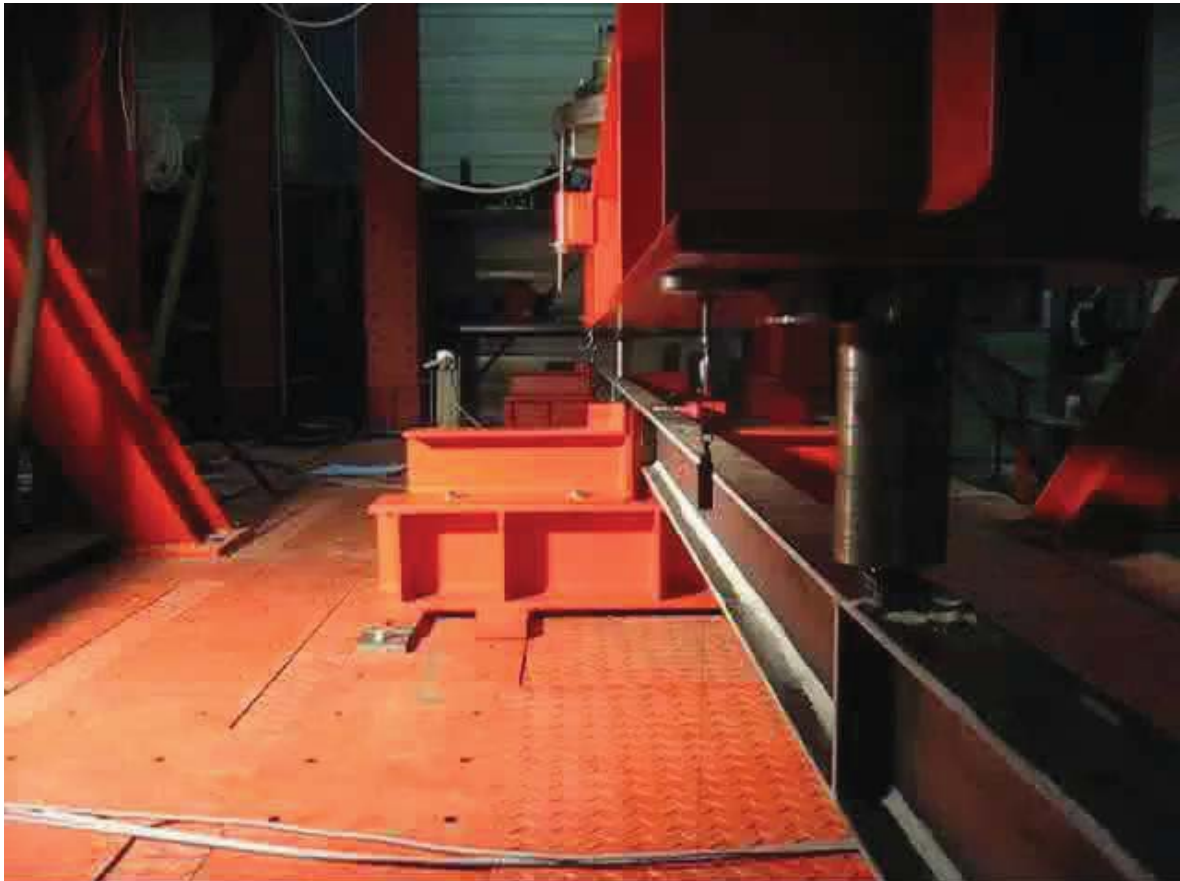
Verformungen treten nur in der betrachteten (Knick-) ebene auf, translatorische Bewegung in eine Richtung (w, v)

Biegedrillknicken:

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

Die Gefahr des Biegedrillknickens besteht vor allem bei dünnwandigen offenen Querschnitten, die nur eine geringe Drillsteifigkeit besitzen

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile





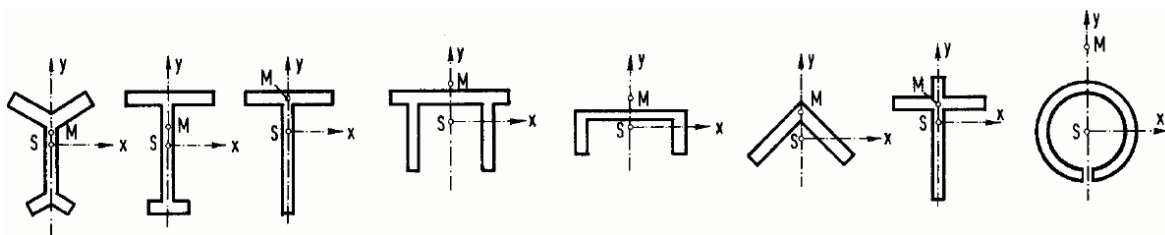
Stabilitätsversagen eines Verbundbrückenträgers infolge Eigengewicht nach Lösen der Kopplungselemente, A4 bei Düren

(Quelle: Naumes, Johannes. Biegeknicken und Biegedrillknicken von Stäben und Stabsystemen auf einheitlicher Grundlage, Dissertation RWTH, 2009)

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

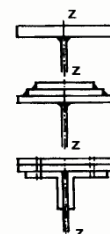
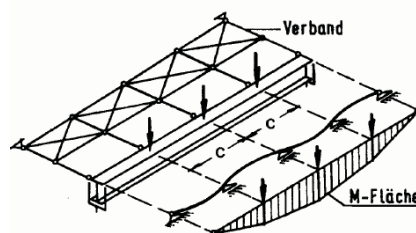
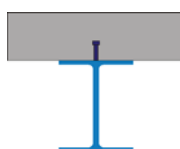
Die Gefahr des Biegedrillknickens besteht vor allem bei

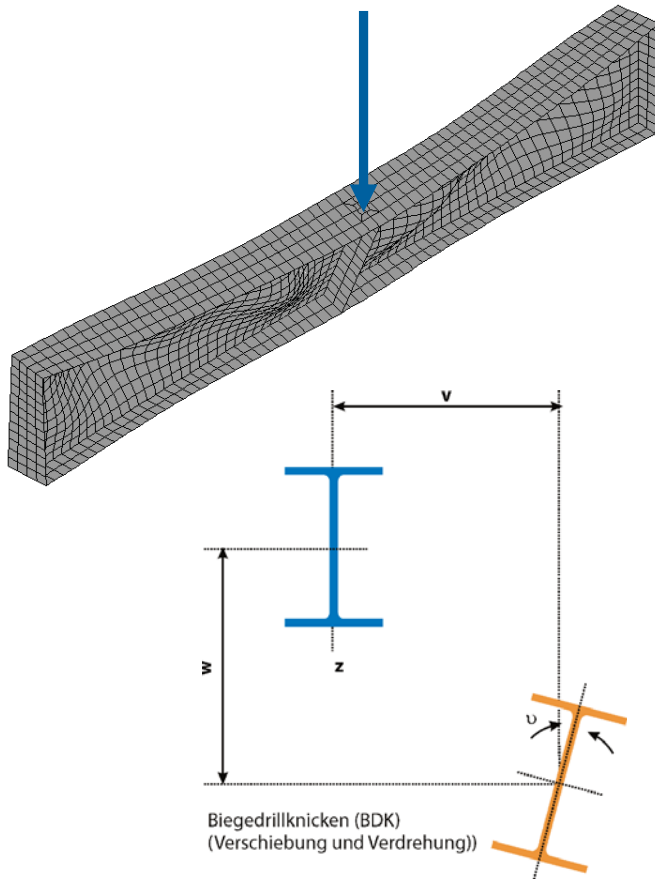
- dünnwandigen offenen Querschnitten, die nur eine geringe Drillsteifigkeit besitzen.



Nicht biegedrillknickgefährdet sind:

- geschlossene Querschnitte wie Kasten- oder Kreisquerschnitte
- Bauteile, die durch ausreichend seitliche Lagerungen gehalten sind.





