

**Ausarbeitung eines Entwurfs für den
deutschen Nationalen Anhang zu EN
1993-1-1 und seiner wissenschaftlichen
Begründung**

T 3239

T 3239

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2010

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Ausarbeitung eines Entwurfs für den deutschen Nationalen Anhang zu EN 1993-1-1 und seiner wissenschaftlichen Begründung

Az: ZP 52-5-16,116-1131/04

1. Aufgabenstellung

- (1) Wie alle Eurocodes enthält die EN 1993 - Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau – Öffnungen für nationale Festlegungen, die im Rahmen der Bearbeitung des deutschen Nationalen Anhangs zu EN 1993-1-1 getroffen wurden.
- (2) Beide, EN 1993-1-1 und der deutsche nationale Anhang dazu, sind Kompromisse zwischen verschiedenen Auffassungen und Expertenmeinungen, die in den internationalen Arbeitsgruppen zu EN 1993-1-1 und in der DIN Arbeitsgruppe zum deutschen Nationalen Anhang gefunden wurden.
- (3) Die Aufgaben für die Herstellung dieses Berichtes ist
 1. eine Sicherheitsüberprüfung der EN 1993-1-1 und des deutschen Nationalen Anhangs zur wissenschaftliche Begründung der gewählten Kompromisse,
 2. eine Überprüfung, ob die im Rahmen der Kompromisse gefundenen Alternativen nicht eine unnötige Komplexität der Regelwerks erzeugt haben, die durch „einfachere“ und sicherheitsmäßig mindestens gleichwertige Lösungen beseitigt werden könnte.

2. Öffnungen in EN 1993-1-1

- (1) Nationale Festlegungen beziehen sich auf folgende Regeln in EN 1993-1-1:
 - 2.3.1(1);
 - 3.1(2);
 - 3.2.1(1);
 - 3.2.2(1);
 - 3.2.3(1);
 - 3.2.3(3)B;
 - 3.2.4(1)B;
 - 5.2.1(3);
 - 5.2.2(B)
 - 5.3.2(3)
 - 5.3.2(11)
 - 5.3.4(3)
 - 6.1(1)
 - 6.1(1)B;
 - 6.3.2.2(2);
 - 6.3.2.3(1);
 - 6.3.2.3(2);
 - 6.3.2.4(1)B;
 - 6.3.2.4(2)B;

- 6.3.3(5);
- 6.3.4(1);
- 7.2.1(1)B;
- 7.2.2(1)B;
- 7.2.3(1)B;
- BB.1.3(3)B.

(2) Darüber hinaus erfordert der Ersatz bestehender deutscher Bemessungsregeln in DIN 18800-1, -2, -3, -4 und DIN 18801 durch den Eurocode 3 im deutschen Nationalen Anhang die Ergänzung von EN 1993-1-1 durch „nicht widersprüchliche nationale Ergänzungen (Non conflicting Complementary Informations (NCCI)), um den Eurocode zu vervollständigen.

3. Begründungen

Ad 2.3.1(1): Der Nationale Anhang kann Einwirkungen für besondere örtliche oder klimatische oder außergewöhnliche Einwirkungen festlegen.

Diese Öffnungen betrifft z.B. die bauaufsichtlichen Regelungen für besondere Festlegungen für Windbelastungen (aus Windgutachten), Schneelasten (aus Schneegutachten), Hagellasten (aus Hagelgutachten), Lasten auf Flachdächern aus verstopften Regelabläufen und mit Vergrößerung durch zu geringe Biegesteifigkeiten der Dachkonstruktion, sowohl für Bauzustände als auch für den Nutzungszustand. Die Behandlung dieser Fälle wird den Nationalen Anhängen zu EN 1990 – Anhänge A₁ und A₂ sowie den relevanten Teilen von EN 1991 zugeschrieben.

Ad 3.1(2): Der Nationale Anhang gibt Hinweise zur Anwendung von Stahlsorten und Stahlprodukten.

Diese Öffnung betrifft den bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis (z.B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall) für Stahlsorten und Stahlprodukte, die nicht durch eingeführte und in Bezug genommene EN-Produktspezifikationen geregelt sind.

Ad 3.2.2(1): Der nationale Anhang kann die Grenzwerte für das f_u/f_y Verhältnis, die Bruchdehnung und die Gleichmaßdehnung festlegen. Folgende Werte werden empfohlen:

$$- f_u/f_y \geq 1.10$$

- Bruchdehnung mindestens 15%

$$- \epsilon_u \geq 15 \epsilon_y, \text{ dabei ist } \epsilon_y = \frac{f_y}{E} \text{ die Fließdehnung}$$

Diese Öffnung ermöglicht die Anpassung der Grenzwerte an neue Erkenntnisse.

Die derzeitigen Werte sind konventionell und das Ergebnis eines Konsens zwischen Stahlbauexperten (nicht von Werkstoffwissenschaftlern).

Der derzeitige wissenschaftliche Stand geht aus dem JRC-Scientific and technical Report „Commentary and worked example to EN 1993-1-10 “Material toughness and through thickness properties“ and other toughness oriented rules in EN 1993” – EUR 23510 - 2008 (herunterladbar unter <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpublication.php?id=134>) hervor.

Ad 3.2.3(1): Der Nationale Anhang kann die für die Bemessung anzunehmende niedrigste Betriebstemperatur angeben.

Die Festlegungen zu dieser Öffnung erfolgen für den Regelfall der Bemessung im Nationalen Anhang zu EN 1993-1-10.

Die Öffnung gilt für die bauaufsichtliche Vorgehensweise in nicht geregelten Fällen, zu denen der JRC-Bericht EUR 23510 – 2008 (siehe Ad 3.2.2(1)) Hinweise gibt.

Ad3.2.3(3)B: Der Nationale Anhang kann Informationen zur Wahl der Zähigkeit für druckbeanspruchte Bauteile geben. Es wird empfohlen, in diesem Fall EN 1993-1-10, Tabelle 2.1 für $\sigma_{Ed} = 0.25 f_y$ anzuwenden.

Diese Öffnung ermöglicht die Anpassung der Grenzwerte an neue Erkenntnisse.

Die derzeitigen Werte, die im Falle von Druckbeanspruchungen aus äußeren Lasten fertigungsbedingte Zugspannungen von 100 Mpa und unbeabsichtigte Zugspannungen aus Zwängungen von $\sigma_{Ed} = 0.25 f_y$ zugrunde legen, gelten als konservativ und werden deshalb im Nationalen Anhang übernommen (siehe auch JRC-Bericht EUR 23510 – 2008).

Ad 3.2.4(1)B: Der Nationale Anhang kann die maßgebende Zuordnung der Sollwerte Z_{Ed} nach EN 1993-1-10 3.2(2) zu den Qualitätsklassen von EN 10164 angeben. Für Hochbauten wird eine Zuordnung nach Tabelle 3.2 empfohlen.

Tabelle 3.2 – Stahlgütewahl nach EN 10164

Sollwert von Z_{Ed} nach EN 1993-1-10	Erforderliche Qualität Z_{Rd} nach den z-Werten nach EN 10164
$Z_{Ed} \leq 10$	--
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} \leq 20$	Z 35

Die Begründung für die Empfehlung ist dem JRC-Bericht EUR 23510 – 2008 zu entnehmen.

Die Empfehlung wurde in den nationalen Anhang übernommen.

Ad 5.2.1(3): Für die plastische Berechnung ist in Gleichung (5.1) ein höherer Grenzwert für α_{cr} festgelegt, da der Einfluss nichtlinearen Werkstoffverhaltens auf das Tragverhalten im Grenzzustand der Tragfähigkeit erheblich sein kann (z.B. bei Tragwerken mit Fließgelenken und Momentenumlagerung oder Einfluss nichtlinearer Verformungen von verformbaren Anschlüssen). Im Nationalen Anhang dürfen kleinere Werte für α_{cr} bei bestimmten Rahmentragwerken festgelegt werden, wenn diese durch genauere Ansätze begründet sind.

Die Öffnung ermöglicht eine genauere Festlegung des Wertes α_{cr} für die plastische Bemessung, wenn Fließzonenausbreitung und Nichtlinearität der Ausschussverformungen berücksichtigt werden. Mangels Bemessungserfahrungen in diesem Bereich geht der deutsche Nationale Anhang auf diese Möglichkeit nicht ein.

Ad 5.2.2(8): Der Nationale Anhang darf den Anwendungsbereich (des Ersatzstabnachweises nach 6.3) festlegen.

Diese Öffnung ermöglicht die Übernahme des sog. Ersatzstabnachweises nach DIN 18800 in den Eurocode, bei dem ein Tragwerk über seine Knickbelastbarkeit α_{crit} auf das Verhalten eines gelenkig gelagerten Knickstabes mit der Knicklast $N_{crit} = \alpha_{crit} \cdot N_E$ und der Knicklänge

$l_{crit} = \sqrt{\frac{EI\pi^2}{N_{crit}}}$ zurückgeführt wird. Es gilt dann der Knickstabnachweis

nach EN 1993-1-1, 6.3. Wirken zusätzliche Querbelastungen ein, z.B. aus äußeren Lasten und Schiefstellungen angehängter Pendelstützen, so können die Nachweise nach EN 1993-1-1, 6.3.3 verwendet werden.

Das Problem ist, dass das Modell keine Vorstellungen über den Verlauf der Schnittgrößen vermittelt, das es nicht an der modalen Verformung η_{crit} anknüpft. Deshalb sind die Regelungen für den Schnittgrößenverlauf für die Bemessung von Stößen sehr auf der sicheren Seite.

Obwohl der Nationale Anhang das traditionelle Ersatzstabverfahren in den Eurocode 3 überträgt, bleibt die Frage, ob dieses Verfahren aufgrund seiner Mängel im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit noch zeitgemäß ist.

Ad 5.3.2(3):

Die Werte e_0/L können dem Nationalen Anhang entnommen werden. Empfohlene Werte sind in Tabelle 5.1 aufgeführt:

Tabelle 5.1 – Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen

Knicklinie nach Tabelle 6.1	elastische Berechnung	plastische Berechnung
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a ₀	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Die Öffnung für die Tabelle 5.1 wurde vorgesehen, da man sich bei der Abfassung des Eurocode 3 noch nicht über die Genauigkeit der empfohlenen Werte im Klaren war.

Inzwischen liegt der Bericht „CEN/TC 250 – CEN/TC 135 – Liaison: Consistency of equivalent geometric imperfections used in design and the tolerances for geometric imperfections used in execution“ vor, der in Abschnitt 3.2.2(5), (6) Zahlenwerte für äquivalente geometrische Imperfektionen des gelenkig gelagerten Druckstabes für den relevanten Bereich $\bar{\lambda} = 1$ in Tabelle 3.3 vorgibt, die Vorlage für die Tabelle NA.1 im deutschen Nationalen Anhang sind:

Tabelle N.A.1 – Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen

Knicklinie nach DIN EN 1993-1-1: 2005-7, Tabelle 6.1	Elastische Querschnittsausnutzung	Plastische Querschnittsausnutzung
a ₀	e_0/L	e_0/L
a	1 / 900	Wie bei elastischer Querschnittsausnutzung, jedoch $\frac{M_{pl,k}}{M_{el,k}}$ -fach
b	1 / 550	
c	1 / 350	
	1 / 250	
	1 / 150	

Die angegebenen Bemessungswerte der Vorkrümmung e_0/L dürfen die zulässigen Toleranzen der Produktnormen nicht unterschreiten.