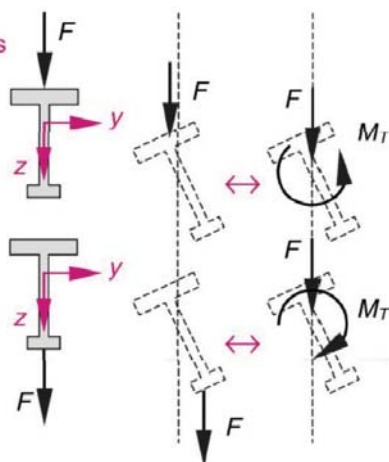
- tritt bei biegebeanspruchten Trägern mit und ohne Normalkraft auf, wobei das Biegemoment maßgebend ist
- hohe Biegedruckspannungen führen in destabilisierender Weise zu einem seitlichen Ausknicken des Druckgurtes
- der Träger entzieht sich im Versagensfall den Lasten durch gleichzeitiges Verdrehen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

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

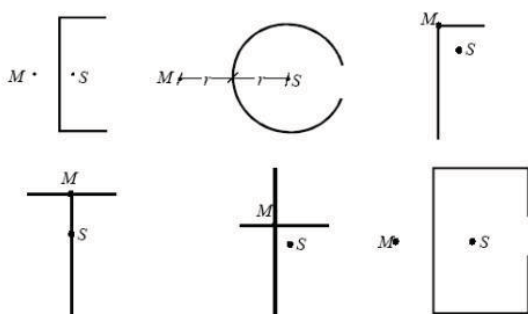
b) Einfluss des Lastangriffspunktes

Destabilisierende Wirkung durch aufgesetzte Lasten

Stabilisierende Wirkung durch angehängte Lasten



Mit der seitlichen Auslenkung der Gurte wandern in der Regel die Lasten mit ihren Lastangriffspunkten aus der Trägerachse heraus und vergrößern – mit Ausnahme der „angehängten“ Lasten – die Verdrehung des Querschnitts durch die einsetzende Torsionsbeanspruchung.



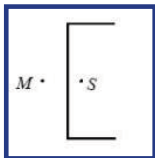
Bei einigen Querschnittsformen ist es nicht möglich, eine Querbelastung durch den Schubmittelpunkt (M) einzuleiten. Diese Querschnitte sind stark biegedrillknickgefährdet.



Bei einigen Querschnittsformen ist es nicht möglich, eine Querbewlastung durch den Schubmittelpunkt (M) einzuleiten. Diese Querschnitte sind stark biegedrillknickgefährdet.



Stabilisierung / seitliche Halterung



Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Biegeknicken: charakterisiert durch die kritische Knicklast N_{cr} (maßgebender Parameter)

Biegedrillknicken: charakterisiert durch das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr}



Ermittlung des idealen Biegedrillknickmomentes

- gerader Stab mit doppelsym. konstantem Querschnitt über die gesamte Stablänge
- keine Imperfektionen (Vorkrümmungen, residuale Spannungen,...)
- beidseitige Gabellagerung
- perfekt elastisches Materialverhalten
- Trägheitsmoment $I_z \ll I_y$
- kleine Verformungen ($\sin(\vartheta) \approx \vartheta, \cos(\vartheta) \approx 1$)
- konstanter Momentenverlauf über die gesamte Stablänge: M_t

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{EI_z \cdot GI_t} \cdot \sqrt{1 + \frac{EI_w \cdot \pi^2}{GI_t \cdot l^2}} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{GI_t \cdot l^2}{EI_z \cdot \pi^2} + \frac{I_w}{I_z}}$$

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{EI_z \cdot GI_t} \cdot \sqrt{1 + \frac{EI_w \cdot \pi^2}{GI_t \cdot l^2}} = \frac{\pi}{l^2} \cdot \sqrt{EI_z \cdot (GI_t \cdot l^2 + EI_w \cdot \pi^2)}$$

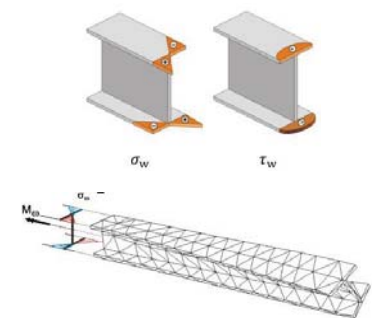
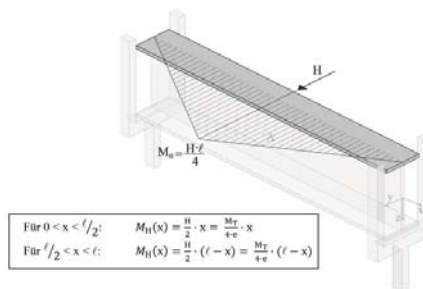
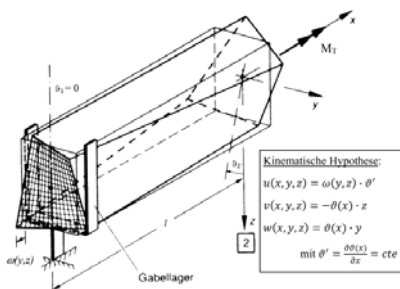
$$= \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{GI_t \cdot l^2}{EI_z \cdot \pi^2} + \frac{I_w}{I_z}}$$

I_t Torsionsträgheitsmoment des Trägers

I_w Wölbfächenmoment des Trägers

St. Venant'sche Torsion T_t

Wölb torsion T_w (Bimoment, Doppelflanschbiegung)



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

Herleitung für Gabellagerung \downarrow Berücksichtigung Knicklänge / Wölbbehind.

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

k_z Knicklängenbeiwert für Knicken aus der Ebene

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

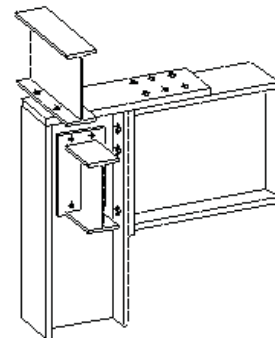
Knicklängenbeiwerte			
für Knicken aus der Ebene		für verschiedene Wölbbehinderungen	
	$k_z = 1,0$		$k_w = 1,0$
	$k_z = 0,5$		$k_w = 0,5$

Wölbbehinderung:



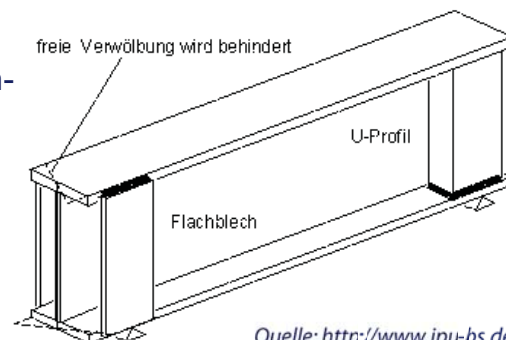
Untersuchungen an IPE-Profilen zum Einfluss der Wölbbendbehinderungen durch Kopfplatten (Lindner/Gietzelt)

- $t_{Kopfplatte} / t_{Gurt} = 1$: kein nennenswerter Traglastgewinn
- $t_{Kopfplatte} / t_{Gurt} = 3$: Traglastgewinn beträgt etwa 10% bis 15% (im Bereich mittlerer bis hoher Schlankheiten)
- $t_{Kopfplatte} / t_{Gurt} = 4$: Traglastgewinn beträgt etwa 20%
- $t_{Kopfplatte} / t_{Gurt} > 4$: kein weiterer Traglastgewinn möglich, Trägerende nahezu wölbbehindert, $k_w = 0,5$



Effekte aus Wölbbehinderungen bleiben bei reale Kopfplattendicken in Grenzen, Effekt geht bei längeren Trägern zurück.