Ad5.3.2(11): Der Nationale Anhang kann Informationen zum Anwendungsbereich von (11) (Imperfektionsfigur inform der modalen Knickverformung η_{crit}) geben.

Die Öffnung besteht darin, der in (11) aufgezeigten Alternative, die zu anderen Ergebnissen als die Imperfektionsfiguren nach Abschnitt 5.3.2(3) führen kann, einen Rang im Nebeneinander der Imperfektionsansätze zu geben.

Ein solcher Rang könnte sich z.B. aus 5.3.2(1): „Die anzunehmende Form der Imperfektion eines Gesamttragwerks und örtlicher Imperfektionen eines Tragwerks kann aus der Form der maßgebenden Eigenform in der betrachteten Ebene hergeleitet werden“ ergeben, indem die Regelung in 5.3.2(11) als direkte Anwendung dieses Prinzips und die Regelung in 5.3.2(3) als hergeleitete indirekte Anwendung des Prinzips interpretiert werden.

Diesem Vorgehen folgt der CEN/TC 250-CEN/TC 135 - Liaison-Bericht „Consistency of equivalent geometric imperfections used in design and tolerances for geometric imperfections used in execution“, in dem alle Stabilitätsregeln in EN 1993-1-1 auf geometrische Ersatzimperfektionen mit der modalen Form η_{crit} zurückgeführt werden. Damit entstehen Lösungen mit einem höheren Rang als Lösungen, die auf anderen Imperfektionsansätzen beruhen. Versuchsauswertungen von Regeln auf der Grundlage dieses Ansatzes und Überprüfungen mit der Toleranzangabe in EN 1090-2 zeigen die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit dieses Lösungsweges.

Der deutsche Nationale Anhang lässt die Imperfektion nach 5.3.2(11) zu, ohne ihnen einen Rang zu geben. Nach dem CEN/TC 250 – CEN/TC 135 – Liaison-Bericht ist in Formel (5.10) e_{0d} wie folgt zu korrigieren:

$$e_0 = \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) \frac{M_{Rk}}{N_{Rk}}$$

Ad 5.3.4(3): Der Nationale Anhang kann den Wert von k (für die Anwendung der Knickstabimperfektion e_0 als Vorimperfektion aus der Haupttragebene beim Biegedrillknicknachweis) festlegen. Der Wert von k = 0,5 wird empfohlen.

Die Öffnung wurde zur Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse eingeführt.

Der empfohlene Wert k = 0,5 stammt aus der DIN 18800.

Die Überprüfung des Imperfektionsansatzes in dem CEN/TC 250 – CEN/TC 135- Liaison-Bericht führt zu dem Ergebnis, dass die richtige Imperfektionsform in Form der modalen Biegedrillknickform einer Mischung von Knickstabimperfektion η_{cr} und Drillimperfektion φ_{cr} entspricht und der betroffene Druckgurt immer die Imperfektionsamplitude e_0 hat. Damit lassen sich die Versuchsergebnisse sehr gut mit ausreichender Zuverlässigkeit nachrechnen.

Wie sich die Imperfektionsannahme mit nur Knickstabfunktion η_{cr} aus der Ebene auswirkt, ist mit dem modalen Verfahren noch nicht überprüft. Auf jeden Fall ist die Lösung mit $k = 1.0$ für h/b-Profile mit $h/b > 2$ im Bereich $0.7 \leq \bar{\lambda}_{Lt} \leq 1.3$ ein Schritt in die richtige Richtung, der die Änderung gegenüber der Empfehlung in DIN 18800 nicht zu krass erscheinen lässt.

Ad 6.1(1):

In EN 1993-2 bis EN 1993-6 sind weitere Empfehlungen für Zahlenwerte zu finden. Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Tragwerke, die nicht durch EN 1993-2 bis EN 1993-6 erfasst werden, sind im Nationalen Anhang festgelegt, es wird die Verwendung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} nach EN 1993-2 empfohlen.

Die Öffnung betrifft den Katalog von verschiedenen Teilsicherheitsbeiwerten γ_{Mi} , in dem z.B. für Bauteilnachweise des Hochbaus drei Werte γ_{M0} , γ_{M1} und γ_{M2} vorgeschlagen werden. Es könnten auch mehr oder weniger sein.

Der deutsche Nationale Anhang verwendet den Katalog wie im Eurocode 3 empfohlen.

Ad 6.1(1)B:

Der Nationale Anhang kann die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Hochbauten festlegen. Folgende Zahlenwerte werden empfohlen:

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,00;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

Die Öffnung entspricht dem Prinzip, dass Teilsicherheitsbeiwerte in Nationaler Zuständigkeiten stehen.