Eine starke Behinderung der Verwölbung wird durch seitlich angeschweißte Schotte erreicht (nahezu vollständige Wölbbehinderung, $k_w = 0,5$)



Quelle: <http://www.ipu-bs.de>

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

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

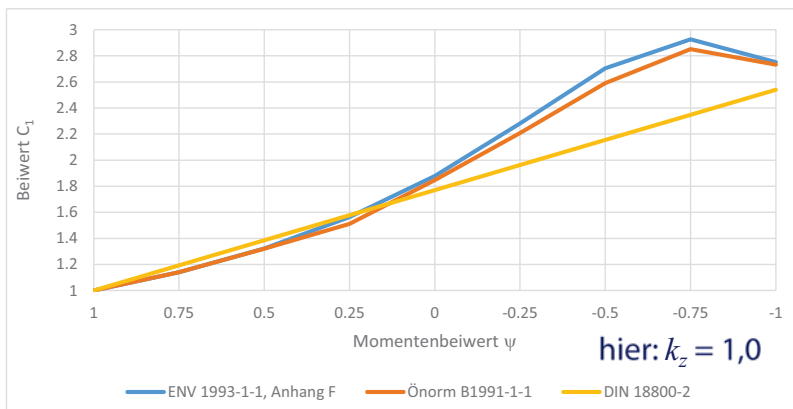
Herleitung für konstanten Momentenverlauf \downarrow Berücksichtigung des Belastungsfalls

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

C_1 Beiwert zur Berücksichtigung des Belastungsfalls

Endmomente und Auflagerbedingungen	Diagramm des Biegemoments	Werte von k_z	C_1
		1,0	1,000
		0,5	1,127
		1,0	1,141
		0,5	1,285
		1,0	1,320
		0,5	1,482

Werte für C_1 für ausgewählte Belastungsfälle (nach Önorm B1993-1-1)



C_1

Beiwert zur Berücksichtigung des Belastungsfalls

Belastungs- und Lagerungsbedingungen	Biegemomentenverlauf	ψ	Knicklängenbeiwert k_z	Beiwert C_1		
				ENV 1993-1-1, Anhang F	Önorm B1991-1-1	DIN 18800-2
		1	1	1	1	1
			0,5	1	1,127	-
		0,75	1	1,141	1,141	1,1925
			0,5	1,305	1,285	-
		0,5	1	1,323	1,32	1,385
			0,5	1,514	1,482	-
		0,25	1	1,563	1,511	1,5775
			0,5	1,788	1,73	-
		0	1	1,879	1,847	1,77
			0,5	2,15	2,027	-
		-0,25	1	2,281	2,207	1,9625
			0,5	2,609	2,341	-
		-0,5	1	2,704	2,591	2,155
			0,5	3,093	2,579	-
		-0,75	1	2,927	2,852	2,3475
			0,5	3,348	2,606	-
		-1	1	2,752	2,733	2,54
			0,5	3,149	2,39	-

17

Stahlbau II / Sommersemester 2016

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

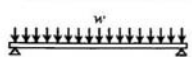

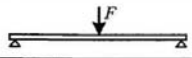

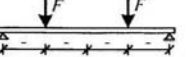

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{GI_t \cdot l^2}{EI_z \cdot \pi^2} + \frac{I_w}{I_z}} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l^2} \cdot \sqrt{0,039 \cdot \frac{I_t \cdot l^2}{I_z} + \frac{I_w}{I_z}}$$

Herleitung für konstanten Momentenverlauf \rightarrow Berücksichtigung des Belastungsfalls

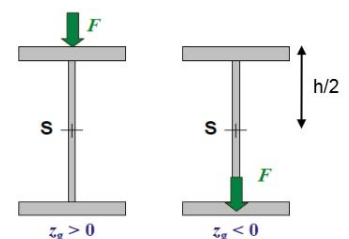
$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l_{LT}^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + 0,039 \cdot \frac{l_{LT}^2 \cdot I_T}{I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

C_1, C_2

Beiwerte zur Berücksichtigung des Belastungsfalls

Belastung und Auflagerbedingungen	Diagramm des Biegemoments	Werte von k_z	Beiwerte		
			C_1	C_2	C_3
		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,997	0,407	0,478
		1,0	1,363	0,553	0,411
		0,5	1,087	0,449	0,338
		1,0	1,040	0,431	0,562
		0,5	0,960	0,404	0,539

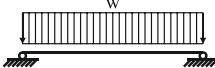

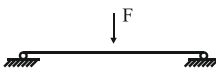
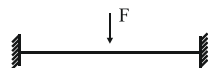
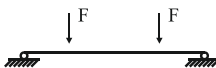





Werte für C_1 für ausgewählte Belastungsfälle (nach Önorm B 1993-1-1)



18

Stahlbau II / Sommersemester 2016

C_1, C_2 Beiwerte zur Berücksichtigung des Belastungsfalls

	1	2	3	4	5
Belastung und Auflagerbedingungen					
Biegemomentenverlauf					

Fall	k_z	Beiwert C_1		Beiwert C_2	
		Önorm B1991-1-1	Kindmann $k_w = k_z = 1$	Önorm B1991-1-1	Kindmann $k_w = k_z = 1$
1	1	1,132	1,12	0,459	0,45
	0,5	0,977	-	0,407	-
2	1	-	2,58	-	1,57
	0,5	-	-	-	-
3	1	1,363	1,35	0,553	0,65
	0,5	1,087	-	0,449	-
4	1	-	1,68	-	1,51
	0,5	-	-	-	-
5	1	1,04	1,04	0,431	0,47
	0,5	0,96	-	0,404	-

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Nachweis:

Kap. 6.3.2, EN 1993-1-1

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-1, (Gl. 6.54)

M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes

$M_{b,Rd}$ Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.2)

$W_y = W_{pl,y}$	für Querschnitte des Klasse 1 oder 2
$W_y = W_{el,y}$	für Querschnitte des Klasse 3
$W_y = W_{eff,y}$	für Querschnitte des Klasse 4
χ_{LT}	Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (Allgemeiner Fall):

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

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

$\bar{\lambda}_{LT}$	Schlankheitsgrad aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie
Φ_{LT}	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ_{LT}

Rückblick: planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe (Stahlbau I)

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:


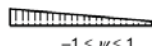




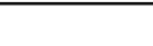

Um die Momentenverteilung zwischen den seitlichen Lagerungen von Bauteilen zu berücksichtigen, darf der Abminderungsfaktor χ_{LT} wie folgt modifiziert werden:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

EN 1993-1-1, (Gl. 6.58)

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1,0$$

Tabelle 6.6 — Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c

Momentenverteilung	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

(Modifikation lt. NAT nicht nur für gewalzte Querschnitte oder gleichartige geschweißte Querschnitte gültig, sondern auch für den allgemeinen Fall)

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (Allgemeiner Fall):

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

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

$\bar{\lambda}_{LT}$ Schlankheitsgrad aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie

α_{LT} Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie für das Biegedrillknicken

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien
gewalztetes I-Profil	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
andere Querschnitte	-	d

Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.56)

EN 1993-1-1, (Tab. 6.4)

Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
a	0,21
b	0,34
c	0,49
d	0,76

Empfohlene Imperfektionsbeiwerte α_{LT} der Knicklinien für das Biegedrillknicken

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

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1,0 \\ 1/\bar{\lambda}_{LT}^2 \end{cases} \quad \text{EN 1993-1-1, (Gl. 6.57)}$$

- $\bar{\lambda}_{LT}$ Schlankheitsgrad aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie
 Φ_{LT} Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ_{LT}
 β Korrekturfaktor der Biegedrillknicklinie für gewalzte Querschnitte

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte):

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad \text{EN 1993-1-1, (Gl. 6.57)}$$

- $\bar{\lambda}_{LT}$ Schlankheitsgrad aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie
 α_{LT} Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie für das Biegedrillknicken
 $\bar{\lambda}_{LT} = 0,4 \quad \beta = 0,75$ (nach EN 1991-1-1 NA)