Wie an den Hintergrundberichten zu EN 1993-1-1 „Safety background of the design rules in Eurocode 3“ und „Consistency of the equivalent geometric imperfections used in design and the tolerances for geometric imperfections in execution“ sowie zu EN 1993-1-8 hervorgeht, ergeben die Auswertungen von Messungen an Produkten der Stahlindustrie und von Versuchen mit vorgefertigten Bauteilen nach EN 1990 – Anhang D (d.h. $\beta = 380$; $\alpha_R = 0.8$) folgende γ_{Mi} -Werte:

$$\gamma_{M0} \sim 0,9 \div 1,00;$$

$$\gamma_{M1} \sim 1,00 \div 1,10; \text{ (bei Ansatz modaler Imperfektionen)}$$

$$\gamma_{M2} \sim 1,15 \div 1,25.$$

Die Wahl im deutschen Nationalen Anhang entspricht der oberen Grenze.

Die Empfehlung in 6.1(1)B mit $\gamma_{M1} = 1,00$ statt $\gamma_{M1} = 1,10$ bezieht sich auf solche Länder, bei denen die Annahme $\alpha_R = 0,80$ im Hinblick auf die Festlegung der Einwirkungsseite (Schnee- und Windlasten) und der zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte zu ungünstig ist und eher in Richtung $\alpha_R = 0,34$ geht. Für Deutschland trifft dies nicht flächendeckend zu, so dass man bei $\alpha_R = 0,80$ geblieben ist.

Darüber hinaus liefern die Stabilitätsregeln in EN 1993-1-1 im Vergleich zu den Stabilitätsregeln mit modalem Imperfektionsansatz für einige Parameterkombinationen eine etwa um 10% höhere Beanspruchbarkeit, so dass auch zur Abdeckung der Modellungenauigkeit dieser Regeln $\gamma_{M1} = 1,10$ vorläufig als gerechtfertigt erscheint.

Ad6.3.2.2(2): Der Nationale Anhang kann die Imperfektionsbeiwerte α_{LT} festlegen. Die empfohlenen Werte von α_{LT} sind der Tabelle 6.3 zu entnehmen.

Tabelle 6.3 – Empfohlene Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien für das Biegedrillknicken

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

Die empfohlene Zuordnung ist Tabelle 6.4 zu entnehmen.

Tabelle 6.4 – Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.56)

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

Diese Öffnung war notwendig, da bei der Erstellung des Eurocode 3 Unsicherheiten hinsichtlich der richtigen Wahl der Biegedrillknickkurven bestanden.

Die Empfehlung im deutschen Nationalen Anhang ist, dass die Imperfektionsbeiwerte α_{LT} nach Tabelle 6.3 identisch mit denen der Biegeknickkurven α nach EN 1993-1-1, Tabelle 6.1 sind, jedoch die Zuordnungen für Biegedrillknicken nach Tabelle 6.4 von denen in Tabelle 6.2 für Biegeknicken aus der Haupttragebene abweichen und zusätzlich nach dem h/b-Verhältnis differenziert sind.

Dies liegt daran, dass für Biegedrillknicken die Biegeknickkurven ohne die günstig wirkende Modifikation durch die Torsionssteifigkeit $G \cdot I_t$ zugrundegelegt wurden, und deshalb Anpassungen durch Wahl der Knickkurve vorgenommen werden müssen.

Dieses ungünstige Vorgehen wäre durch die Anwendung der modifizierten Biegeknickkurve als Biegedrillknickkurve überholt. Die Versuchsauswertungen zeigen, dass dann die Zuordnung der Profile nach Tabelle 6.2 für Biegeknicken aus der Haupttragebene auch für das Biegedrillknicken aus der Haupttragebene möglich ist und damit Konsistenz geschaffen wird (siehe CEN/TC 250 – CEN/TC 135-Bericht).

Die Modifizierung der Biegeknickkurve zur Verwendung als Biegedrillknickkurve liegt darin, dass gilt:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_w^* (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

mit

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,K}}{\alpha_{crit}}}$$

$$\alpha_{LT}^* = \frac{\alpha_{crit}^*}{\alpha_{crit}} \cdot \alpha$$

Dabei ist:

α_{crit}^* der Lastvergrößerungsfaktor bis zum Erreichen der Gleichgewichtsverzweigung durch Biegedrillknicken bei Vernachlässigung der St.Venant'sche Torsionssteifigkeit $G \cdot I_t$ (d.h. bei Vorliegen eines reinen Biegeknickproblems aus der Ebene)

α_{crit} der Lastvergrößerungsfaktor bis zum Erreichen der Gleichgewichtsverzweigung durch Biegedrillknicken bei Berücksichtigung der St.Venant'schen Torsionssteifigkeit $G \cdot I_t$.

Die so geschaffene Biegedrillknickkurve enthält also auch den Sonderfall des Biegedrillknickens von hohen Trägern (z.B. Fachwerkträgern), bei denen $\alpha_{LT}^* = \alpha$ gilt und deshalb Biegeknicken vorliegt.

Der deutsche Nationale Anhang öffnet die Anwendung der modifizierten Biegeknickkurve als Biegedrillknickkurve durch die Modifikation

$$\alpha_{LT}^* = \frac{\bar{\lambda}_{LT}^{-2}}{\bar{\lambda}_{Fl}^{-2}} \cdot \alpha_{LT}$$

Dabei ist

$\bar{\lambda}_{LT}^{-2}$ der Biegedrillknickschlankheitsgrad des Trägers unter Beachtung der Belastung und der Randbedingungen;

$\bar{\lambda}_{Fl}^{-2}$ der dem Wert $\bar{\lambda}_{LT}$ entsprechende Biegedrillknickschlankheitsgrad des Trägers bei Vernachlässigung der Torsionssteifigkeit (entspricht dem Knickschlankheitsgrad des Flansches).