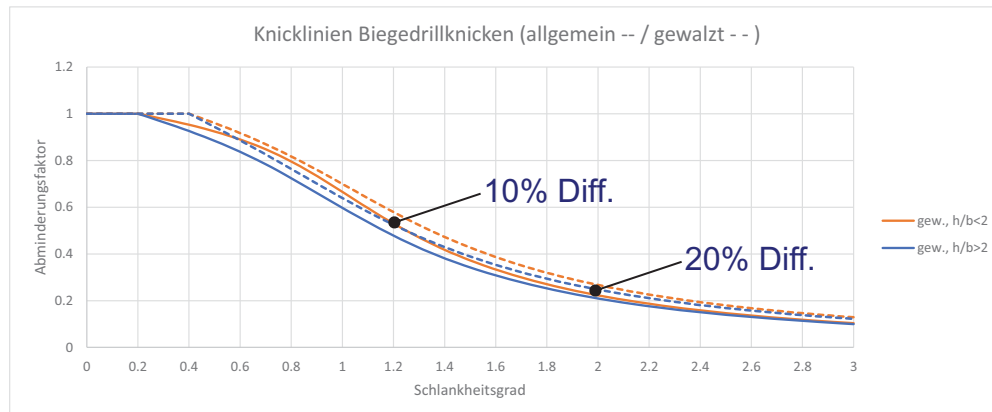
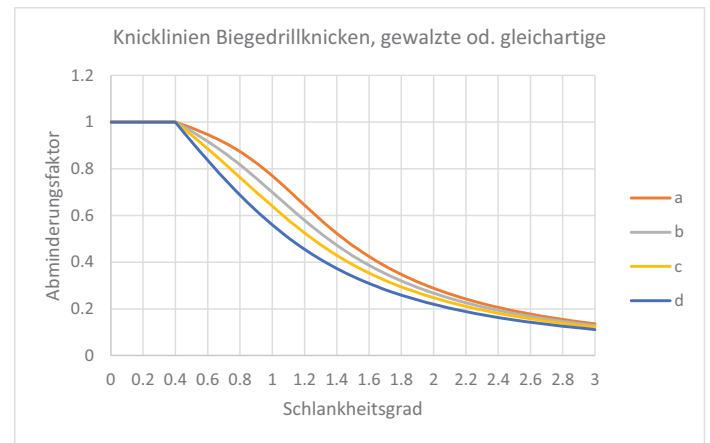
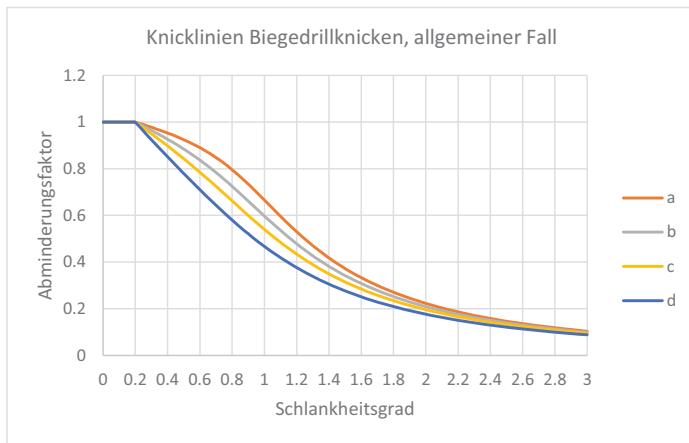
Querschnitt	Grenzen	Knicklinien	Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b	a	0,21
	$h/b > 2$	c	b	0,34
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c	c	0,49
	$h/b > 2$	d	d	0,76

Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.57)

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

Empfohlene Imperfektionsbeiwerte α_{LT} der Knicklinien für das Biegedrillknicken

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



Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

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

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

M_{cr} ideales Biegedrillknickmoment

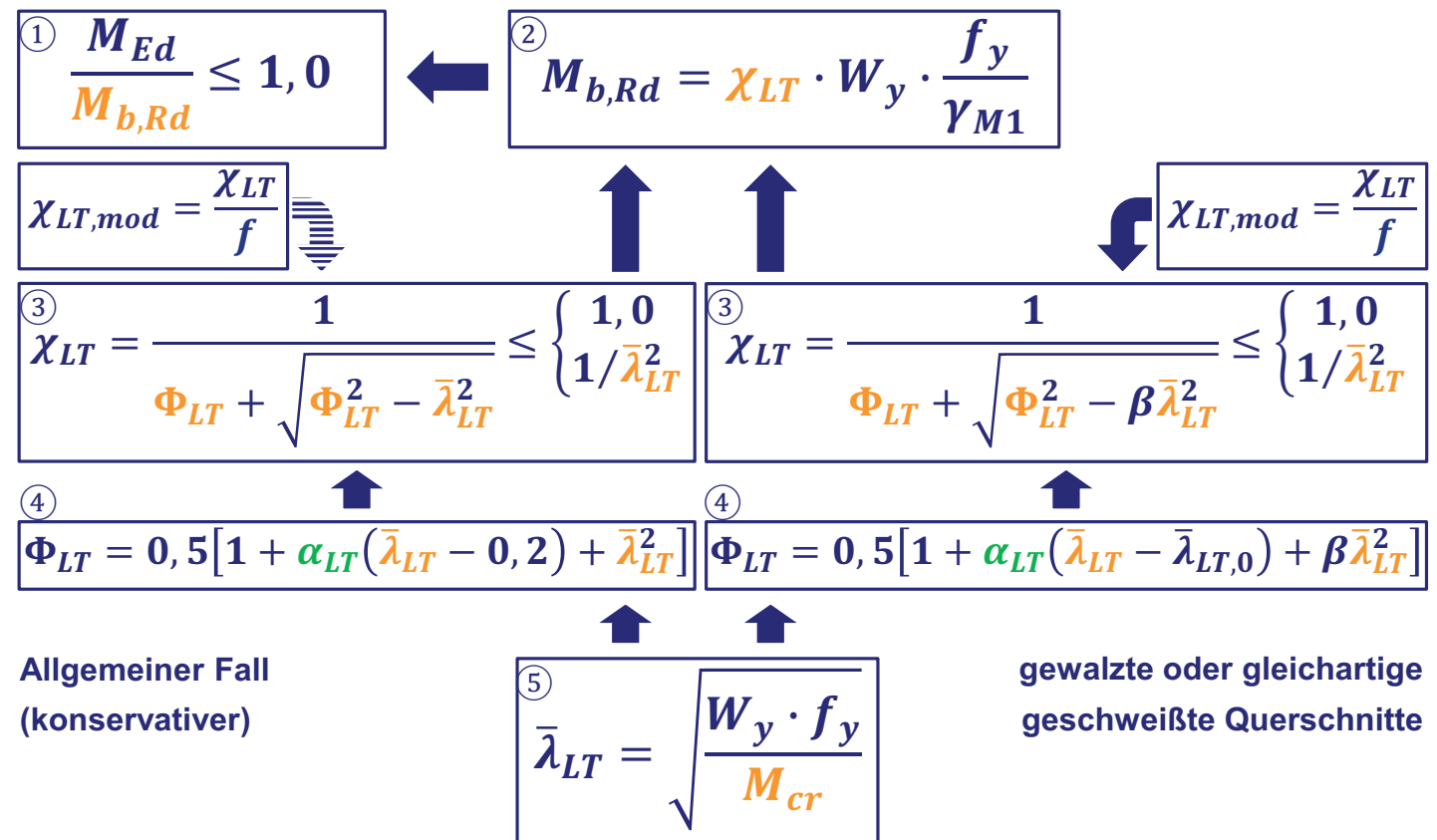
$W_y = W_{pl,y}$ für Querschnitte des Klasse 1 oder 2

$W_y = W_{el,y}$ für Querschnitte des Klasse 3

$W_y = W_{eff,y}$ für Querschnitte des Klasse 4

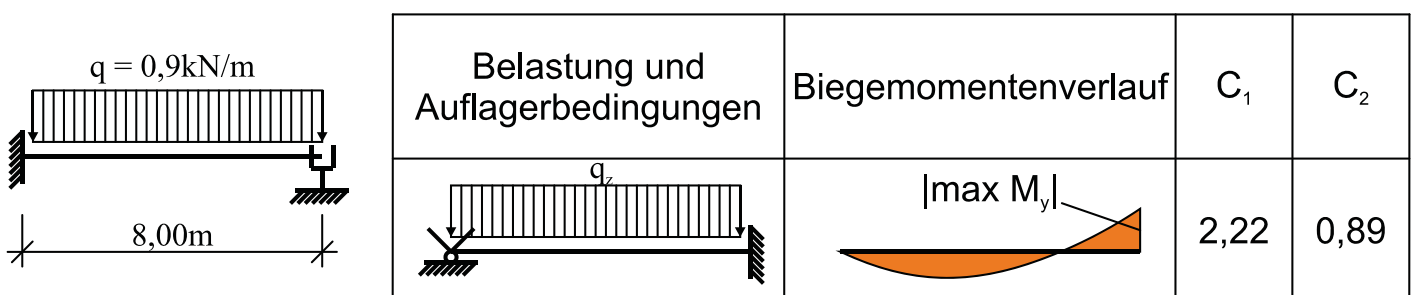
Rückblick: planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe (Stahlbau I)

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$



Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Beispiel 1:



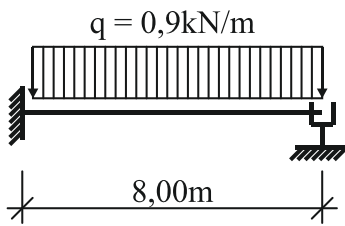
Profil: IPE 240, belastet um die starke Achse



Material: S 235; E = 21.000 kN/cm²; G = 8.100 kN/cm²

Lastangriff am Oberflansch, gelenkige Lagerung für Knicken um die z-Achse, keine Wölbbehinderung ($k_z=k_w=1,0$)

Führen Sie den Nachweis gegen Biegedrillknicken. Nutzen Sie zur Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments die gegebene Anlage (Beiwerte nach Kindmann für $k_z=k_w=1,0$).

Beispiel 1:



Belastung und Auflagerbedingungen	Biegemomentenverlauf	C_1	C_2
		2,22	0,89

Schnittgröße (maximales Moment):

Nachweis zu führen nach **EN 1993-1-1, Kapitel 6.3.2:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-1, (Gl. 6.54)

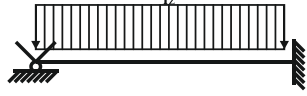

Querschnittsklassifizierung, Klassifizierung des Steges:

Querschnittsklassifizierung, Klassifizierung des Flansches:

IPE-Reihe nach DIN 1025-5 (03.94), EURONORM 19-57 und DIN EN 10 034 (03.94)															
Nenn- höhe	Profilmaße						Statische Werte								g kN/m
	h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	h ₁ mm	A cm ²	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _z cm ⁴	W _z cm ³	i _z cm	S _y cm ³	
80	80	46	3,8	5,2	5	59	7,64	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	11,6	0,060
100	100	55	4,1	5,7	7	74	10,3	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	19,7	0,081
120	120	64	4,4	6,3	7	93	13,2	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	30,4	0,104
140	140	73	4,7	6,9	7	112	16,4	541	77,3	5,94	44,9	12,3	1,65	44,2	0,129
160	160	82	5	7,4	9	127	20,1	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	61,9	0,158
180	180	91	5,3	8	9	146	23,9	1 320	146	7,42	101	22,2	2,05	83,2	0,188
200	200	100	5,6	8,5	12	159	28,5	1 940	194	8,26	142	28,5	2,24	110	0,224
220	220	110	5,9	9,2	12	177	33,4	2 770	252	9,11	205	37,3	2,48	141	0,262
240	240	120	6,2	9,8	15	190	39,1	3 890	324	9,97	284	47,3	2,69	183	0,307

Ermittlung des ideellen Biegedrillknickmomentes:

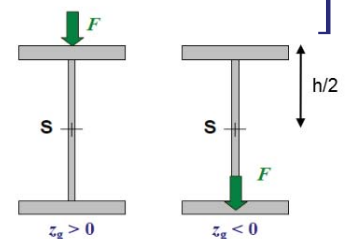
$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l_{LT}^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + 0,039 \cdot \frac{l_{LT}^2 \cdot I_T}{I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

Belastung und Auflagerbedingungen	Biegemomentenverlauf	C ₁	C ₂
		2,22	0,89

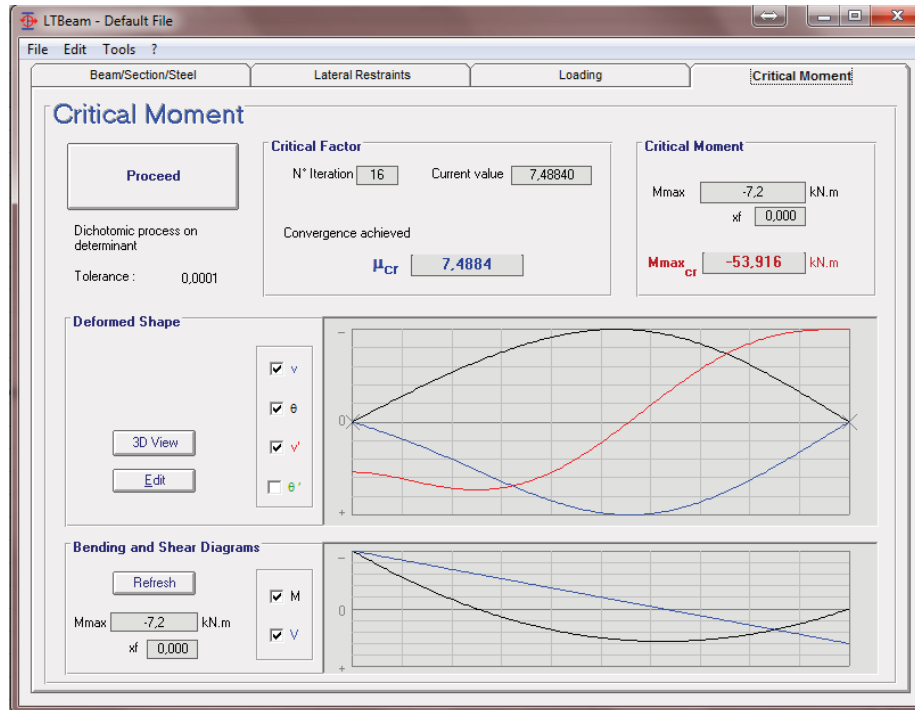
Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des ideellen Biegedrillknickmomentes:

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



Ermittlung des ideellen Biegedrillknickmomentes:



$$M_{cr, \text{Handrechnung}} = 54,00 [kNm]$$

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Schlankheitsgrades:

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

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

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt):

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

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

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien	Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
gewalztes I-Profil	$h/b = 24/12 \leq 2$	b	a	0,21
	$h/b > 2$	c	b	0,34

Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.57)

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

Empfohlene Imperfektionsbeiwerte α_{LT} der Knicklinien für das Biegedrillknicken

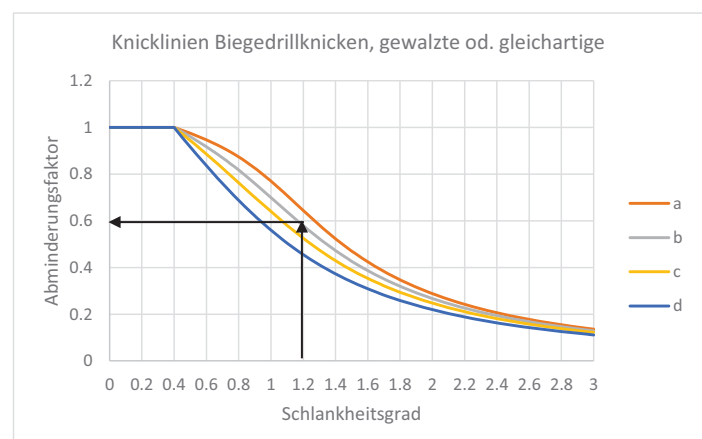
EN 1993-1-1, (Tab. 6.3)

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt):

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

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



Alternativ: Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt) (Schneider Bautabellen):

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,187$$

Knicklinie: b

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ für Knicklinie:				
a	b	c	d	χ_{LT}
1,28	1,17	1,07	0,94	0,60
1,29	1,19	1,09	0,95	0,59
1,31	1,20	1,10	0,97	0,58
1,32	1,22	1,12	0,99	0,57
1,34	1,24	1,14	1,00	0,56