Diese Regel ist identisch mit der für α_{LT}^* wie oben, erlaubt aber kaum eine praktische Handhabung. Daher ist eine Bemessungshilfe z.B. in Form einer DASt-Richtlinie, die als unterstützende nicht widersprüchliche zusätzliche Information (NCCI) gelten kann, erforderlich.

Das Verfahren mit der modifizierten Biegeknickkurve als Biegedrillknickkurve ist exakt, wenn man weiß, an welcher Stelle längs des betrachteten Stabes oder Stabzuges die maßgebende Bemessungsstelle x_d ist. Das ist z.B. bei Trägern ohne Endmomente mit symmetrischer Momentenverteilung in der Haupttragebene die Tragmitte; sonst muss x_d ermittelt werden, oder es wird auf der sicheren Seite die Stelle der maximalen Querschnittsausnutzung in der Haupttragebene benutzt.

Ad6.3.2.3(1):

Der Nationale Anhang kann die Parameter $\bar{\lambda}_{LT,0}$ und β festlegen. Die folgenden Werte werden für gewalzte Profile oder gleichartige geschweißte Querschnitte empfohlen:		
$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ (Höchstwert);		
$\beta = 0,75$ (Mindestwert).		
Die empfohlene Zuordnung ist der Tabelle 6.5 zu entnehmen.		
Tabelle 6.5 – Empfohlene Biegedrillknicklinie nach Gleichung (6.57)		
Querschnitt	Grenzen	Biegedrillknicklinien
gewalztetes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißstes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Die Öffnung war notwendig, da bei der Erstellung des Eurocode 3 Unsicherheiten hinsichtlich der richtigen Wahl der Parameter für die Biegedrillknickkurve bestanden.

Der Sinn der zusätzlichen Parameter $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$, $\beta = 0,75$ und f ist, für den Fall von nicht von vornherein einsichtigen Bemessungsstellen x_d , an denen der Biegedrillknicknachweis zu führen ist, den Nachweis an der Stelle der maximalen Querschnittsausnutzung in der Haupttragebene zu führen, aber zur Vermeidung von Konservativitäten durch diese Vorgehensweise die Biegedrillknickkurve entsprechend zu modifizieren, d.h. der Nachweis an der richtigen Stelle x_d mit der genauen Biegedrillknickkurve nach „Ad 6.3.2.2(2)“ soll dasselbe Ergebnis liefern, wie der Nachweis an der Stelle der maximalen Querschnittsausnutzung im Hauptsystem mit der modifizierten genauen Biegedrillknickkurve.

Die Herleitung in dem CEN/TC 250 – CEN/TC 135 – Bericht zeigt, dass für die Modifizierung der genauen Biegedrillknickkurve ein einziger Parameter, nämlich der Beiwert

$$\beta = \frac{\alpha_{ult,k \min}}{\alpha_{ult,k(x_d)}}$$

ausreicht, siehe Bild 4.3 des Berichtes.

Da die Vorgehensweise in 6.3.2.3 nicht von der modalen Biegedrillknickform ausgeht und nicht über die genauere Biegedrillknickkurve als Modifikation der Biegeknickkurve abgeleitet ist, werden hierfür die Parameter $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$, $\beta = 0,75$ und f benötigt, um die Ergebnisse an für bestimmte Bedingungen ermittelte Finite-Element-Berechnungsergebnisse anzupassen.

Das Ergebnis ist, wie Vergleiche zwischen dem Verfahren nach 6.3.2.3 mit dem genaueren Biegedrillknicknachweisverfahren (mit bekanntem x_d oder mit β -modifizierter genauere Biegedrillknickkurve) zeigen, nicht sehr erfreulich: Es gibt bei den derzeitigen Eurocode-Regeln Sicherheitsmankos von ca. 10 % und Unterschreitungen der wirklichen Ausnutzbarkeit (wirtschaftliches Manko) von bis zu ~30 %.

In Zukunft sollten also die Verfahren in 6.3.2.2 und 6.3.2.3 durch das genauere Verfahren mit modifizierter Biegeknickkurve als Biegedrillknickkurve abgelöst werden.


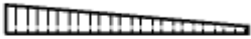






Ad 6.3.2.2

Der Nationale Anhang kann die Werte f festlegen. Folgende Mindestwerte werden empfohlen:

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

Dabei ist k_c ein Korrekturwert nach Tabelle 6.6

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

Diese Öffnung hat die gleiche Veranlassung wie die Öffnung zu 6.3.2.3 (1).

Das genaue Biegedrillknicknachweisverfahren, das mit dem Parameter β zur Modifikation auskommt, benutzt die Gleichung $\sqrt{\beta} = \frac{1}{f}$ (siehe CEN/TC250-CEN/TC135 Bericht, Bild 4.4). Diese Gleichung trifft aber bei dem Verfahren nach 6.3.2.3 nicht zu.

6.3.2.4(1)B

Für Querschnitte der Klasse 4 darf i_{fz} wie folgt berechnet werden:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3}A_{eff,w,c}}}$$

Dabei ist

- $I_{eff,f}$ das wirksame Flächenträgheitsmoment des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse;
- $A_{eff,f}$ die wirksame Fläche des druckbeanspruchten Flansches
- $A_{eff,w,c}$ die wirksame Fläche des druckbeanspruchten Teils des Stegblechs

Ad
6.3.2.4(2)B:

Der Nationale Anhang kann den Grenzschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{c0}$ festlegen.
Der Grenzwert von $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$ wird empfohlen, siehe 6.3.2.3.

Diese Öffnungen gelten einem Näherungsverfahren für die Bestimmung des Abstandes stabiler seitlicher Stützungen von Druckflanschen von Trägern im Hochbau. Der Rang dieses Näherungsverfahrens in Bezug auf die allgemeinen Nachweisverfahren in 6.3.2 ist nicht bekannt, und Überprüfungen haben noch nicht stattgefunden. Eigentlich sollten die Verfahren gegenüber dem allgemeinen Nachweisverfahren auf der sicheren Seite liegen.

Ad
6.3.2.4(2)B:

Der Nationale Anhang kann den Anpassungsfaktor $k_{fl} = 1,10$ festlegen.
Der Wert $k_{fl} = 1,00$ wird empfohlen.

Diese Öffnung gilt einem weiteren Näherungsverfahren, das das Verfahren in 6.3.2.4 (2) zuschärft.

Auch hier wird erwartet, dass die Ergebnisse gegenüber dem allgemeinen Verfahren auf der sicheren Seite liegen; eine Überprüfung hat noch nicht stattgefunden.

Ad 6.3.3 (5):

ANMERKUNG 1: Die Interaktionsfaktoren k_{yy} , k_{yz} und k_{zz} wurden auf zwei verschiedene Wegen abgeleitet. Die Werte dieser Faktoren können dem Anhang A (Alternativverfahren 1) oder dem Anhang B (Alternativverfahren 2) entnommen werden.

ANMERKUNG 2: Der Nationale Anhang kann Festlegungen zu den Alternativverfahren 1 und 2 treffen.

Die Öffnung gilt allgemein für Festlegungen zu den Alternativverfahren 1 und 2, die gemeinsam haben, dass für den Fall von Druck und Biegung in der Haupttragebene zunächst eine Trennung nach dem Bemessungsverfahren für zentrischen Druck und dem Bemessungsverfahren für reine Biegung durchgeführt wird, und danach die Nachweise für beide getrennte Fälle in einer Interaktionsformel zusammengeführt werden. Für diese Zusammenführung gibt es die Alternativfälle 1 aus einer belgisch-französischen Arbeitsgruppe und 2 aus einer deutsch-österreichischen Arbeitsgruppe, die beide im Eurocode 2 belassen wurden, da man sich für keines der Verfahren entscheiden konnte.

Gegenstand der Verfahren in Anhang A und Anhang B ist der einfeldrige Stab mit Gabellagerung, der aus dem Tragwerk herausgeschnitten gedacht wird. Die Regelung berücksichtigt plastische Tragfähigkeiten in der Haupttragebene, geht aber nicht darauf ein, dass im Gesamtsystem keine plastischen Rotationen vorkommen dürfen, die das Bild der elastischen Momentenverteilung verändern. Der Biegedrillknicknachweis erfordert bei Zulassung plastischer Rotationen, dass an den plastischen

Gelenken mit Rotation von Überfestigkeiten (elastische Biegebeanspruchbarkeiten $\alpha_{pl} \cdot M_{Re}$) ausgegangen wird und keine Momentenumlagerung durchgeführt wird.

Bei dem genaueren Biegedrillknickverfahren auf der Basis modaler Biegedrillknickverformungen werden Druck und Biegung in der Hauptachse nicht getrennt, da sie zusammenwirkend Auslöser der modalen Seitenverformung η_{crit} und φ_{crit} und des Vergrößerungsfaktors α_{crit} sind.

Der Nachweis erfolgt bei diesem Verfahren wie beim zentrischen Druck oder bei reiner Biegung in einem Schritt.

Das Interaktionsverfahren in EN 1993-1-1, 6.3.3 enthält einen weiteren Term für die Interaktion von Druckkraft und Biegemoment in der Haupttragebene mit Biegemomenten, die aus der Haupttragebene wirken.

Die Formeln, insbesondere für die Alternative 1 gelten als für das Problem unangemessen kompliziert und unübersichtlich, so dass nur Computerberechnungen weiterhelfen.

Wenn aber Computerberechnungen eingesetzt werden, dann ist auch ein genaueres Verfahren angezeigt, z.B. das genaue Biegedrillknickverfahren auf der Basis modaler Biegedrillknickverformungen zusammen mit Querbiegung um die schwache Achse und Torsion, die in den Alternativen 1 und 2 nicht enthalten ist.

Für die Erfassung von Druck, zweiachsiger Biegung und Torsion mit dem genaueren Verfahren sind Erweiterung der bestehenden Eurocode-Regeln inform nicht widersprüchlicher zusätzlicher Information erforderlich, die z.B. inform der o.a. DAST-Ri beigestellt werden können.

Der deutsche Nationale Anhang lässt beide Alternativen 1 und 2 für die Interaktion zu. Dabei wird darauf vertraut, dass sich in der Praxis die genaueren und einfacheren Verfahren durchsetzen werden.

Vergleichsberechnungen zeigen je nach Belastungssituation kleinere und größere Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Alternativen 1 und 2, aber im Bereich der berechneten Beispiele keine gravierenden Sicherheitslücken, die über 10 % hinausgehen.

Ad 6.3.4 (1):

Der Nationale Anhang kann die Einsatzgrenze für das Verfahren festlegen.
--

Die Öffnung war erforderlich, um Weiterentwicklungen des Verfahrens Rechnung zu tragen.