Bemessung stabilitätsgefährdeter Bauteile 8.35

Tafel 8.35 Abminderungsfaktoren χ_{LT} für Biegedrillknicken (für gewalzte oder geschweißte I-Profile)

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ für Knicklinie:					Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ für Knicklinie:				
a	b	c	d	χ_{LT}	a	b	c	d	χ_{LT}
0,40	0,40	0,40	0,40	1,00	1,35	1,26	1,16	1,02	0,55
0,45	0,43	0,42	0,42	0,99	1,37	1,27	1,18	1,04	0,54
0,49	0,46	0,44	0,43	0,98	1,38	1,29	1,20	1,06	0,53
0,52	0,48	0,46	0,44	0,97	1,39	1,31	1,21	1,08	0,52
0,56	0,51	0,48	0,45	0,96	1,41	1,33	1,23	1,09	0,51
0,59	0,53	0,49	0,46	0,95	1,42	1,35	1,25	1,11	0,50
0,63	0,55	0,51	0,48	0,94	1,43	1,37	1,27	1,13	0,49
0,66	0,58	0,53	0,49	0,93	1,45	1,39	1,29	1,15	0,48
0,69	0,60	0,55	0,50	0,92	1,46	1,41	1,31	1,17	0,47
0,71	0,62	0,56	0,51	0,91	1,48	1,43	1,34	1,19	0,46
0,74	0,64	0,58	0,52	0,90	1,50	1,45	1,36	1,22	0,45
0,77	0,66	0,60	0,54	0,89	1,51	1,48	1,38	1,24	0,44
0,79	0,68	0,61	0,55	0,88	1,53	1,50	1,40	1,26	0,43
0,81	0,70	0,63	0,56	0,87	1,55	1,52	1,43	1,28	0,42
0,84	0,72	0,65	0,57	0,86	1,57	1,55	1,45	1,31	0,41
0,86	0,74	0,67	0,59	0,85	1,59	1,57	1,48	1,33	0,40
0,88	0,76	0,68	0,60	0,84	1,61	1,60	1,50	1,36	0,39
0,90	0,78	0,70	0,61	0,83	1,63	1,62	1,53	1,39	0,38
0,92	0,80	0,71	0,63	0,82	1,65	1,65	1,56	1,41	0,37
0,94	0,82	0,73	0,64	0,81	1,67	1,67	1,59	1,44	0,36
0,95	0,84	0,75	0,65	0,80	1,70	1,70	1,62	1,47	0,35
0,97	0,85	0,76	0,66	0,79	1,72	1,72	1,65	1,50	0,34
0,99	0,87	0,78	0,68	0,78	1,75	1,75	1,68	1,53	0,33
1,01	0,89	0,79	0,69	0,77	1,77	1,77	1,71	1,57	0,32
1,02	0,90	0,81	0,70	0,76	1,80	1,80	1,75	1,60	0,31
1,04	0,92	0,83	0,72	0,75	1,83	1,83	1,78	1,64	0,30
1,05	0,94	0,84	0,73	0,74	1,86	1,86	1,82	1,67	0,29
1,07	0,96	0,86	0,75	0,73	1,89	1,89	1,86	1,71	0,28
1,09	0,97	0,87	0,76	0,72	1,93	1,93	1,90	1,76	0,27
1,10	0,99	0,89	0,77	0,71	1,97	1,97	1,95	1,80	0,26
1,12	1,00	0,91	0,79	0,70	2,01	2,01	1,99	1,85	0,25
1,13	1,02	0,92	0,80	0,69	2,05	2,05	2,04	1,89	0,24
1,15	1,04	0,94	0,82	0,68	2,09	2,09	2,09	1,95	0,23
1,16	1,05	0,95	0,83	0,67	2,14	2,14	2,14	2,00	0,22
1,18	1,07	0,97	0,85	0,66	2,19	2,19	2,19	2,06	0,21
1,20	1,09	0,99	0,86	0,65	2,24	2,24	2,24	2,12	0,20
1,21	1,10	1,00	0,88	0,64	2,30	2,30	2,30	2,19	0,19
1,23	1,12	1,02	0,89	0,63	2,36	2,36	2,36	2,27	0,18
1,24	1,14	1,04	0,91	0,62	2,43	2,43	2,43	2,34	0,17
1,26	1,15	1,05	0,92	0,61	2,51	2,51	2,51	2,43	0,16
1,28	1,17	1,07	0,94	0,60	2,59	2,59	2,59	2,53	0,15
1,29	1,19	1,09	0,95	0,59	2,68	2,68	2,68	2,63	0,14
1,31	1,20	1,10	0,97	0,58	2,78	2,78	2,78	2,75	0,13
1,32	1,22	1,12	0,99	0,57	2,89	2,89	2,89	2,88	0,12
1,34	1,24	1,14	1,00	0,56	3,02	3,02	3,02	3,02	0,11
					3,17	3,17	3,17	3,17	0,10

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt):

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

EN 1993-1-1, (Gl. 6.58)

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1,0$$

Tabelle 6.6 — Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c

Momentenverteilung	k_c
	0,94
	0,90
	0,91

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

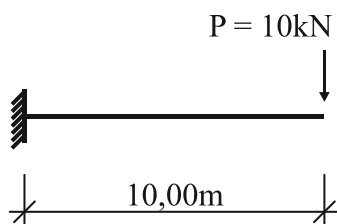
EN 1993-1-5, (Gl. 6.2)

Nachweis nach **EN 1993-1-1, Kapitel 6.3.2:**

EN 1993-1-1, (Gl. 6.54)

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Beispiel 2:



Profil: IPE 400, belastet um die starke Achse

Material: S 235; E = 21.000 kN/cm²; G = 8.100 kN/cm²

Lastangriff im Schwerpunkt, Wölbbehinderung am Auflager, keine Wölbbehinderung am freien Ende ($k_z=k_w=2,0$)

Führen Sie den Nachweis gegen Biegedrillknicken (elastisch). Nutzen Sie zur Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments die gegebene Anlage.

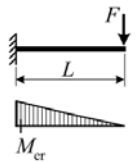
Beispiel 2, Anlage:

(Auszug aus der DAST Richtlinie 024)

- (1) Für Bauteile mit unveränderlichem Querschnitt und bezogen auf die schwache Achse einfachsymmetrischem Querschnitt ist das ideale kritische Biegedrillknickmoment M_{cr} gegeben durch die Gleichung:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{EI_z G I_t}}{L}$$

- (2) Das bezogene kritische Biegedrillknickmoment μ_{cr} kann mithilfe der hier angegebenen Tabelle bestimmt werden.
- (3) Im Allgemeinen ist z_g positiv bei Lasten, die vom Lasteinleitungspunkt zum Schubmittelpunkt gerichtet sind.

Last- und Lagerungsbedingung	$\frac{\pi}{L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$	$\frac{\pi \cdot z_g}{L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$	μ_{cr}
	0	4	0,245
		2	0,463
		0	1,280
		-2	1,619
		-4	1,686
	0,5	4	0,293
		2	0,560
		0	1,815
		-2	2,423
		-4	2,529
	1	4	0,360
		2	0,691
		0	2,431
		-2	3,529
		-4	3,719
	2	4	0,588
		2	1,111
		0	3,611
		-2	5,865
		-4	6,360
	4	4	1,443
		2	2,569
		0	6,100
		-2	9,950
		-4	11,375

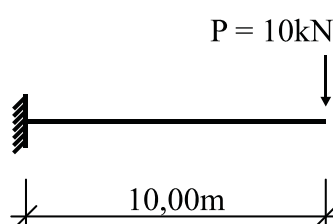
Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Nachweis zu führen nach **EN 1993-1-1, Kapitel 6.3.2:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-1, (Gl. 6.54)

Einwirkung:



lineare Interpolation zwischen zur Ermittlung der Zwischenwerte in Spalte 3 auf Basis der Werte in Spalte 2, danach zur Ermittlung des Zwischenwertes in Spalte 3 auf Basis der Werte in Spalte 1.