Diese Weiterentwicklungen betreffen:

1. Die Verwendung der modifizierten Biegeknickkurve als Biegedrillkurve für alle reinen und gemischten Biegeknick- und Biege-

- drillknickprobleme, die die Regelung in 6.3.4 (4) a) und b) mit den entsprechenden Anmerkungen überflüssig macht.
2. Die Anwendung der modifizierten Biegeknickkurve als Biegedrillknickkurve für beliebige Stäbe und Stabzüge, beliebige Belastung (Druckkräfte und Biegemomente) in der Haupttragebene, beliebiger Querschnittsgestaltung (solange die einfache Symmetrieachse in der Haupttragebene besteht), und beliebige Lagerung (auch Punktlagerung, elastische Lagerung etc.) für den Nachweis in einem Schritt.
 3. Erweiterung des Verfahrens zur Erfassung zusätzlicher Belastungen quer zur Haupttragebene (Beigemomente und Torsion) durch eine geeignete Interaktionsbeziehung.

Diese Weiterentwicklung sind nicht widersprüchlich und könnten z.B. in der vorerwähnten DAST-Richtlinie geregelt werden, die den Eurocode 3 ergänzt.

Der deutsche Nationale Anhang geht noch von der Gültigkeit der Klausel 6.3.4 (4) aus, die mangels Kenntnis der modifizierten Biegeknickkurve als allgemeingültige Biegedrillknickkurve in Tabelle NA.3 die Grundlagen für die Interaktion zwischen einer Biegeknickkurve und einer Biegedrillknickkurve liefert:

Tabelle NA.3 – Wahl der Knicklinie	
Knicken ohne Biegedrillknicken	Zuordnung der entsprechenden Knicklinie nach DIN EN 1993-1-1: 2005-07, Tabelle 6.2
Biegedrillknicken	Zuordnung der entsprechenden Knicklinie nach DIN EN 1993-1-1: 2005-07, Tabelle 6.4

Der Wert χ nach 6.3.1 ist für χ_{op} dann zu verwenden, wenn die Beanspruchung ausschließlich aus Normalkräften besteht, der Wert χ_{LT} nach 6.3.2.2 ist für χ_{op} zu verwenden, wenn die Beanspruchung ausschließlich aus Biegemomenten besteht. Bei gemischter Beanspruchung ist der kleinere der beiden Werte χ oder χ_{LT} für χ_{op} zu verwenden.

Diese Regelung ist überholt und sollte eigentlich gelöscht werden.

- Ad7.2.1(1) B: Der Nationale Anhang kann Grenzwerte (für vertikale Druckbiegungen) festlegen.
- Ad7.2.2(1) B: Der Nationale Anhang kann Grenzwerte (für horizontale Druckbiegungen) festlegen.
- Ad7.2.3 (1)B: Der Nationale Anhang kann Grenzwerte (für Vibrationen) festlegen.

Die Öffnungen erfolgen, da diese Grenzwerte im Allgemeinen Gegenstand der Planungsverträge (Herstellerangabe oder Auftraggeberforderungen) sind.

Für Deckenkonstruktionen sei auf den JRC-Scientific and Technical Report: Design of floor structures for human induced vibrations (herunterladbar von <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpublication.php?id=187>) hingewiesen.

ZuBB1.3(3)B Weitere Informationen zu Knicklängen (von Fachwerken mit Hohlprofilen) können im Nationalen Anhang angegeben sein.

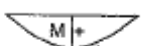

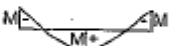
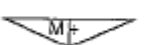
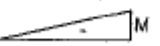

Der deutsche Nationale Anhang verweist auf den CIDECT-Bericht "Knick- und Beulverhalten von Hohlprofilen (rund und rechteckig) erschienen in TÜV Rheinland, 1992, ISBN 3-8249-0067-X.

Bei Anwendung des Verfahrens mit α_{crit} für das Gesamtsystem erübrigt sich eine Regelung für Knicklängenfaktoren von Stäben untereinander.

Zu BB 2.2: Tabelle BB.1 – Faktor K_g

Im deutschen Nationalen Anhang wird die Tabelle BB.1 durch die folgende Tabelle BB.1 ersetzt.

Tabelle BB.1 – Faktor K_g zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs und der Art der Lagerung in Abhängigkeit von der Biegedrillknicklinie nach Tabelle 6.5 (gl. (6.57)).

Zeile	Momentenverlauf	freie Drehachse			gebundene Drehachse		
		b	c	d	b	c	d
1		6,8	10,0	14,2	0	0	0
2		4,8	7,3	10,9	0,030	0,041	0,067
3		4,2	6,4	9,7	0,032	0,044	0,072
4		2,8	4,4	7,1	0	0	0
5		0,89	1,4	2,6	0,38	0,60	1,1
6	$\psi \leq -0,3$ 	0,47	0,75	1,4	0,23	0,36	0,65

Eine Überprüfung dieser Tabelle hat noch nicht stattgefunden.

4. Vorschläge für eine einfachere und sicherheitsmäßig mindestens gleichwertige Darstellung des EN 1993-1-1

4.1 Allgemeines

- (1) Die folgenden Ausführungen zielen darauf ab, Wege zu einer weniger komplexen Darstellung der EN 1993-1-1 aufzuzeigen, indem die zahlreichen Alternativen auf wesentliche allgemeingültige Verfahren reduziert werden und auf eine sinnvolle Übereinstimmung mit den Regelungen in EN 1992-1 – Eurocode 2 - bei bauweisenübergreifenden Regelungen geachtet wird.
- (2) Vorlage für die nachfolgenden Ausführungen ist der CEN/TC 250 – CEN/TC 135-Bericht: Consistency of the equivalent geometric imperfections used in design and the tolerances for geometric imperfections used in execution, da die Grundlage einer einheitlichen Imperfektionsregelung für alle Stabilitätsnachweise ohne Schnittstellenprobleme Voraussetzung für die Bewertung von Alternativen und die daraus entstehenden Vorschlägen ist.
- (3) Die Vorschläge erfolgen Kapitelweise.

4.2 Vorschläge

Ad 3: **Werkstoffe:** Folgende Regelungen sind in EN 1993-1-1 nicht angesprochen und sollten aufgenommen werden:

1. Wie kann garantiert werden, dass die spezifizierten Mindestwerte der Streckgrenzen in den Produkten für alle Richtungen (z.B. bei Querlage der Prüfkörper auch in Längsrichtung) gelten.
2. Wie kann erreicht werden, dass die bei den Sicherheitsauswertungen von Versuchen beobachtete und für die Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte genutzte Streuung der Streckgrenzen (in Verbindung mit Streuung der geometrischen Abmessungen) mit Mittelwerten oberhalb der Mindestwerte auch bei Lieferungen in Zukunft beibehalten werden.
3. Wie kann erreicht werden, dass die bei Lieferungen beobachtete und für die Sicherheitselemente genutzte Qualität der Stähle im Hinblick auf die T_{27J} -Werte, die weit oberhalb der genormten Mindestwerte liegt, auch bei Lieferungen in der Zukunft beibehalten wird.
4. Wie können für die Verarbeitung durch Schweißen ungeeignete Stähle, die alle Merkmale der Mindestwerte der CE-Kennzeichnung erfüllen und offensichtlich nicht genormte Qualitätsanforderungen verletzen, aus den Lieferungen ausgeschlossen werden.

Ad 5.3: **Imperfektionen:**

- Die Regel 5.3.2(11) wird zur Hauptregel, die Regel 5.3.2(3) wird zur Nebenregel
- In Regel 5.3.2(3) entfällt die gleichzeitige Anwendung von lokalen und globalen Imperfektionen. siehe auch EN 1992-1.
- Die Bauteilimperfektionen 5.3.4 werden als modale Knickverformen und Biegedrillknickverformungen mit einheitlichen Amplitude e_0 festgelegt

Ad 6.3: Stabilitätsnachweise:

- Anstelle der unterschiedlichen Nachweisformate in 6.3.1 und 6.3.2 wird ein einheitliches Format mit der auf der modifizierten Biegeknickkurve beruhenden Biegedrillknickkurve angewendet, das eine vollständige Statik (unter Berücksichtigung 2. Ordnung) in der Haupttragebene voraussetzt und nach dem Ausweichen aus der Haupttragebene fragt.
- Die Interaktion von Druck und Biegung in der Haupttragebene in 6.3.3 entfällt, da sie in einem Schritt erledigt wird.
- Die Interaktion von Druck und Biegung in der Haupttragebene mit Biegung und Torsion quer zur Haupttragebene erfolgt mit einer sehr viel einfacheren und leistungsfähigeren Interaktion als in 6.3.3.
- Das allgemeine Verfahren in 6.3.4 wird erweitert, so dass die allgemeine Biegedrillknickkurve aus der Modifikation der Biegeknickkurve und die Interaktion mit Biegung und Torsion aus der Haupttragebene darin enthalten sind.

Ad Anhang A:

Anhang A entfällt

Ad Anhang BB.3:

Anhang BB.3 entfällt

4.3 Folgerungen

(1) Zur Zeit besteht die EN 1993-1-1 aus

- Hauptteil (75 Seiten) mit allgemeingültigen Regeln (bezeichnet mit (i)) und spezifischen Regeln für den Hochbau (bezeichnet mit (i)B),
- Anhang A (3 Seiten)
- Anhang B (2 Seiten)
- Anhang C (1 Seite)
- Anhang AB (1 Seite)
- Anhang BB (10 Seiten)

in Summe 91 Seiten.

(2) Der größte Teil des Inhalts von EN 1993-1-1 betrifft Stabilitätsregeln für Bauteile und Tragwerke:

- Abschnitte 5.2, 5.3 (9 Seiten)
- Abschnitte 6.3, 6.4 (19 Seiten)
- Anhang A (3 Seiten)
- Anhang B (2 Seiten)
- Anhang BB (10 Seiten)

in Summe 43 Seiten.

- (3) Aufgrund der Vorschläge würden sich folgende Veränderungen ergeben:
- Abschnitt 5.3 (1 Seite weniger)
 - Abschnitt 6.3 (6 Seiten weniger)
 - Anhang A (gestrichen)
 - Anhang B (gestrichen)
 - Anhang BB (gestrichen)
- (4) In der Summe würde das Volumen von EN 1993-1-1 von 91 Seiten auf 70 Seiten reduziert ($\approx 25\%$) und darin die Stabilitätsregeln von 43 Seiten auf 22 Seiten (50%).
- (5) Darüberhinaus würde folgenden Vorteile erzielt:
- Die Unterscheidung von allgemeingültigen Regeln und Regeln für den Hochbau entfällt.
 - Das Anwendungsgebiet für Biegedrillknicken würde ausgeweitet (keine Beschränkung auf Gabellagerung, konstante Normalkraftverläufe und Berücksichtigung von Querbiegung und Torsion).
 - Für alle Regeln liegt ausreichende Zuverlässigkeit geprüft an Versuchsauswertungen nach EN 1990-Anhang D vor.
 - Die Methoden sind sowohl für Handrechnungen, Computergestützte Handrechnungen und Computerberechnungen (FE) geeignet.
 - Es besteht Konsistenz zwischen Bemessungsregeln und Ausführungsbestimmungen (Toleranzen).