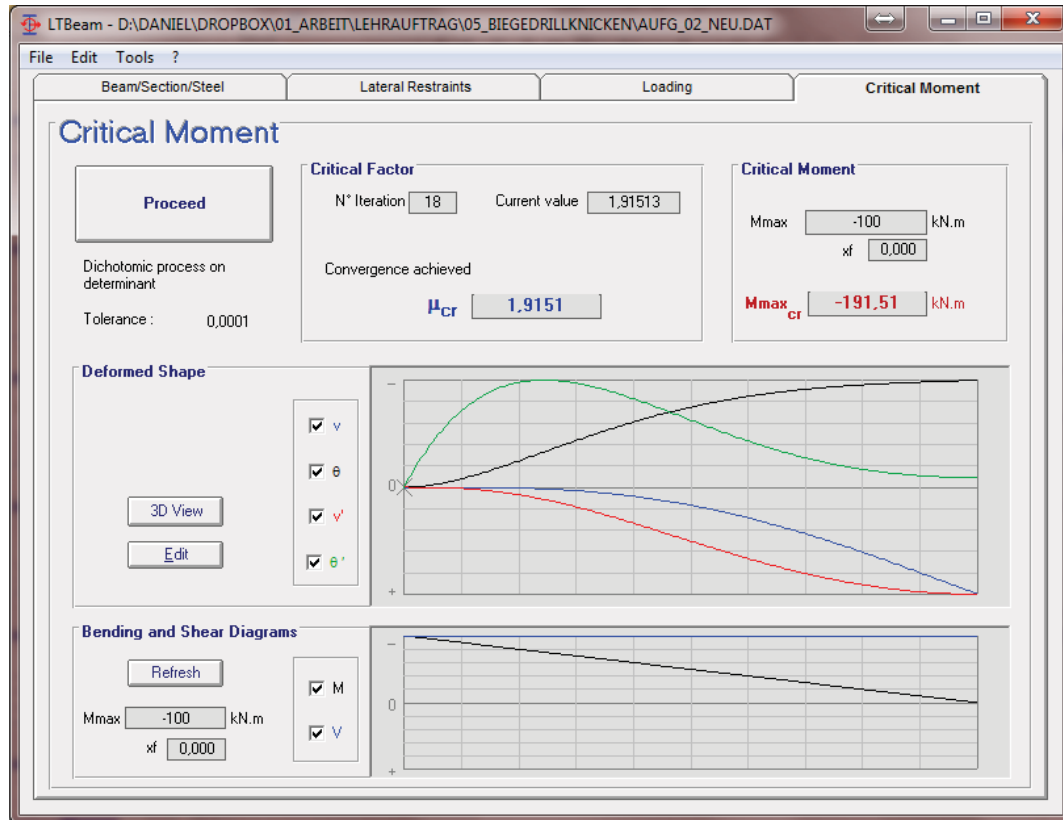
	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3
	0,5	4	0,293
		2	0,560
		0	1,815
		-2	2,423
		-4	2,529

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des bezogenen kritischen Biegedrillknickmomentes:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

DAST Richtlinie 024



<https://www.ctcm.com/logiciels>

$$M_{cr, Handrechnung} = 191,40 [kNm]$$

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Schlankheitsgrades:

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

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

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt):

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

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

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien	Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b	b	0,34
	$h/b = 40/18 > 2$	c	c	0,49

Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.57)

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

Empfohlene Imperfektionsbeiwerte α_{LT} der Knicklinien für das Biegedrillknicken

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

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt):

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

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

Alternativ: Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt) (Schneider Bautabellen):

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,193$$

Knicklinie: c

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ für Knicklinie:				
a	b	c	d	χ_{LT}
1,35	1,26	1,16	1,02	0,55
1,37	1,27	1,18	1,04	0,54
1,38	1,29	1,20	1,06	0,53
1,39	1,31	1,21	1,08	0,52
1,41	1,33	1,23	1,09	0,51

Bemessung stabilitätsgefährdeter Bauteile 8.35

Tafel 8.35 Abminderungsfaktoren χ_{LT} für Biegedrillknicken (für gewalzte oder geschweißte I-Profile)

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ für Knicklinie:					Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ für Knicklinie:				
a	b	c	d	χ_{LT}	a	b	c	d	χ_{LT}
0,40	0,40	0,40	0,40	1,00	1,35	1,26	1,16	1,02	0,55
0,45	0,43	0,42	0,42	0,99	1,37	1,27	1,18	1,04	0,54
0,49	0,46	0,44	0,43	0,98	1,38	1,29	1,20	1,06	0,53
0,52	0,48	0,46	0,44	0,97	1,39	1,31	1,21	1,08	0,52
0,56	0,51	0,48	0,45	0,96	1,41	1,33	1,23	1,09	0,51
0,59	0,53	0,49	0,46	0,95	1,42	1,35	1,25	1,11	0,50
0,63	0,55	0,51	0,48	0,94	1,43	1,37	1,27	1,13	0,49
0,66	0,58	0,53	0,49	0,93	1,45	1,39	1,29	1,15	0,48
0,69	0,60	0,55	0,50	0,92	1,46	1,41	1,31	1,17	0,47
0,71	0,62	0,56	0,51	0,91	1,48	1,43	1,34	1,19	0,46
0,74	0,64	0,58	0,52	0,90	1,50	1,45	1,36	1,22	0,45
0,77	0,66	0,60	0,54	0,89	1,51	1,48	1,38	1,24	0,44
0,79	0,68	0,61	0,55	0,88	1,53	1,50	1,40	1,26	0,43
0,81	0,70	0,63	0,56	0,87	1,55	1,52	1,43	1,28	0,42
0,84	0,72	0,65	0,57	0,86	1,57	1,55	1,45	1,31	0,41
0,86	0,74	0,67	0,59	0,85	1,59	1,57	1,48	1,33	0,40
0,88	0,76	0,68	0,60	0,84	1,61	1,60	1,50	1,36	0,39
0,90	0,78	0,70	0,61	0,83	1,63	1,62	1,53	1,39	0,38
0,92	0,80	0,71	0,63	0,82	1,65	1,65	1,56	1,41	0,37
0,94	0,82	0,73	0,64	0,81	1,67	1,67	1,59	1,44	0,36
0,95	0,84	0,75	0,65	0,80	1,70	1,70	1,62	1,47	0,35
0,97	0,85	0,76	0,66	0,79	1,72	1,72	1,65	1,50	0,34
0,99	0,87	0,78	0,68	0,78	1,75	1,75	1,68	1,53	0,33
1,01	0,89	0,79	0,69	0,77	1,77	1,77	1,71	1,57	0,32
1,02	0,90	0,81	0,70	0,76	1,80	1,80	1,75	1,60	0,31
1,04	0,92	0,83	0,72	0,75	1,83	1,83	1,78	1,64	0,30
1,05	0,94	0,84	0,73	0,74	1,86	1,86	1,82	1,67	0,29
1,07	0,96	0,86	0,75	0,73	1,89	1,89	1,86	1,71	0,28
1,09	0,97	0,87	0,76	0,72	1,93	1,93	1,90	1,76	0,27
1,10	0,99	0,89	0,77	0,71	1,97	1,97	1,95	1,80	0,26
1,12	1,00	0,91	0,79	0,70	2,01	2,01	1,99	1,85	0,25
1,13	1,02	0,92	0,80	0,69	2,05	2,05	2,04	1,89	0,24
1,15	1,04	0,94	0,82	0,68	2,09	2,09	2,09	1,95	0,23
1,16	1,05	0,95	0,83	0,67	2,14	2,14	2,14	2,00	0,22
1,18	1,07	0,97	0,85	0,66	2,19	2,19	2,19	2,06	0,21
1,20	1,09	0,99	0,86	0,65	2,24	2,24	2,24	2,12	0,20
1,21	1,10	1,00	0,88	0,64	2,30	2,30	2,30	2,19	0,19
1,23	1,12	1,02	0,89	0,63	2,36	2,36	2,36	2,27	0,18
1,24	1,14	1,04	0,91	0,62	2,43	2,43	2,43	2,34	0,17
1,26	1,15	1,05	0,92	0,61	2,51	2,51	2,51	2,43	0,16
1,28	1,17	1,07	0,94	0,60	2,59	2,59	2,59	2,53	0,15
1,29	1,19	1,09	0,95	0,59	2,68	2,68	2,68	2,63	0,14
1,31	1,20	1,10	0,97	0,58	2,78	2,78	2,78	2,75	0,13
1,32	1,22	1,12	0,99	0,57	2,89	2,89	2,89	2,88	0,12
1,34	1,24	1,14	1,00	0,56	3,02	3,02	3,02	3,02	0,11
					3,17	3,17	3,17	3,17	0,10

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile



Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter bzw. gleichartiger geschweißter Querschnitt):

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

EN 1993-1-1, (Gl. 6.58)

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1,0$$

Tabelle 6.6 — Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c

Momentenverteilung	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.2)

Nachweis nach **EN 1993-1-1, Kapitel 6.3.2:**

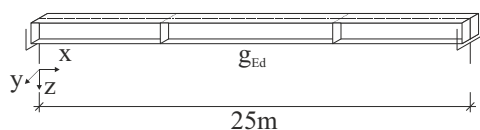
EN 1993-1-1, (Gl. 6.54)

Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

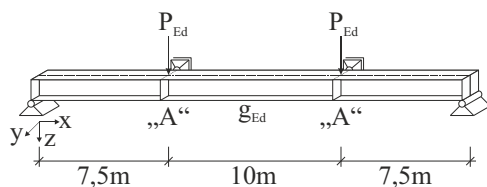
Aufg. 3 (Klausuraufgabe, ca. 15 Minuten):

Statisches System:

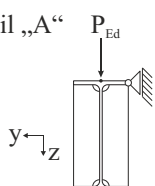
Transportsituation (a)



Einbausituation (b)



Detail „A“



Belastung „Transportsituation“ (a):

$$g_{Ed} = 0,4 \text{ kN/m}$$

Belastung „Einbausituation“ (b):

$$g_{Ed} = 0,4 \text{ kN/m}$$

$$P_{Ed} = x \text{ kN}$$

Profil: IPE 300

Material: S 235

Profilkennwerte IPE 300:

$$I_{zz} = 603,78 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 126.332 \text{ cm}^6$$

$$I_T = 19,87 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 557,07 \text{ cm}^3$$

Aufg. 3:

gesucht:

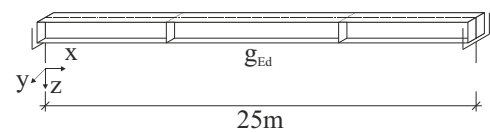
- Das Profil soll stehend (wie dargestellt) zur Baustelle transportiert werden. Überprüfen Sie, ob dies ohne weitere Transportsicherung möglich ist. Führen Sie hierzu den Biegedrillknicknachweis unter Zuhilfenahme von Anlage 1.1.
- Ermitteln Sie für die Einbausituation die maximal aufnehmbare Last P_{Ed} . Führen Sie hierzu den Biegedrillknicknachweis unter Zuhilfenahme von Anlage 1.2.

Hinweise (informativ):

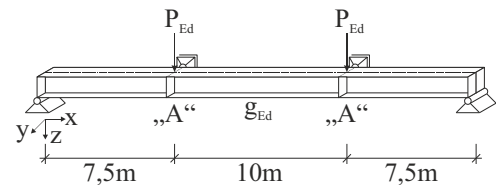
Das zu transportierende Profil (Aufgabenteil a) wird durch eine Gabellagerung an beiden Enden gehalten.

Das eingebaute Profil ist an den Enden nicht gabelgelagert; die Verdrehmöglichkeit um die z-Achse ist behindert.

Transportsituation (a)



Einbausituation (b)



Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Aufg. 3:

Anlage 1 (zu Aufgabenteil a):

Ermittlung des bezogenen kritischen Biegedrillknickmomentes

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

	1	2
Belastung und Auflagerbedingungen		
Biegemomentenverlauf		

Fall	Beiwert C_1	Beiwert C_2
1	1,12	0,45
2	2,58	1,57

Anlage 2 (zu Aufgabenteil b):

Bezogenes kritisches Biegedrillknickmoment gegeben:

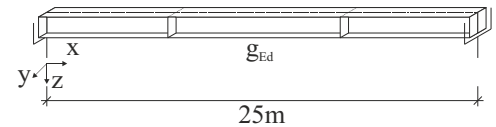
$$M_{cr} = 75,248[kNm]$$

Aufg. 3:

a) Biegedrillknicken unter Eigengewicht

Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen:

Transportsituation (a)



Ermittlung des bezogenen kritischen Biegedrillknickmomentes:

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

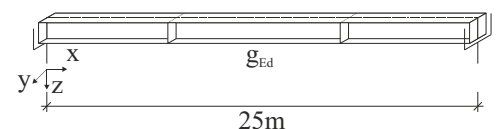
Aufg. 3:

a) Biegedrillknicken unter Eigengewicht

Ermittlung des Schlankheitsgrades

$$M_{cr} = 20,35 [kNm]$$

Transportsituation (a)



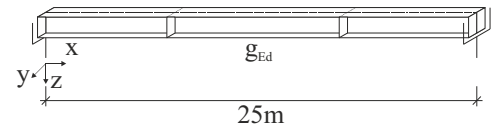
Aufg. 3:

a) Biegedrillknicken unter Eigengewicht

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken
(gewalzter Querschnitt)

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien	Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b	a	0,21
	$h/b > 2$	c	b	0,34

Transportsituation (a)

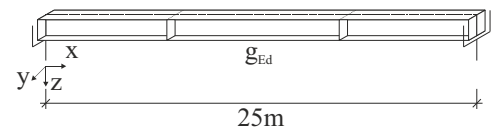


Aufg. 3:

a) Biegedrillknicken unter Eigengewicht

Ermittlung des Bemessungswertes der
Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

Transportsituation (a)



Nachweis:

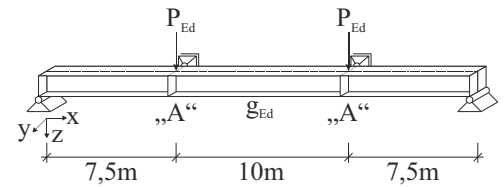
Aufg. 3:

b) Maximale Auflast

Ermittlung des Schlankheitsgrades

$$M_{cr} = 75,248 [\text{kNm}]$$

Einbausituation (b)



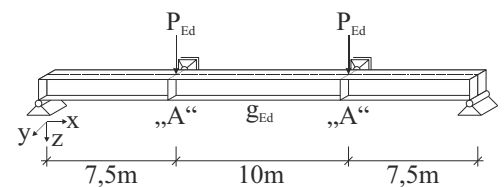
Biegedrillknicken gleichförmiger Bauteile

Aufg. 3:

b) Maximale Auflast

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken (gewalzter Querschnitt)

Einbausituation (b)



Querschnitt	Grenzen	Knicklinien	Knicklinie	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
gewalztes I-Profil	$h/b = 30/15 \leq 2$	b	a	0,21
	$h/b > 2$	c	b	0,34

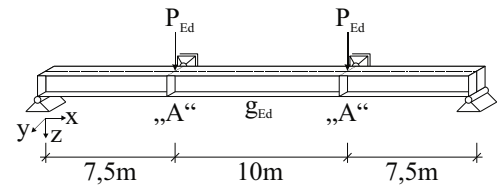
Aufg. 3:

b) Maximale Auflast

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

Nachweis:

Einbausituation (b)

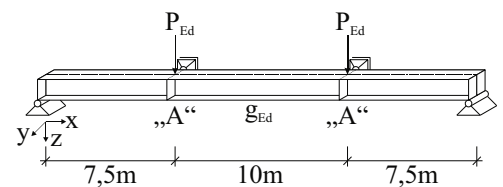


Aufg. 3:

b) Maximale Auflast

Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen:

Einbausituation (b)



Die maximal aufzubringende Bemessungslast beträgt: