

K. Geißler, I. Prokop, A. Bubner, R. Egner, S. Heyde, M. Kempkes, B. Kühn, J. Laumann, P. Lieberwirth, J. Naumes, J. Ruga, S. Schilling, H. Schmidt, T. Ummenhofer

Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormen durch pränormative Arbeit

Teilantrag 3: Stahlbau

F 2964

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. 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.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2015

ISBN 978-3-8167-9539-1

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

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

PraxisRegelnBau

Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V.
Kurfürstenstraße 129 ■ 10785 Berlin



Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormen durch pränormative Arbeit –

Teilantrag 3: Stahlbau

BBSR-Forschungsvorhaben

Az.: II 3-F20-10-1-085_PG3 / SWD-10.08.18.7-12.29

Zuwendungsbescheid vom 20.09.2012

ABSCHLUSSBERICHT

Berichtszeitraum:

September 2012 bis Mail 2015

Forschende Stelle:

Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V.; bauforumstahl e.V.;
Bundesvereinigung der Prüfungenieure BVPI und Verband Beratender Ingenieure VBI

Aufgestellt:

15.06.2015

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler, Dr.-Ing. Ines Prokop

Bearbeiter:

Dr.-Ing. André Bubner
Dr.-Ing. Ralf Egner
Dr.-Ing. Stefan Heyde
Dipl.-Ing. Marian Kempkes
Prof. Dr.-Ing. Bertram Kühn
Prof. Dr.-Ing. Jörg Laumann
Dr.-Ing. Peter Lieberwirth
Dr.-Ing. Johannes Naumes
Dr.-Ing. Julija Ruga
Dipl.-Ing. Sivo Schilling
Prof. Dr.-Ing. Herbert Schmidt
Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer

*Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau
des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.*

Dieser Abschlussbericht umfasst 130 Seiten

Vorstand: Prof. Manfred Nußbaumer (München), Dr. Hans-Peter Andrä (Stuttgart), Dr. Volker Cornelius (Darmstadt)
Geschäftsführer: Dr. Lars Meyer (Berlin)
Sitz des Vereins: Eingetragen unter VR 30946 B beim Vereinsregister am Amtsgericht Charlottenburg von Berlin.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	4
1 Einführung.....	6
1.1 Ausgangslage und Problematik.....	6
1.2 Ziel und Vorgehensweise	8
1.3 Struktur des Berichtes.....	8
1.4 Bearbeiter	9
2 Bemessungsregeln für den Hochbau – DIN EN 1993-1-1	11
2.1 Bestandsanalyse.....	11
2.1.1 Allgemeines	11
2.1.2 Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-1-1, Kapitel 0 bis 5).....	11
2.1.3 Beanspruchbarkeit von Querschnitten (EC3-1-1, Abschnitt 6.1 und 6.2).....	17
2.1.4 Stabilitätsnachweise für Bauteile (EC3-1-1, Abschnitt 6.3).....	18
2.1.5 Unzulänglichkeiten in der deutschen Norm-Fassung.....	21
2.2 Lösungsvorschläge	22
2.2.1 Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-1-1, Kapitel 1 bis 5).....	22
2.2.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten (EC3-1-1, Abschnitt 6.1 und 6.2).....	25
2.2.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile (EC3-1-1, Abschnitt 6.3).....	30
3 Bemessung und Konstruktion von Anschlüssen – DIN EN 1993-1-8.....	37
3.1 Bestandsanalyse.....	37
3.2 Lösungsvorschläge	39
3.2.1 Grundlagen der Tragwerksplanung (EC3-1-8, Kapitel 2).....	39
3.2.2 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen (EC3-1-8, Kapitel 3).....	42
3.2.3 Schweißverbindungen (EC3-1-8, Kapitel 4)	42
3.2.4 Tragwerksberechnung (EC3-1-8, Kapitel 5)	43
3.2.5 Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten und mit Hohlprofilen (EC3-1-8, Kapitel 6 und 7).....	44
4 Bemessung und Konstruktion plattenförmiger Bauteile - DIN EN 1993-1-5... 	47
4.1 Bestandsanalyse.....	47
4.1.1 Allgemeines	47
4.1.2 Bestehende Verfahren	47
4.1.3 Anwendungsgrenzen der bestehenden Verfahren	50
4.1.4 Probleme der bestehenden Verfahren	50
4.2 Lösungsvorschläge	50
4.2.1 Zusammenführen der bestehenden unterschiedlichen Bemessungsansätze	50

4.2.2	Vorschlag für zweistufiges Vorgehen	51
4.2.3	Wirksame Blechdicke	52
4.2.4	Konsolidierung der Abminderungskurven	53
4.2.5	Interaktion zwischen lokalem und globalem Stabilitätsverhalten	54
4.2.6	Sensitivitätsanalysen	57
4.2.7	Vergleichsberechnungen durch unabhängige Büros	64
5	Ermüdung – DIN EN 1993-1-9	65
5.1	Bestandsanalyse	65
5.1.1.	Allgemeines	65
5.1.2.	Redaktionelle Durcharbeitung des Normtextes	65
5.1.3.	Inhaltliche Diskussionen einzelner normativer Inhalte	65
5.2	Lösungsvorschläge	66
5.2.1	Redaktionelle Überarbeitung des Normtextes	66
5.2.2	Inhaltliche Diskussion einzelner normativer Inhalte	66
6	Heißbemessung – DIN EN 1993-1-2	76
6.1	Bestandsanalyse	76
6.1.1	Allgemeines	76
6.1.2	Gliederung	76
6.1.3	Fehlen von Bauteilklassifizierungen / Tabellenanwendungen	77
6.1.4	Unübersichtliches Formelwerk	77
6.1.5	Kaltverfestigung nichtrostender Stähle	78
6.1.6	Regelungen zu erweiterten Verfahren	78
6.2	Lösungsvorschläge	78
6.2.1	Vorschlag für verbesserte Gliederung	78
6.2.2	Ergänzen von Tabellen für Bauteilklassifizierungen	79
6.2.3	Straffung des Formelwerks	81
6.2.4	Kaltverfestigung nichtrostender Stähle	82
6.2.5	Textstraffung zur Thematik „Erweiterte Verfahren“	83
6.2.6	Diverses	84
7	Kranbahnen – DIN EN 1993-6	85
7.1	Bestandsanalyse	85
7.1.1	Vorgängernormen für Kranbahnen	85
7.1.2	Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-6, Kapitel 0 bis 5)	85
7.1.3	Grenzzustände der Tragfähigkeit (EC3-6, Kapitel 6)	88
7.1.4	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (EC3-6, Kapitel 7)	89
7.1.5	Verbindungen und Kranschiene (EC3-6, Kapitel 8)	89
7.1.6	Ermüdungsnachweis (EC3-6, Kapitel 9)	90

7.1.7	Anhang A.....	92
7.2	Lösungsvorschläge	92
7.2.1	Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-6, Kapitel 0 bis 5).....	92
7.2.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit (EC3-6, Kapitel 6)	96
7.2.3	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (EC3-6, Kapitel 7).....	97
7.2.4	Verbindungen und Kranschiene (EC3-6, Kapitel 8)	97
7.2.5	Ermüdungsnachweis (EC3-6, Kapitel 9).....	97
8	Formelzeichen und Symbole im Eurocode 3.....	98
8.1	Bestandsanalyse.....	98
8.2	Lösungsvorschläge	99
9	Auswertung der Nationalen Anhänge	100
9.1	Bestandsanalyse.....	100
9.1.1	Einführung	100
9.1.2	Struktur der Nationalen Anhänge zum Eurocode 3	100
9.1.3	Vergleich und Analyse der NDP	101
9.2	Lösungsvorschläge	107
10	Hintergrundberichte für den Eurocode 3.....	108
10.1	Dokumente im Joint Research Centre in Ispra	108
10.2	Grundlagendokumente für die Vornormen	108
11	Ausführung von Stahltragwerken - EN 1090-2	109
11.1	Bestandsanalyse.....	109
11.1.1	Umfang, Struktur und Lesbarkeit der Norm	109
11.1.2	Defizite in der EN 1090-2 aus Sicht der Stahlbauindustrie	112
11.2	Lösungsvorschläge	114
11.2.1	Verbesserung von Umfang, Struktur und Lesbarkeit der Norm	114
11.2.2	Verbesserung der EN 1090-2 aus Sicht der Stahlbauindustrie.....	116
12	Warmgewalzte Baustähle - EN 10025.....	118
12.1	Bestandsanalyse.....	118
12.2	Lösungsvorschläge	118
13	Fazit und Ausblick	119
	Literatur.....	121
	Normen und Regelwerke	127

Abkürzungsverzeichnis

In diesem Bericht werden folgende Abkürzungen verwendet:

ABZ	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
CEN	Europäisches Komitee für Normung (Comité Européen de Normalisation, European Committee for Standardization)
CENELEC	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
CIDECT	Internationales Komitee zur Erforschung und Entwicklung von Hohlprofilkonstruktionen (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire)
DAST	Deutscher Ausschuss für Stahlbau
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EC0	DIN EN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
EC2-1-1	DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
EC3-1-1	DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
EC3-1-2	DIN EN 1993-1-2: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
EC3-1-5	DIN EN 1993-1-5: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile
EC3-1-8	DIN EN 1993-1-8: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
EC3-1-9	DIN EN 1993-1-9: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung
EC3-2	DIN EN 1993-2: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 2: Stahlbrücken
EC3-6	DIN EN 1993-6: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen
EC9-1-1	DIN EN 1999-1-1: Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln
ETA	europäische technische Zulassung (European Technical Approval bzw. European Technical Assessment)
GSI	Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
ISO	International Organization for Standardization
JRC	Joint Research Centre

NA	Nationaler Anhang
NABau	Normenausschuss Bauwesen (im DIN)
NCI	nicht widersprechende zusätzliche Angaben und Regeln zur Anwendung der Eurocodes (Non-contradictory Complementary Information) im jeweiligen NA
NDP	National festzulegende Parameter (National Determined Parameters) in den NA
OK	Oberkante
PG3	PRB-Projektgruppe 3: Stahlbau
PRB	Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V.
SC	Sub Committee (Unterausschuss im CEN)
SLV	Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
SpA	Spiegelausschuss - Gremium im DIN, hier: Spiegelausschuss zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1 (NA 005-08-16 AA)
TC	Technical Committee (Technisches Komitee im CEN)
WG	Working Group (Arbeitsgruppe, Gremium im CEN)

1 Einführung

1.1 Ausgangslage und Problematik

Der Eurocode 3 für den Stahlbau hat mit seinen 20 Teilen und den zugehörigen nationalen Anhängen für Deutschland ein Gesamtvolumen von etwa 1.700 Seiten. Dieser Regelungsumfang rief in der Ingenieur- und Baupraxis zum Teil heftige Kritik hervor. Kritisiert wurde neben der großen Seitenzahl beispielsweise die unzureichende Übersichtlichkeit und Konsistenz und damit verbunden die mangelhafte Anwenderfreundlichkeit. Die Ingenieure¹ und die Baupraxis bekundeten vielfach den Wunsch nach einem verbesserten, praxistauglicheren und konsistenten Regelwerk.

Die in der ersten Generation der Eurocodes vorhandenen Mängel haben sich unter anderem aus der Zusammenführung der vielen unterschiedlichen nationalen Erfahrungen der CEN-Mitgliedsländer ergeben. Während das CEN am Beginn des europäischen Harmonisierungsprozesses der Baunormen im Jahr 1975 nur 10 Mitgliedsländer hatte, erweiterte sich dieser noch überschaubare Kreis im Verlauf der vergangenen 40 Jahre auf derzeit 33 Mitgliedsländer. Die Vielzahl der damit zu integrierenden nationalen Gepflogenheiten und Erfahrungen sind ein wesentlicher Grund für die gegenüber den einzelnen nationalen Normen stark angestiegenen Umfänge der europäischen Regelwerke. Auf der anderen Seite muss auch erwähnt werden, dass mit den aktuellen Regelwerken zahlreiche Hinweise zu Verfahren und Nachweismethoden bereitgestellt wurden, die den aktuellen Entwicklungen in Baupraxis und Forschung Rechnung tragen. Tabelle 1.1 zeigt, dass eine Vielzahl von deutschen Regelwerken für den Stahlbau in den Eurocode 3 eingeflossen ist.

Sinnvoll wäre am Beginn der Erarbeitung des Eurocodes 3 eine systematische Zusammenstellung aller in Europa in den jeweiligen Ländern üblichen und bis dato genormten Bemessungsverfahren gewesen. Für die ersten gesamteuropäischen Bemessungsnormen mussten historisch gewachsene verschiedenartige Bemessungsansätze, die sich über mehr als zwei Jahrhunderte in den unterschiedlichen Schulen der Ingenieurwissenschaften und Stahlbaupraxis Europas entwickelt hatten, zusammengeführt und harmonisiert werden. Dies stellte alle Beteiligten vor eine große Herausforderung. Dass die ersten gesamteuropäischen Bemessungsnormen auch aus diesem Grund gewisse Mängel aufweisen und einer Weiterentwicklung bedürfen, ist durchaus legitim und verständlich.

Legitim ist ebenso, dass die verschiedenen interessierten Kreise des Stahlbaus die Praxistauglichkeit des Eurocode 3 durchaus unterschiedlich bewerten. Insbesondere auf den Stahlbau spezialisierte Ingenieurbüros und die Technischen Büros von Stahlbauunternehmen arbeiten sich relativ rasch in die umfangreiche Norm ein. Sie waren vergleichsweise zufrieden mit dem Eurocode 3. Dagegen ist das vielseitige wissenschaftsträchtige Normenwerk für insbesondere Ingenieure in kleineren Ingenieurbüros, die materialübergreifend planen, oder, die Stahlkonstruktionen eher gelegentlich, z. B. bei Umbauten, einsetzen, sehr schwierig zu handhaben. Für die Bemessung einer einfachen Stahlhalle beispielsweise sind mindestens fünf Normteile des Eurocode 3 erforderlich, siehe [Krahwinkel, 2013]. Die unterschiedliche Bewertung des Eurocode 3 erforderte eine inhaltlich und zeitlich intensivere Auseinandersetzung der verschiedenen Praxisvertreter und verlängerte die Anamnese-Phase im Rahmen des Forschungsvorhabens.

¹ Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird im gesamten Bericht bei Personenbezeichnungen nur die männliche Form verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer mit eingeschlossen.

Tabelle 1.1: Teile der DIN EN 1993 (rechts) mit Korrelation zu nationalen Vorgänger-Regelwerken

Nationale Regelwerke	DIN EN 1993															
	Teil 1-										Teil 2	Teil 3-		Teil 4-		Teil 6
	1	3	4	5	6	8	9	10	11	1		2	1	2		
DIN 18800-1	X					X			X							
DIN 18800-2	X	X		X												
DIN 18800-3	X			X												
DIN 18800-4	X				X											
DIN 18801	X			X		X			X							
DIN 18807-1		X														
DIN 18807-2		X														
DIN 18808						X										
DIN 18914													X			
DIN 4119-1														X		
DIN 4119-2														X		
DIN V 4131	X					X	X					X				
DIN 4132	X					X	X								X	
DIN V 4133	X					X	X					X				
DIN FB 103	X			X		X	X	X	X	X						
DAST-Ri 009								X								
DAST-Ri 014								X								
DAST-Ri 015	X			X												
DAST-Ri 016	X	X														
DAST-Ri 017	X				X											
Z-30.3-6			X													

Eurocode 4 für Verbundtragwerke aus Stahl und Beton

Als positives Beispiel für eine gelungene Zusammenführung der unterschiedlichen nationalen Regelungen kann DIN EN 1994 (EC4) angesehen werden. Der Eurocode 4 für Verbundtragwerke aus Stahl und Beton besteht aus drei Teilen: Teil 1-1 für den Hochbau, Teil 1-2 für den Brandfall und Teil 2 für den Brückenbau. Mit den zugehörigen deutschen nationalen Anwendungsdokumenten umfasst das Regelwerk insgesamt 362 Seiten. Er gilt als einer der derzeit fortschrittlichsten Eurocodes und zeigt, dass bei einer Beschränkung auf wesentliche Aspekte eine Norm anwenderfreundlich und konsistent gestaltet werden kann. Redaktionelle Verbesserungen und eine Anpassung an die aktuellen Entwicklungen sind aber auch beim Eurocode 4 sinnvoll.

1.2 Ziel und Vorgehensweise

Ziel des Vorhabens ist die pränormative Forschung im Vorfeld der praxisgerechten Überarbeitung und Weiterentwicklung des Eurocode 3 für den Stahlbau. Damit verbunden ist eine Verstärkung des Engagements der praktisch tätigen Ingenieure in der pränormativen Arbeit, um die Praxistauglichkeit der zukünftigen Bemessungsnormen zu verbessern. Praxistaugliche Bemessungsnormen als Hilfsmittel für die Ingenieure als Anwender sind ein wichtiger Baustein, damit es zukünftig großen und auch kleineren Ingenieurbüros möglich ist, in allen Fachbereichen des Bauingenieurwesens tätig zu sein.

Für das Forschungsvorhaben hat die Projektgruppe 3 von den 20 Teilen des Eurocodes 3 die Teile für die Untersuchungen ausgewählt, die für die Ingenieure in der Planung und Ausführung die größte Relevanz und den größten Verbesserungsbedarf haben. Da die Ausführungsnorm DIN EN 1090 Teil 2 und die DIN EN 10025 (Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen) in engem Zusammenhang mit dem Eurocode 3 stehen, wurden sie ebenfalls in Bezug auf die Praxistauglichkeit überprüft.

Gemäß Forschungsantrag wurden zunächst ähnlich einer Anamnese² die Schwachstellen und Überregulierungen des Eurocode 3 zusammengetragen. Dann wurde in einer Diagnose³ geprüft, inwieweit diese Defizite in der Praxis zu Problemen führen. Besonderes Augenmerk wurde auf die praktische Anwendbarkeit und Unstimmigkeiten in den Bemessungsvorschriften gelegt. Dies und Unklarheiten in der textlichen Formulierung der Norm wurden in Synopsen aufgezeigt. Die Synopsen gehören zu separaten Forschungsberichten und sind nicht Inhalt dieses Abschlussberichtes. Im Abschlussbericht sind die Anamnese und die Diagnose in den jeweiligen Kapiteln in einem Abschnitt „Bestandsanalyse“ zusammengeführt.

Im nächsten Schritt wurden Verbesserungen und Vereinfachungen der Norm im Sinne einer Therapie⁴ erarbeitet. Bedarfsweise wurden die Auswirkungen der Verbesserungsvorschläge auch an konkreten Bauteilen in Vergleichsberechnungen untersucht und mit den Bemessungsergebnissen der jetzt gültigen Fassung des Eurocode 3 verglichen. Die Therapie wird je Kapitel im Abschnitt „Lösungsvorschläge“ erläutert. Die Lösungsvorschläge münden in überarbeitete und praxistaugliche Entwürfe von Normentexten für den Eurocode 3. Diese Normentwürfe liegen in separaten Forschungsberichten vor und sind nicht Bestandteil dieses Abschlussberichtes.

1.3 Struktur des Berichtes

Der vorliegende Bericht gliedert sich in 13 Kapitel. Die vertikale Struktur des Berichtes ergibt sich aus den untersuchten Eurocode-Teilen bzw. Themengebieten, die jeweils in einem Kapitel behandelt werden. Aus der Vorgehensweise im Forschungsvorhaben ergibt sich die horizontale Gliederung des Berichtes. In jedem Kapitel wird im ersten Abschnitt „Bestandsanalyse“ jeweils die Anamnese und Diagnose dargestellt und im zweiten Abschnitt „Lösungsvorschläge“ nachfolgend die mögliche Therapie erläutert. Beide Abschnitte werden jeweils themenbezogen in einzelne Unterabschnitte gegliedert.

2 Anamnese: griechisch (ἀνάμνησις – *anámnesis*), die „Erinnerung“, d. h. die Vorgeschichte ermitteln. (Quelle: Wikipedia, Zugriff am 02.03.2015.)

3 Diagnose: griechisch (διάγνωσις – *diágnosis*), Unterscheidung, Entscheidung (aus διά-, *diá-*, durch- und γνῶσις, *gnósis*, Erkenntnis, Urteil). Die Diagnose ist die Klassifizierung von Phänomenen und deren Interpretation. (Quelle: ebd.)

4 Therapie: griechisch (θεραπεία – *therapeia*), Dienst, Pflege, Heilung (Quelle: ebd.)

Um die Lesbarkeit des Berichtes zu verbessern, wird für die Referenzen zum Eurocode und für den Bericht eine logische Bezeichnungshierarchie in Anlehnung an DIN 1421 eingeführt. Anstelle der im Eurocode üblichen Bezeichnung „Abschnitt“ für sämtliche Abschnitts-Teile des Dokuments, egal ob zwei oder zwanzig Seiten, erfolgt die Bezeichnung der Abschnitte entsprechend der Dokument-Hierarchie: *X* → *Kapitel*, *X.1 bis X.1.2.3.4* → *Abschnitt*, (*YZ*) → *Absatz*.

1.4 Bearbeiter

Die Forschungsarbeiten wurden in der Projektgruppe 3 von den Mitgliedern der Projektgruppe sowie von externen Experten durchgeführt, siehe Tabelle 1.2 und Tabelle 1.3. Die unterschiedlichen Forschungsthemen wurden in der Regel von mindestens zwei Personen im Team bearbeitet. Die Ergebnisse wurden anschließend in der Projektgruppe vorgestellt und diskutiert. Daher spiegeln sowohl die Teilberichte als auch der vorliegende Abschlussbericht die Gesamtmeinung der Projektgruppe wieder.

Tabelle 1.2 Mitarbeiter der PRB-Projektgruppe 3

Name	Adresse
Dr.-Ing. André Bubner	C + P Industrietechnik GmbH & Co. KG Fichtenweg 38, 99198 Erfurt-Kerspleben
Dr.-Ing. Ralf Egner	INGENIEURGRUPPE BAUEN Burkheimer Str. 3, 79111 Freiburg
Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler mit Dr.-Ing. Matthias Bartzsch	GMG Ingenieurgesellschaft mbH George-Bähr-Straße 10, 01069 Dresden
Dr.-Ing. Reinhard Gietzelt	Ingenieurbüro Dr.-Ing. Reinhard Gietzelt Colditzstraße 32 B, 12099 Berlin
Dipl.-Ing. Gregor Hartmann	Wetzel & von Seht Ingenieurbüro für Bauwesen Friesenweg 5 E, 22753 Hamburg
Dr.-Ing. Stefan Heyde	Krone Ingenieure GmbH Sophienstraße 33a, 10178 Berlin
Dipl.-Ing. Marian Kempkes	Gregull + Spang Ingenieurgesellschaft für Stahlbau GmbH Potsdamer Allee 75, 14532 Stahnsdorf
Prof. Dr.-Ing. Jörg Laumann	Ingenieurbüro Laumann Am Fasanengarten 6, 48683 Ahaus
Dr.-Ing. Johannes Naumes	Verheyen-Ingenieure GmbH & Co. KG Wilhelmstraße 88, 55543 Bad Kreuznach
Dr.-Ing. Ines Prokop	Praxisinitiative Normung des Verbandes Beratender Ingenieure VBI und der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure BVPI Budapester Straße 31, 10787 Berlin
Dr.-Ing. Julija Ruga u. Dipl.-Ing. Sivo Schilling (bis 09/2014) Dipl.-Ing. Volker Hüller mit Gregor Machura	bauforumstahl e.V. Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf
Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer mit Dr.-Ing Christoph Hörenbaum	Ingenieurgesellschaft Peil, Ummenhofer mbH Lorenzstraße 29, 76135 Karlsruhe

Tabelle 1.3 Gäste (Externe Experten) in der PRB-Projektgruppe 3

Name	Adresse
Dr.-Ing. Thomas Klähne (Überprüfung d. PG3-Vorschläge)	Klähne Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH Inselstr. 6 A, 10179 Berlin
Prof. Dr.-Ing. Bertram Kühn	Verheyen Ingenieure GmbH & Co. KG Wilhelmstraße 88, 55543 Bad Kreuznach
Dr.-Ing. Peter Lieberwirth	GMG Ingenieurgesellschaft mbH George-Bähr-Straße 10, 01069 Dresden
Prof. Dr.-Ing. Herbert Schmidt	Prof. Schmidt & Partner Kruppstraße 98, 45145 Essen
Prof. Dr.-Ing. Karl G. Schütz (Überprüfung d. PG3-Vorschläge)	DR. SCHÜTZ INGENIEURE An der Stadtmauer 13, 87435 Kempten (Allgäu)

Die Bearbeiter der Forschungsanträge sind in der Praxis tätige Tragwerksplaner aus Ingenieurbüros, Stahlbauunternehmen und Ingenieurverbänden. Sie haben langjährige Erfahrung mit der Anwendung von Normen im Stahlbau. Für einige Spezialthemen, wie Ermüdung (EC3-1-9), Kranbahnen (EC3-6) und die Fertigungsnorm (EN 1090-2) wurde es notwendig, die Fachkompetenzen der PG-Mitglieder durch externe Experten (Gäste der PG3) zu ergänzen.

Um die von der Projektgruppe erarbeiteten umfangreichen Vereinfachungsvorschläge für den EC3-1-1 und EC3-1-5 auf ihre Lesbarkeit und praktische Anwendbarkeit zu überprüfen, wurden zwei unabhängige Ingenieurbüros aus der Praxis hinzugezogen. Diese Überprüfung ist eine wesentliche Voraussetzung, um die Ergebnisse der Projektgruppe mit Erfolg in die deutschen und europäischen Normungsgremien einzubringen.

2 Bemessungsregeln für den Hochbau – DIN EN 1993-1-1

2.1 Bestandsanalyse

2.1.1 Allgemeines

Die EN 1993 Teil 1-1 (EC3-1-1) ist die Bemessungs-Grundnorm für den Stahlbau. Im Gegensatz zur ENV 1993-1-1 wurden inhaltlich abgeschlossene Sonderthemen, wie beispielsweise „Kaltgeformte Bauteile und Bleche“ (EN 1993 Teil 1-3) oder „Anschlüsse und Verbindungen“ (EN 1993 Teil 1-8), aus dem Teil 1-1 ausgelagert. Aus der deutschen Vorgängernorm DIN 18800 wurden einige bekannte Regeln ohne Änderungen übernommen, einige Regeln wurden dem fortgeschrittenen Erkenntnisstand entsprechend angepasst. Mehrere Regeln sind für die deutschen Anwender im Vergleich zur DIN 18800 neu und ungewohnt, da sie aus den Bemessungsnormen anderer CEN-Mitgliedsländer übernommen wurden.

2.1.2 Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-1-1, Kapitel 0 bis 5)

(Autor: Jörg Laumann)

Die Kapitel 0 bis 5 beinhalten allgemeine Angaben und Hinweise zur Tragwerksberechnung. Hierbei werden wesentliche Punkte wie die Anwendungsbereiche der Norm, die Werkstoffeigenschaften, die Systemidealisation, die Stabilität von Tragwerken und der Ansatz geometrischer Imperfektionen intensiv angegeben. Insgesamt sind die Kapitel 0 bis 5 in ihrer jetzigen Fassung in Teilbereichen jedoch sehr umfangreich, teilweise fehlerbehaftet und schwierig handhabbar. Für den Anwender sind einige Nachweismethoden schwer nachvollziehbar. Neben den vorgenannten Punkten haben sich in der direkten Anwendung in der Praxis die folgenden Defizite gezeigt:

- zahlreiche Dopplungen von Inhalten in den verschiedenen Teilen,
- viele Querverweise und
- häufige Nutzung gleicher Symbole und Buchstaben für völlig verschiedene Themen.

Analyse der Kapitel 0 bis 4

Die Kapitel 0 bis 4 des EC3-1-1 enthalten vorwiegend allgemeine Angaben und Werkstoffangaben, allerdings kaum konkrete Berechnungsanweisungen. Im Kapitel 0 stehen Hintergrundinformationen zur Entstehung der Eurocodes. Diese sind zwar von Interesse, jedoch würde es vollkommen ausreichen, diese in Eurocode 0 einmal anzugeben und im Sinne straffer Bemessungsnormen nicht in jeder Norm zu wiederholen.

Die beiden einleitenden Kapitel sind überwiegend baustoffunabhängig und weisen eine große Ähnlichkeit mit anderen Eurocodes auf. Es treten Überfrachtungen, Wiederholungen und teilweise unklare Formulierungen auf. Insgesamt nehmen die Kapitel 0 bis 4 in der jetzigen Fassung ca. 30 Seiten in Anspruch. Unnötig erscheint beispielsweise die extrem kleinteilige Dezimal-Substrukturierung mit bis zu vier Unterpunkten. Das Inhaltsverzeichnis wird dagegen nur bis zur dritten Stufe ausgewiesen. Nach Ansicht der Autoren ist es nicht erforderlich, dass für fast jeden Begriff ein eigener Unterabschnitt erstellt wird, wie z. B. in Abschnitt 1.5 und 2.1. Im Abschnitt 1.1.2 der Norm wird das Inhaltsverzeichnis teilweise erneut wiederholt. Dies macht die Norm eher unübersichtlich und verlängert den Text unnötig.

Die Begriffsdefinitionen in Abschnitt 1.6 sind teilweise missverständlich, siehe Kapitel 8 des Berichtes. Die Definition der Bauteilachsen führt zu Verwirrungen, da keine allgemein gültigen Angaben zu den Hauptachsen gemacht werden, siehe Bild 2.1. Des Weiteren fehlen Angaben zur Definition der Steghöhe h_w bei Walzprofilen. Dies kann einen wesentlichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse bei der Querkrafttragfähigkeit haben.

1.7 Definition der Bauteilachsen

(1) Die Bauteilachsen werden wie folgt definiert:

x-x längs des Bauteils;
 y-y—Querschnittsachse;
 z-z—Querschnittsachse.

(2) Die Querschnittsachsen von Stahlbauteilen werden wie folgt definiert:

— Allgemein:
 y-y—Querschnittsachse parallel zu den Flanschen;
 z-z—Querschnittsachse rechtwinklig zu den Flanschen.

— für Winkelprofile:
 y-y—Achse parallel zum kleineren Schenkel;
 z-z—Achse rechtwinklig zum kleineren Schenkel.

— wenn erforderlich:
 u-u Hauptachse (wenn sie nicht mit der y-y-Achse übereinstimmt);
 v-v Nebenachse (wenn sie nicht mit der z-z-Achse übereinstimmt).

(3) Die Symbole für die Abmessungen und Achsen gewalzter Stahlprofile sind in Bild 1.1 angegeben.

(4) Die Vereinbarung für Indizes zur Bezeichnung der Achsen von Momenten lautet: "Es gilt die Achse, um die das Moment wirkt".

ANMERKUNG Alle Regeln dieses Eurocodes beziehen sich auf die Eigenschaften in den Hauptachsenrichtungen, welche im Allgemeinen als y-y-Achse und z-z-Achse für symmetrische Querschnitte und u-u-Achse und v-v-Achse für unsymmetrische Querschnitte, wie z. B. Winkel, festgelegt sind.

Unklare Definition.
Wie ist der Unterschied zwischen Bauteil- und Querschnittsachsen von Stahlbauteilen definiert?
 x-x längs des Bauteils; in der Schwerelinie

Die Querschnittsachsen von Stahlbauteilen werden gemäß Bild 1.1 wie folgt definiert:

Vereinfachen:
 Querschnittsachsen im Schwerpunkt des Querschnitts:
 — y-y parallel zu den Flanschen;
 z-z rechtwinklig zu den Flanschen.

Streichen, da durch Bild 1.1 festgelegt

Vorschlag: Bezeichnungssystematik: x-u, y-v, z-w
 v-v 1. Hauptachse
 w-w 2. Hauptachse

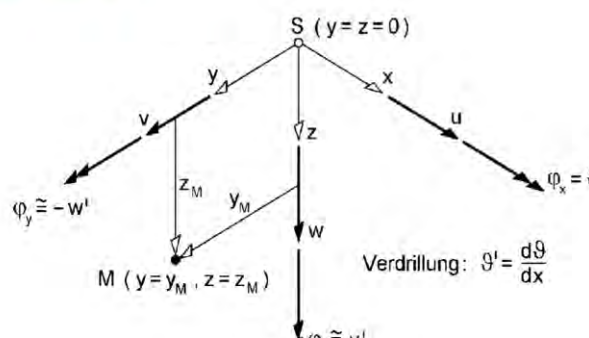


Bild 2.1: Exemplarisch Anamnese Abschnitt 1.7, Kommentare (rot) und Neuvorschläge (grün)

Eine detaillierte Bestandsanalyse des EC3-1-1 findet sich in den Dokumenten [Laumann, 2014b] und [Laumann, 2015a].

In Kapitel 3 „Werkstoffe“ ist es unnötig, für die Verbindungsmittel separate Unterabschnitte anzugeben, da hier jeweils nur ein Verweis zu EC3-1-8 angegeben wird. Die Definition der Duktilitätsanforderungen erscheinen missverständlich. Hier wäre eine klarere Formulierung wünschenswert.

Analyse Kapitel 5

In Kapitel 5 „Tragwerksberechnung“ und insbesondere in Abschnitt 5.1 zeigen sich die gleichen zuvor beschriebenen Probleme. Wiederum erscheint die kleinteilige Abschnittseinteilung unübersichtlich. Wie in anderen Teilen der Norm gibt es lehrbuchartige Sätze, die aus Sicht der Anwender überflüssig sind, siehe exemplarisch Bild 2.2. Teilweise ergeben sich aufgrund missverständlicher Übersetzungen Probleme in der Deutung.

Für die Berücksichtigung eines oberen Grenzwertes der Streckgrenze, sofern sich diese ungünstig auswirkt, sollten die Empfehlungen des deutschen NCI direkt in die Norm in Abschnitt 5.1.1 übernommen werden. Analysen haben gezeigt, dass dies bei Tragwerksberechnungen nach Plastizitätstheorie sicherheitsrelevant werden kann.

Die Grenzen gemäß Absatz 5.2.1(3), wann auf eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung verzichtet werden darf, sollten nochmals hinterfragt werden. So ist für die plastischen Berechnungen die Grenzbedingung mit einem Verzweigungslastfaktor von $\alpha_{cr} \geq 15$ teilweise kritisch zu sehen und unklar definiert, siehe hierzu die Hinweise in [Stroetmann, 2012a], da eine klare Angabe fehlt, für welche Steifigkeiten bzw. in welcher Fließgelenkkette diese Bedingung gilt.

5 Tragwerksberechnung	
5.1 Statische Systeme	5.1 Grundlegende Annahmen
5.1.1 Grundlegende Annahmen	Straffung von Abschnitt 5.1 ohne weitere Unterteilung
(1)P Die statische Berechnung ist mit einem Berechnungsmodell zu führen, das für den zu betrachtenden Grenzzustand geeignet ist.	Unnötige Erläuterung

Bild 2.2: Beispiel Anamnese mit lehrbuchartigem, überflüssigen Normentext (links) und Neu-vorschlag (grün) sowie Kommentare (rot)

In Abschnitt 5.2. finden sich teilweise Angaben, die eher Lehrbuchcharakter aufweisen und in einer Norm entbehrlich sind. So werden unter anderem in Absatz 5.2.1(4) unnötige separate Angaben für Hallenrahmen gemacht, die der Literatur entnommen werden können und als Grundlagen der Baustatik anzusehen sind. Gleiches gilt für die Absätze 5.2.2(4) und 5.2.2(5).

Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen (EC3-1-1, Abschnitt 5.3)

Der Ansatz der geometrischen Ersatzimperfektion ist teilweise kritisch zu sehen. So ist in Tabelle 5.1 in EC3-1-1 infolge einer missverständlichen bzw. falschen Übersetzung eine Vorkrümmung in Abhängigkeit der elastischen oder plastischen Berechnung auszuwählen, siehe Bild 2.3. Richtig wäre hier eine Auswahl in Abhängigkeit der elastischen und plastischen *Querschnittsausnutzung*. Die angegebenen Stiche der Vorkrümmungen wurden in Zusammenhang mit einer linearen Querschnittsinteraktion entwickelt, siehe [Stroetmann, 2012a], was leider unerwähnt bleibt. Untersuchungen von Lindner zeigen jedoch, dass die angegebenen Stiche auch bei einer nichtlinearen Interaktion verwendet werden können. Hier sollte eine Ergänzung bzw. Klärung erfolgen. Die nachfolgende Vergleichsrechnung untermauert die Auswirkungen der unterschiedlichen Interpretationen.

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

Knicklinie nach Tabelle 6.2	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

National gebräuchlich: elastische bzw. plastische Querschnittsausnutzung

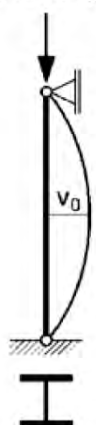


Bild 2.3: Zum Ansatz von Bauteilimperfektionen nach EC3-1-1, Tab. 5.1

Kritisch sind auch die Werte gemäß NA.1 anzusehen, wonach für die Knickspannungslinie a₀ eine Vorkrümmung von $e_{0,d}/L = 900$ empfohlen wird. Dieser Wert ist kleiner als die derzeit zulässigen Maßtoleranzen für Walzprofile $e_{0,d}/L = 750$ (gemäß DIN EN 1090-2).

Vergleichsberechnung: Biegeknicken eines Trägers um die starke Achse

Das folgende Berechnungsbeispiel zeigt exemplarisch die unterschiedlichen Ergebnisse bei Wahl der linearen oder nichtlinearen Querschnittsinteraktion im Zusammenhang mit dem Ansatz geometrischer Ersatzimperfectionen.

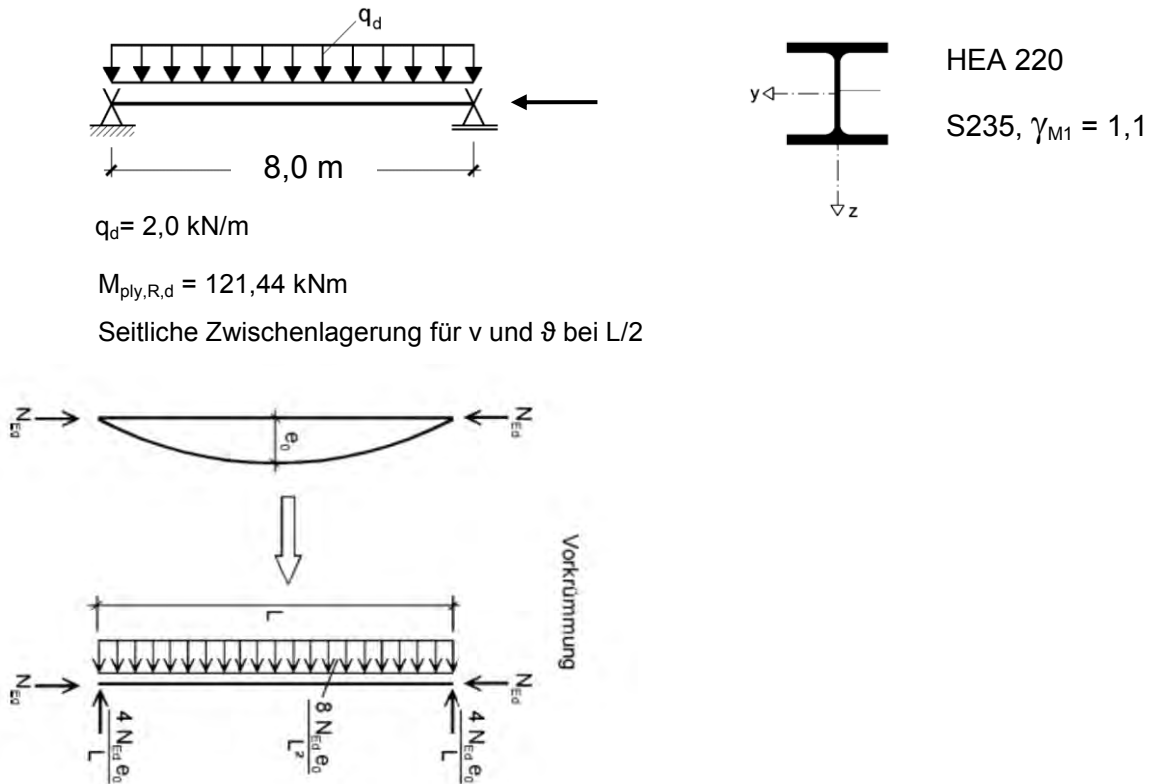


Bild: 2.4: Vergleichsberechnung für 1-Feld-Träger, System und Belastung

Für den in Bild 2.4 dargestellten Träger mit extrem hoher Drucknormalkraft und Gleichstreckenlast wird der Nachweis gegen Biegeknicken um die starke Achse durch eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz von geometrischen Ersatzimperfectionen und Überprüfung der Querschnittstragfähigkeit durchgeführt.

Fall 1: gemäß Tab. 5.1: Knicklinie a: $\rightarrow e_{0,d} / L = 1 / 250$
 $\rightarrow \underline{e_{0,d}} = 3,2 \text{ cm}$

Fall 2: gemäß Tab. NA.1: $\rightarrow e_{0,d} / L = 1/550 \cdot M_{pl,k} / M_{el,k}$
 $= 1/550 \cdot 133,6 / 121 = 1/498$
 $\rightarrow \underline{e_{0,d}} = 1,61 \text{ cm}$

Die Berechnung erfolgt nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorkrümmungen als Parabel. Die weiteren Ergebnisse sind in [Laumann, 2015a] dargestellt. Nach Theorie I. Ordnung beträgt das maximale Feldmoment $M_{yEd}^I = 16 \text{ kNm}$ und nach Theorie II. Ordnung $M_{yEd}^{II} = 61,86 \text{ kNm}$. Die Ausnutzungen wurden unter Berücksichtigung einer Laststeigerung ermittelt.

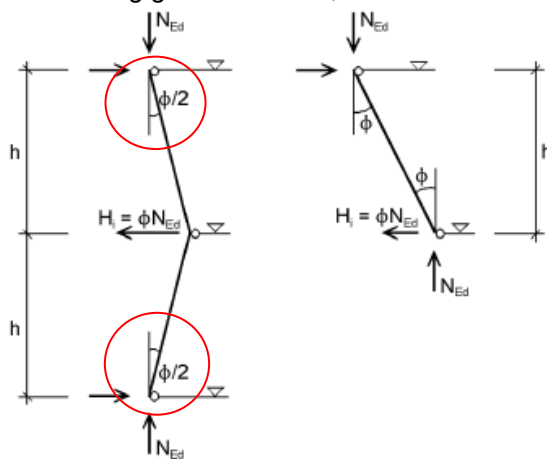
Tabelle 2.1: Vergleich der Schnittgrößen und Ausnutzungsgrade (zum Berechnungsbeispiel)

Imperfektion [cm]	Schnittgrößen		plastische Querschnittsinteraktion	
	M_y [kNm]	N [kN]	linear	nichtlinear
Fall 1 $e_{0,d} = 3,20$	61,86	-675	1,00	0,93
Fall 2 $e_{0,d} = 1,61$	44,16	-675	0,85	0,80

Während bei Verwendung der linearen Interaktion im Fall 1 die Ausnutzung bei ca. 100 % liegt, beträgt diese bei der nichtlinearen Interaktion nur 93 %, d. h. diese Ergebnisse wären günstiger. Auch bei Ansatz der Vorkrümmungen gemäß NA1 (Fall 2) ergeben sich mit ca. 6 % signifikante Abweichungen.

Für die Ermittlung von horizontalen Ersatzlasten bei mehrstöckigen Stützen ist der Ansatz der halben Schiefstellung $\phi/2$, vgl. Bild 5.3 EC3-1-1, insbesondere im Zusammenhang mit Bild 5.7 des EC3-1-1 und der bisherigen DIN 18800-2 verwirrend. In Bild 5.7 wird der volle Wert von ϕ vorgeschrieben für lokale Ersatzlasten, siehe nachfolgendes Bild 2.5. Hier sollte geprüft werden, ob zur Vereinfachung und Straffung eine einheitliche Regelung gefunden werden kann.

a) Schiefstellung gemäß Bild 5.3, EC3-1-1



b) Schiefstellung gemäß Bild 5.7, EC3-1-1

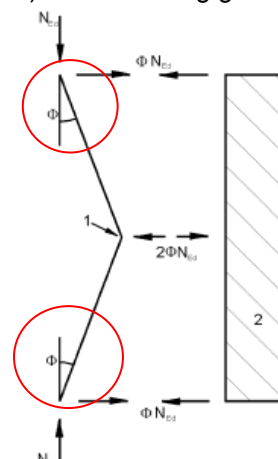


Bild 2.5: Vergleich der Schiefstellungen gemäß Bild 5.3 und 5.7 in EC3-1-1

Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme (EC3-1-1, Abschnitt 5.3.3)

In Abschnitt 5.3.3 der Norm werden die Imperfektionsansätze für die Bemessung aussteifender Systeme geregelt. Dabei ist immer nur eine einwellige Vorkrümmung als Vorverformung anzusetzen. Vergleichsrechnungen in [Krahwinkel, 2001], [Kindmann, 2008] und [Laumann, 2013] zeigen jedoch, dass dieser Ansatz vorwiegend bei Systemen mit konstanten Druckkräften korrekt sind, während bei Systemen mit großen Randmomenten, wie typische Rahmenriegel von Hallenkonstruktionen oder bei Systemen mit zusätzlichen Drehbettungen oder Schubfeldsteifigkeiten, sich teilweise mehrwellige Eigenformen ergeben. Hier wäre der Ansatz mehrwelliger Vorkrümmungen sinnvoller. Es besteht daher weiterer Forschungsbedarf und es sollte ein Hinweis im Eurocode ergänzt werden. Des Weiteren sollte die Gleichung (5.14) von EC3-1-1 um Anteile aus Drucknormalkräften erweitert werden, da bei vielen aussteifenden Systemen neben Biegemomenten auch Drucknormalkräfte auftreten, die zu einer Vergrößerung der Beanspruchung des Aussteifungssystems führen, siehe z. B. [Krahwinkel, 2001], [Laumann, 2006] und [Laumann, 2013].

Imperfektionen bei Biegedrillknickproblemen (EC3-1-1, Abschnitt 5.3.4)

Bei der Überprüfung von biegedrillknickgefährdeten Systemen mit Berechnungen nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion gibt es ebenfalls deutliche Lücken in der möglichen Anwendung. So ist unklar, in welchem Kontext die geometrischen Ersatzimperfektionen mit den Querschnittsnachweisen zu berücksichtigen sind. Leider existieren keine Angaben, welche Imperfektionen bei welcher Interaktionsbeziehung bei elastisch-plastischer Berechnung zu verwenden sind. Auch ist unklar, wie bei der Fließgelenk- und Fließzonentheorie vorzugehen ist und wie Eigenspannungen zu berücksichtigen sind. Insgesamt fehlt eine sinnvolle Beziehung zwischen den anzusetzenden Imperfektionen und den Nachweisen der Querschnittstragfähigkeit nach Abschnitt 6.2. Hier wären ergänzende Regelungen hilfreich.

Querschnittsklassifizierung (EC3-1-1, Abschnitt 5.5)

Die Querschnittsklassifizierung gemäß EC3-1-1 Abschnitt 5.5 ist für die üblichen Anwendungen und vorgegebene Schnittgrößenkombinationen aus Drucknormalkraft und Biegemoment eindeutig angegeben. Unklarheiten ergeben sich jedoch hinsichtlich der Querschnittseinstufung bei gleichzeitiger Wirkung verschiedener Schnittgrößen, sofern die Grenztragfähigkeit betrachtet bzw. eine Ausnutzung angegeben werden soll. So ist zum Beispiel nicht festgelegt, wie in diesem Fall mit einer Schnittgrößenkombination aus Normalkraft N und Biegemoment M_y zu verfahren ist. Sollen diese gleichzeitig gesteigert werden oder darf zum Beispiel die Normalkraft konstant gehalten und nur das Biegemoment gesteigert werden. Dies kann zu deutlich unterschiedlichen Querschnittsklassen führen und somit zu unterschiedlichen Grenztragfähigkeiten.

Vergleichsberechnung:

Das nachfolgende in Bild 2.6 dargestellte Beispiel untermauert die Problematik bei gleichzeitiger Wirkung der Schnittgrößen $N_{Ed} = -1.500 \text{ kN}$ als Druckkraft und $M_{yEd} = 70 \text{ kNm}$.

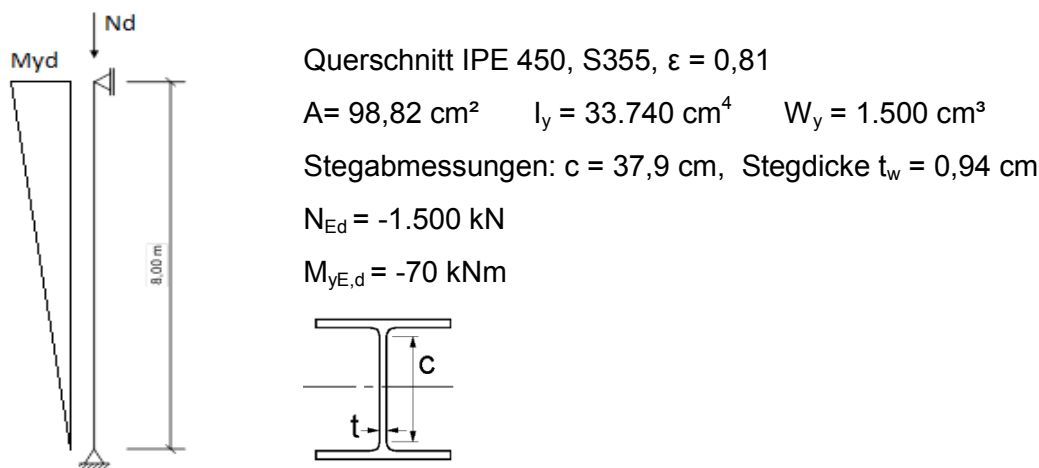


Bild 2.6: Querschnittsklassifizierung für Normalkraft und Biegemoment

Nachweis der Querschnittsklasse für den Steg am Stützenkopf:

Fall a) gleichzeitige Steigerung von $N_{E,d}$ und $M_{y,E,d}$ bis zur Streckgrenze

Gemäß EC3-1-1, Tab. 5.2, folgt für den Steg:

- vorh. $c/t = 40,3 \rightarrow$ vollständig überdrückter Steg $\rightarrow \psi = 0,59$
- für Querschnittsklasse 3: $\max c/t = 42 \cdot \epsilon / (0,67 + 0,33 \cdot \psi) = 39,3 < \text{vorh. } c/t = 40,3$

\rightarrow Der Steg ist in Querschnittsklasse 4 einzustufen!

Fall b) $N_{E,d}$ wird konstant gehalten und $M_{y,E,d}$ bis zur Streckgrenze gesteigert

$N_{E,d} = -1.500 \text{ kN}$; $\max M_{y,E,d} = -304,8 \text{ kNm}$, $\psi = -0,06$

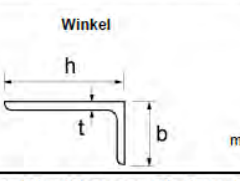
Gemäß EC3-1-1, Tab. 5.2 für Querschnittsklasse 3:

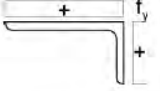
- $\max c/t = 42 \cdot \epsilon / (0,67 + 0,33 \cdot \psi) = 72,1 > \text{vorh. } c/t = 40,3$

Der Steg kann in Querschnittsklasse 3 eingestuft werden!

Auch bei der Querschnittsklassifizierung von Winkelprofilen ergeben sich Missverständnisse. Die in Tabelle 5.2 von EC3-1-1 separat ausgewiesenen grenz-(c/t)-Verhältnisse weichen teilweise deutlich von denen einseitig gestützter Gurte ab. Hier wird vorgeschlagen, den Hinweis in Tab. 5.2 von EC3-1-1 zu streichen und die Bedingung $c/t \leq 14\epsilon$ einzufügen, siehe Bild 2.7.

Tabelle 5.2 (fortgesetzt) — Maximales c/t-Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile



Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile
	
3	$h/t \leq 15\epsilon$ und $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$

Siehe auch „einseitig gestützte Flansche“ in Tabelle 5.2, oben

gilt nicht für Winkel mit durchgehender Verbindung zu anderen Bauteilen

Vorschlag:
 Der Hinweis „Siehe auch einseitig gestützte Flansche“ sollte entfallen. Statt dessen sollte in der Gleichung ergänzt werden:
 ... und $c/t \leq 14\epsilon$ (in Skizze c ergänzen)

Bild 2.7: Querschnittsklassifizierung von Winkelprofilen

2.1.3 Beanspruchbarkeit von Querschnitten (EC3-1-1, Abschnitt 6.1 und 6.2)

(Autor: Jörg Laumann)

In Abschnitt 6.1 und Abschnitt 6.2 von EC3-1-1 liegt eine Vielzahl von Normenseiten mit Regelungen und Gleichungen zur Querschnittstragfähigkeit vor. Hierbei wurde die Gliederung in Abschnitt 6.2.3 bis 6.2.7 in Abhängigkeit der Einzelbeanspruchung gewählt, worauf Abschnitte mit Regelungen bei unterschiedlichen Schnittgrößenkombinationen folgen. Eine Unterteilung in Abhängigkeit der Querschnittsklasse und der damit verbundenen Nachweismethoden erfolgt nicht.

Insbesondere bei der Ermittlung der plastischen Widerstände sind die mechanischen Zusammenhänge teilweise schwer nachvollziehbar und es ist für den Anwender häufig nicht erkennbar, ob er einen elastischen oder plastischen Querschnittsnachweis durchführt. Gleichzeitig zeigen aktuelle Veröffentlichungen, dass die Ergebnisse der plastischen Querschnittsinteraktion teilweise auf der unsicheren Seite liegen können, siehe z. B. [Kindmann, 2012a] und [Kindmann, 2012b].

Eine weitere Schwierigkeit stellt die häufige Dopplung von Gleichungen dar. So werden in Abschnitt 6.2.4 und nachfolgenden Abschnitten häufig separate Gleichungen für die Grenzbeanspruchbarkeit der Querschnitte für die Querschnittsklassen 1 und 2, 3 und 4 ausgewiesen, wobei sich die Gleichungen meist nur durch einzusetzenden Querschnittswerte unterscheiden. Dies führt zu Unübersichtlichkeit und einer schlechten Handhabung der Norm. Auch besteht

hierdurch der Nachteil, dass in ein und demselben Abschnitt plastische und elastische Nachweise gemischt werden. Der Anwender, der nur einen einfachen Nachweis für den häufigen Anwendungsfall aus Biegung um die starke Achse mit Querkraft und Normalkraft führen möchte, muss sich fast durch den gesamten Abschnitt 6.2 vorarbeiten, bis er sicher ist, alle erforderlichen Nachweisgleichungen erkannt zu haben. Für die Anwendung wäre es von Vorteil, wenn die für alle vier Querschnittsklassen zulässigen einfachen Nachweisgleichungen, wie die Spannungsnachweise oder die lineare Interaktion zusammenhängend inklusive der Querkraftansätze vorangestellt würden.

Die möglichen plastischen Reserven für Querschnitte der Klasse 1 und Klasse 2 (Interaktionsnachweise) sind in der derzeitigen Norm ebenfalls über zahlreiche Unterabschnitte verteilt, was die Handhabung erschwert. Hier sollten die Nachweise komprimiert zusammengefasst werden im Anschluss an die vorgenannten allgemeingültigen Methoden (für alle vier Querschnittsklassen). Aufgrund der umfangreicheren Änderungsvorschläge zu Abschnitt 6.2 von EC3-1-1 werden die weiteren Bestandsanalysen im Zusammenhang mit den Verbesserungsvorschlägen in Abschnitt 2.2.2 vorgestellt. Detaillierte Angaben finden sich in [Laumann, 2015a].

2.1.4 Stabilitätsnachweise für Bauteile (EC3-1-1, Abschnitt 6.3)

(Autor: Stefan Heyde)

Inhalt und Struktur von Abschnitt 6.3

Die Stabilitätsnachweise im Abschnitt 6.3 umfassen die Stabilitätsfälle Knicken, Kippen, Biegeknicken und Biegedrillknicken für stabförmige Bauteile. Dabei wird in der vorliegenden Fassung des Eurocode 3 ohne direkte Benennung davon ausgegangen, dass in der Regel der Nachweis in Form von vereinfachten Gleichungen vorgenommen wird, obwohl in jedem Fall auch eine direkte Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz von geeigneten Imperfektionen und unter Berücksichtigung der Bauteilverformungen nach Abschnitt 5.2 möglich ist. Dies wird erst später in den einzelnen Unterabschnitten erwähnt, z. B. in 6.3.3.

Die derzeitige Gliederung sieht eine Behandlung der Stabilitätsfälle in Abhängigkeit von den einwirkenden Schnittgrößen vor: Zentrischer Druck (Abschnitt 6.3.1), einachsige Biegung um die Hauptachse (Abschnitt 6.3.2) sowie kombinierte Beanspruchungen aus Druck und Biegung. Für den letzten, allgemeinen Fall, werden zwei Verfahren angeboten; ein Nachweiskonzept auf Grundlage vereinfachter Interaktionsgleichungen (Abschnitt 6.3.3) und ein allgemeineres Verfahren (Abschnitt 6.3.4).

Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck (EC3-1-1, Abschnitt 6.3.1) und mit Biegung um die Hauptachse (EC3-1-1, Abschnitt 6.3.2)

Untergliedert sind die ersten beiden Abschnitte 6.3.1 und 6.3.2 jeweils in die Darstellung und Zuordnung der entsprechenden Knicklinien und die Bestimmung des bezogenen Schlankheitsgrades als Eingangsparameter für die Ermittlung des Abminderungsfaktors. Die wie in der Vorgängernorm enthaltene Darstellung der Knicklinien in Diagrammform erscheint didaktisch sinnvoll, wenngleich dies in Hinsicht auf eine konsistente Darstellungsform von Gleichungen, die in aller Regel nur formelmäßig und nicht grafisch erfolgt, eine Ausnahme darstellt. Damit wird die besondere Bedeutung der Knicklinien für den Stabilitätsnachweis insgesamt unterstrichen. Der Hinweis, dass Werte auch der Grafik direkt entnommen werden dürfen, ist nicht nötig. Ebenso ist die mehrfache Definition des bezogenen Schlankheitsgrades in den Abschnitten 6.3.1.2 und 6.3.1.3 nicht notwendig.

Eine Zusammenstellung der Abgrenzungskriterien, bei deren Einhaltung ein Nachweis entfallen kann oder nach vereinfachten Gleichungen möglich ist, findet sich erst im Anschluss an das jeweilige Nachweisverfahren, was insbesondere für den Stabilitätsfall Biegedrillknicken gilt. Hier wäre eine Umordnung wünschenswert, so dass Abgrenzungskriterien und vereinfachte Verfahren zu Beginn eines Absatzes zu finden sind und genauere und daher in der Regel aufwändigere Verfahren im Anschluss. Dies war in DIN 18800-2 bei z. B. dem Biegedrillknicknachweis der Fall und von hohem praktischen Wert. Die beiden in Absatz 6.3.1.2(4) genannten Abgrenzungskriterien für den Stabilitätsfall Biegeknicken führen zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen, da sie auf unterschiedlichen Ansätzen basieren. Im Zuge der Vermeidung von Doppelregelungen und Widersprüchen sollte auf das ungünstigere Kriterium $N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,04$ verzichtet werden, da es in direktem Widerspruch zu Gleichung (5.1) steht. In diesem Fall ergibt sich durch Umstellung ein deutlich günstigeres Verhältnis von $N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,1$.

Für den Stabilitätsfall Biegedrillknicken wird bei der Zuordnung der Knicklinien unterschieden in allgemeine Querschnitte und gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte. Letztere sind in der Regel einer etwas ungünstigeren Knicklinie zuzuordnen, wobei die unterschiedliche Behandlung des Querschnittsparameters h/b unklar erscheint. Die ungünstigere Knicklinie wird dann bei den gewalzten und gleichartig geschweißten Querschnitten durch einen Modifikationsfaktor f nach Gleichung (6.58) kompensiert, so dass am Ende ein etwas günstigerer Wert für den zugehörigen Abminderungsfaktor erzielt wird. Da nach dem Nationalen Anhang in Deutschland der Modifikationsbeiwert f auch für Bauteile mit allgemeinen Querschnitten angewendet werden darf, führt die vorgenommene Differenzierung zu deutlich ungünstigeren Ergebnissen für die gewalzten und gleichartig geschweißten Querschnitte. Eine Beibehaltung dieser Differenzierung erscheint damit nicht sonderlich sinnvoll.

Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile (EC3-1-1, Abschnitt 6.3.3)

Die Besonderheit bei dem Verfahren mit Interaktionsgleichungen nach Abschnitt 6.3.3 besteht darin, dass bei gleichem Grundformat in den Anhängen A und B unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der notwendigen Interaktionsbeiwerte dargestellt sind. Während das Konzept nach Anhang B noch für eine Handrechnung geeignet ist, kann dies von dem in Anhang A dargestellten Konzept nicht mehr behauptet werden. Die Fehleranfälligkeit bei der Bestimmung der diversen und recht kompliziert zu bestimmenden Beiwerte muss als sehr hoch eingestuft werden. Somit kann dieses Verfahren eher einer computergestützten Berechnung zugeordnet werden, wofür dann aber auch alternativ die Möglichkeit einer Berechnung nach Abschnitt 6.3.4 besteht.

Die Anwendung des Verfahrens mit Interaktionsgleichungen beschränkt sich insgesamt auf Bauteile mit doppelsymmetrischem Querschnitt und Beanspruchungen in den Hauptachsenrichtungen. Bauteile mit planmäßiger Torsion und einfachsymmetrischen Querschnitten sind hierbei nicht erfasst, was aber dem grundsätzlichen Mangel an einfachen Regelungen zu dieser Problematik geschuldet ist. Die zusätzliche Berücksichtigung von Querkräften erfolgt durch einen vor- oder nachgeschalteten Querschnittsnachweis nach Abschnitt 6.2. Dies impliziert, dass eine direkte Interaktion von Querkräften mit den beim Stabilitätsnachweis zu berücksichtigenden Schnittgrößen vernachlässigt werden kann.

Als weiterer Kritikpunkt muss die aus den Interaktionsgleichungen nicht mehr klar hervorgehende Zuordnung zu den Stabilitätsfällen Biegeknicken und Biegedrillknicken gesehen werden. Indirekt ergibt sich dies aus dem anzusetzenden Abminderungsfaktor χ_{LT} , dessen Notwendigkeit aber erst im Laufe der Durcharbeitung der Gleichungen ersichtlich wird. Der Hinweis in Absatz 6.3.3(1) mit dem Bezug auf verdrehsteife und verdrehweiche Bauteile führt im Folgenden zu keiner Vereinfachung oder Zuordnung der Interaktionsgleichungen und ist zudem im direkten Verweis auf die Querschnittsform missverständlich.

Bedingt durch die aktuelle Forschung ist zu erwarten, dass die auf Interaktionsgleichungen basierenden Nachweisverfahren, insbesondere hinsichtlich der in Anhang B festgelegten Interaktionsbeiwerte, überarbeitet und erweitert werden. Entsprechende Vorschläge sind bereits im europäischen Rahmen in Diskussion.

Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise (EC3-1-1, Abs. 6.3.4)

Das allgemeine Verfahren nach Abschnitt 6.3.4 wird mit Absatz (1) auf Fälle beschränkt, bei denen der Nachweis nach den Abschnitten 6.3.1 bis 6.3.3 nicht geführt werden kann. Diese Beschränkung ist unnötig, da hier vielmehr eine Alternative beschrieben wird. Das Verfahren kann bei Druck und/oder einachsiger Biegung für Bauteile mit beliebigem, zumindest einfachsymmetrischem Querschnitt oder auch für aus Bauteilen zusammengesetzte Tragwerke verwendet werden. Die Formulierung von Gleichung (6.63) weicht überraschend vom üblichen Format $E_d / R_d \leq 1,0$ ab, ohne dass sich dies mechanisch oder sicherheitstheoretisch erschließt. Ebenso erscheinen die ausführlichen Ausformulierungen für besondere Fälle in den zugehörigen Anmerkungen nicht notwendig.

Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken (EC3-1-1, Abschnitt 6.3.5)

Dem Abschnitt „*Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken*“ kommt eine besondere Bedeutung zu. Hier werden sehr ausführlich konstruktive Regeln und vereinfachte rechnerische Verfahren dargestellt, die beim Nachweis biegedrillknickgefährdeter Bauteile bei Anwendung des Verfahrens Plastisch-Plastisch zu beachten sind. Die vereinfachten Verfahren verweisen für weitere Anwendungen auf den Anhang BB.3, in dem die vorwiegend in Großbritannien angewendete „*stable length method*“ sehr ausführlich dargestellt wird. Die mechanischen Hintergründe der angegebenen Gleichungen erschließen sich aus dem Kontext nicht und sind auch kaum verfügbar. Zudem stehen die Ergebnisse der auf eine maximale freie Knicklänge der druckbeanspruchten Bauteile zwischen zwei seitlichen Halterungen abgestellten Gleichungen im Widerspruch zur Gleichung (6.59). Letztere ist in dieser Form auch bereits in DIN 18800-2 enthalten gewesen (Nachweis des Druckgurtes als Knickstab) und stellt somit ein nachvollziehbares und auf der sicheren Seite liegendes Abgrenzungskriterium dar.

Im Sinne einer widerspruchsfreien Norm sind insofern der Anhang BB.3 und die zugehörigen vereinfachten Verfahren in Abschnitt 6.3.5 in Frage zu stellen. Der Hinweis auf konstruktiv einzuhaltende Randbedingungen hingegen sowie der Ansatz für Imperfektionen, die beim Nachweis der aussteifenden Bauteile und den zugehörigen Anschlüssen zu berücksichtigen sind, sollte in der Norm enthalten bleiben; ob das an dieser Stelle in Abschnitt 6.3: Stabilitätsnachweise für Bauteile der richtige Ort ist oder zumindest teilweise die Zuordnung zu Abschnitt 5.3: Imperfektionen nicht sinnvoller wäre, ist noch zu diskutieren.

Resümee

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die Stabilitätsnachweise von stabförmigen Bauteilen mit Abschnitt 6.3 umfangreiche Nachweiskonzepte mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad bei der Anwendung vorliegen. Wünschenswert wäre die Aufnahme eines auch für die Handrechnung geeigneten Verfahrens, mit dem gevoutete Stäbe nachgewiesen werden können. Zu den teilweise widersprüchlichen oder doppelt vorhandenen Regelungen sowie zu Vereinfachungsmöglichkeiten werden nachfolgend in Abschnitt 2.2.3 Vorschläge gemacht, die in großen Teilen auch bereits mit großer Akzeptanz in die aktuelle Diskussion im DIN-Gremium NA 005-08-16 AA (SpA zu CEN/TC 250/SC 3) eingebracht wurden.

2.1.5 Unzulänglichkeiten in der deutschen Norm-Fassung

(Autor: Stefan Heyde)

Bei der detaillierten Durcharbeitung der aktuellen Fassung von EC3-1-1 hat sich überraschend oft gezeigt, dass unklare, missverständliche oder sogar falsch zu verstehende Anweisungen und Hinweise durch Übersetzungsfehler aus dem englischen Grunddokument hervorgerufen werden.

Ein generelles Verständnisproblem der Anwender ist dabei der in der deutschen Sprache ansonsten nicht in dieser Weise übliche Gebrauch der modalen Hilfsverben. Durch die nahezu durchweg eingefügte Klausel „ist in der Regel“ oder „sollte“ wird entsprechend üblichem Sprachgebrauch der Anwender an diversen Stellen eine alternativ mögliche Behandlung unterstellt, die es oftmals nicht gibt.⁵

Als Beispiel sei hier Absatz 6.3.1.2(2) zitiert: *„Der Imperfektionsbeiwert α sollte der Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 entnommen werden“*. Zur Tabelle 6.1 gibt es allerdings keine Alternative, da der Imperfektionsbeiwert α ausschließlich dort festgelegt ist. Der Hinweis auf Tab. 6.2 ist zudem falsch, da dort kein Bezug mehr auf α genommen wird. Hinsichtlich einer eindeutigen Regelung wäre es an diesen Stellen wünschenswert, den Sachverhalt auch klar zu benennen. Vorschlag: *„Der Imperfektionsbeiwert α ist der Tabelle 6.1 zu entnehmen.“* Dies würde die Anwendung erleichtern, da schon mit dem Hinweis geklärt ist, dass es dazu keine Alternative gibt. Die entsprechende Formulierung in der englischen Fassung: *„... should be obtained ...“* ist an dieser Stelle zwar gemäß der Geschäftsordnung „Regeln für den Aufbau und die Abfassung von CEN/CENELEC-Publikationen DIN 820-2:2012-12 [R52] richtig übertragen worden, allerdings ist die Richtigkeit der Formulierung damit trotzdem nicht gegeben.

Ein Beispiel zur unnötigen Verwendung von *„in der Regel“* ist in Absatz 6.3.1.4(1) gegeben: *„Bei Bauteilen mit offenen Querschnitten ist in der Regel zu beachten, dass der Widerstand des Bauteils gegen Drillknicken oder Biegedrillknicken möglicherweise kleiner als sein Widerstand gegen Biegeknicken ist.“* Eindeutiger wäre hier, die Phrase *„in der Regel“* wegzulassen. Dass es sich nicht um ein generelles Phänomen handelt, wird bereits mit *„möglicherweise“* ausgedrückt. Eine Formulierung wie: *„Bei Bauteilen mit offenen Querschnitten ist zu beachten, dass der Widerstand des Bauteils gegen Drillknicken möglicherweise kleiner als sein Widerstand gegen Biegeknicken ist.“* beschreibt das Problem eindeutig.

Wünschenswert ist es daher, dass künftig bei der Übertragung der nationalen Fassungen aus dem Englischen stärker auf den üblichen deutschen Sprachgebrauch Bezug genommen wird, um eine klare und eindeutig zu verstehende und damit auch anzuwendende Normen zu erhalten.

Ein Beispiel für einen Übersetzungsfehler, der vermutlich auf fachliche Unkenntnis der Übersetzenden zurückzuführen ist, ist in Absatz 5.1.1(3)P gegeben. Die Aufforderung im Originaltext: *„The method used for the analysis should be consistent with the design assumptions.“* wurde mit der Aussage: *„Das Berechnungsverfahren entspricht den Bemessungsannahmen.“* übersetzt. Dies ist weder fachlich noch inhaltlich richtig und ergibt keinerlei praktische Anwendbarkeit.

⁵ Die Formulierung „sollte“ wird in allen Eurocode-Teilen häufig verwendet und suggeriert eine Freiheit für den Anwender, die es eigentlich nicht gibt. Das Verb „sollte“ ist die wörtliche Übersetzung des Wortes „should“ der englischen Originalfassung. Das englische „should“ hat traditionell in englischen Normentexten einen sehr verbindlichen Charakter, während das deutsche „sollte“ unverbindlicher ist.

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Übersetzungsfehler und -unschärfen mit entsprechendem Vorschlag zur Neuformulierung wird im Abschnitt 2.2.4 gegeben.

Auch der generelle Verzicht auf die Indizierung der Bemessungswerte mit dem Index d ist kritisch zu sehen, da sich dadurch keine Vorteile bei der Formulierung von Gleichungen ergeben; im Gegenteil erscheinen sie durch das konsequente Mitführen der Teilsicherheitsbeiwerte eher unnötig komplex. Aus Sicht der Verfasser würde sich die Lesbarkeit verbessern, wenn zu der in Deutschland gewohnten Schreibweise zurückgekehrt werden würde.

2.2 Lösungsvorschläge

2.2.1 Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-1-1, Kapitel 1 bis 5)

(Autor: Jörg Laumann)

Durch die in den Teilberichten vorgeschlagenen Korrekturen und Umstrukturierungen konnte eine wesentliche Kürzung und bessere Übersichtlichkeit der Norm erzielt werden. Als Verbesserungsvorschläge sind in den ersten Kapiteln 0 bis Abschnitt 5.2 im Wesentlichen Textkorrekturen und Textstraffungen zu nennen. Deutlichere Änderungen werden für den Abschnitt 5.3 (Imperfektionen) vorgeschlagen, da hier teilweise fehlende und missverständliche Angaben zu Fehlinterpretationen und Berechnungen auf der unsicheren Seite führen können.

Auch bei den Querschnittsklassifizierungen besteht Änderungsbedarf. So ist nicht eindeutig erkennbar, wie bei gleichzeitig wirkenden Schnittgrößen aus N und M_y die Querschnittsklassifizierung vorzunehmen ist, sofern eine Grenztragfähigkeit bzw. eine Ausnutzung ermittelt werden soll. Hier wird vorgeschlagen, dass immer beide Schnittgrößen gleichmäßig gesteigert werden und nicht nur ein Schnittgrößenanteil.

Ebenfalls zu Verwirrung führt die Einstufung von Winkelprofilen, für die es unterschiedliche Bedingungen gibt. Diese wurden durch die neuen Vorschläge vereinheitlicht, siehe hierzu Abschnitt 2.1.2

Die Änderungsvorschläge werden hier kapitelweise (passend zum Normenbezug) angegeben. Die detaillierten Hinweise zu den einzelnen Textstellen, Gleichungen und Nachweisformaten können [Laumann, 2014b] und [Laumann, 2015a] entnommen werden. Kürzungen und Vereinfachungen konnten in allen Kapiteln vorgenommen werden, wobei sich die Bearbeitung der einzelnen Kapitel gemäß der folgenden Tabelle 2.2 angeben lässt.

Tabelle 2.2: Übersicht der wesentlichen Überarbeitungen von EC3-1-1, Kapitel 0 bis 6.2

Kapitel/Abschnitt	Ergebnis
0 bis 4 gekürzt und konsolidiert, Straffung der Gliederung	Jetzige Norm: 30 Seiten Neufassung: ca. 15 Seiten
5.1 und 5.2 gekürzt und konsolidiert, Straffung der Gliederung	Jetzige Norm: 32 Seiten
5.3 umstrukturiert, konsolidiert, vereinfacht	Neufassung: ca. 21 Seiten
5.4 bis 5.6 u. 6.1 konsolidiert, vereinfacht, Gliederung gestrafft	
6.2 umstrukturiert, konsolidiert, vereinfacht	

<table border="0"> <tr><td>Vorwort</td><td>4</td></tr> <tr><td>Hintergrund des Eurocode-Programms</td><td>4</td></tr> <tr><td>Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes</td><td>5</td></tr> <tr><td>Nationale Fassungen der Eurocodes</td><td>6</td></tr> <tr><td>Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)</td><td>6</td></tr> <tr><td>Besondere Hinweise zu EN 1993-1</td><td>6</td></tr> <tr><td>Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1</td><td>7</td></tr> <tr><td>1 Allgemeines</td><td>8</td></tr> <tr><td>1.1 Anwendungsbereich</td><td>8</td></tr> <tr><td>1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3</td><td>8</td></tr> <tr><td>1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1</td><td>9</td></tr> <tr><td>1.2 Normative Verweisungen</td><td>10</td></tr> <tr><td>1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen</td><td>10</td></tr> <tr><td>1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustähle</td><td>10</td></tr> <tr><td>1.3 Annahmen</td><td>10</td></tr> <tr><td>1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln</td><td>10</td></tr> <tr><td>1.5 Begriffe</td><td>10</td></tr> <tr><td>1.6 Formelzeichen</td><td>11</td></tr> <tr><td>1.7 Definition der Bauteilachsen</td><td>20</td></tr> <tr><td>2 Grundlagen für die Tragwerksplanung</td><td>23</td></tr> <tr><td>2.1 Anforderungen</td><td>23</td></tr> <tr><td>2.1.1 Grundlegende Anforderungen</td><td>23</td></tr> <tr><td>2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit</td><td>23</td></tr> <tr><td>2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit</td><td>23</td></tr> <tr><td>2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen</td><td>24</td></tr> <tr><td>2.3 Basisvariable</td><td>24</td></tr> <tr><td>2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse</td><td>24</td></tr> <tr><td>2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften</td><td>24</td></tr> <tr><td>2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten</td><td>25</td></tr> <tr><td>2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften</td><td>25</td></tr> <tr><td>2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen</td><td>25</td></tr> <tr><td>2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit</td><td>25</td></tr> <tr><td>2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU)</td><td>25</td></tr> <tr><td>2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen</td><td>25</td></tr> <tr><td>3 Werkstoffe</td><td>26</td></tr> <tr><td>3.1 Allgemeines</td><td>26</td></tr> <tr><td>3.2 Baustahl</td><td>26</td></tr> <tr><td>3.2.1 Werkstoffeigenschaften</td><td>26</td></tr> <tr><td>3.2.2 Anforderungen an die Duktilität</td><td>26</td></tr> <tr><td>3.2.3 Bruchzähigkeit</td><td>27</td></tr> <tr><td>3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung</td><td>29</td></tr> <tr><td>3.2.5 Toleranzen</td><td>29</td></tr> <tr><td>3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten</td><td>29</td></tr> <tr><td>3.3 Verbindungsmittel</td><td>30</td></tr> <tr><td>3.3.1 Schrauben, Bolzen, Niete</td><td>30</td></tr> <tr><td>3.3.2 Schweißwerkstoffe</td><td>30</td></tr> <tr><td>3.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau</td><td>30</td></tr> <tr><td>4 Dauerhaftigkeit</td><td>30</td></tr> </table>	Vorwort	4	Hintergrund des Eurocode-Programms	4	Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	5	Nationale Fassungen der Eurocodes	6	Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)	6	Besondere Hinweise zu EN 1993-1	6	Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1	7	1 Allgemeines	8	1.1 Anwendungsbereich	8	1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3	8	1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1	9	1.2 Normative Verweisungen	10	1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen	10	1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustähle	10	1.3 Annahmen	10	1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	10	1.5 Begriffe	10	1.6 Formelzeichen	11	1.7 Definition der Bauteilachsen	20	2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	23	2.1 Anforderungen	23	2.1.1 Grundlegende Anforderungen	23	2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit	23	2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	23	2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	24	2.3 Basisvariable	24	2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	24	2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften	24	2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	25	2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften	25	2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen	25	2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	25	2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU)	25	2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen	25	3 Werkstoffe	26	3.1 Allgemeines	26	3.2 Baustahl	26	3.2.1 Werkstoffeigenschaften	26	3.2.2 Anforderungen an die Duktilität	26	3.2.3 Bruchzähigkeit	27	3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	29	3.2.5 Toleranzen	29	3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten	29	3.3 Verbindungsmittel	30	3.3.1 Schrauben, Bolzen, Niete	30	3.3.2 Schweißwerkstoffe	30	3.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau	30	4 Dauerhaftigkeit	30	<table border="0"> <tr><td>Vorwort</td><td>4</td></tr> <tr><td>Gliederung von Eurocode 3</td><td>4</td></tr> <tr><td>Gliederung von Eurocode 3, Teil 1</td><td>4</td></tr> <tr><td>Nationale Fassungen der Eurocodes</td><td>4</td></tr> <tr><td>Besondere Hinweise zu EN 1993-1</td><td>5</td></tr> <tr><td>Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1</td><td>5</td></tr> <tr><td>1 Allgemeines</td><td>5</td></tr> <tr><td>1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3</td><td>5</td></tr> <tr><td>1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3, Teil 1-1</td><td>6</td></tr> <tr><td>1.3 Normative Verweisungen</td><td>6</td></tr> <tr><td>1.4 Unterscheidungen nach Grundsätzen und Anwendungsregeln</td><td>6</td></tr> <tr><td>1.5 Begriffe</td><td>6</td></tr> <tr><td>1.6 Formelzeichen</td><td>7</td></tr> <tr><td>1.7 Definition der Bauteilachsen</td><td>9</td></tr> <tr><td>2 Grundlagen für die Tragwerksplanung</td><td>10</td></tr> <tr><td>2.1 Grundlegende Anforderungen</td><td>10</td></tr> <tr><td>2.2 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit</td><td>10</td></tr> <tr><td>2.2.1 Allgemeines</td><td>10</td></tr> <tr><td>2.2.2 Nutzungsdauer bei Hochbauten</td><td>11</td></tr> <tr><td>2.2.3 Dauerhaftigkeit bei Hochbauten</td><td>11</td></tr> <tr><td>2.3 Einwirkungen, Umgebungseinflüsse und Produkteigenschaften</td><td>11</td></tr> <tr><td>2.4 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften und geometrische Größen</td><td>12</td></tr> <tr><td>3 Werkstoffe</td><td>12</td></tr> <tr><td>3.1 Allgemeines</td><td>12</td></tr> <tr><td>3.2 Baustahl</td><td>12</td></tr> <tr><td>3.2.1 Werkstoffeigenschaften</td><td>12</td></tr> <tr><td>3.2.2 Anforderungen an die Duktilität</td><td>12</td></tr> <tr><td>3.2.3 Bruchzähigkeit</td><td>13</td></tr> <tr><td>3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung</td><td>15</td></tr> <tr><td>3.2.5 Toleranzen</td><td>15</td></tr> <tr><td>3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten</td><td>15</td></tr> <tr><td>4 Dauerhaftigkeit</td><td>15</td></tr> </table>	Vorwort	4	Gliederung von Eurocode 3	4	Gliederung von Eurocode 3, Teil 1	4	Nationale Fassungen der Eurocodes	4	Besondere Hinweise zu EN 1993-1	5	Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1	5	1 Allgemeines	5	1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3	5	1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3, Teil 1-1	6	1.3 Normative Verweisungen	6	1.4 Unterscheidungen nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	6	1.5 Begriffe	6	1.6 Formelzeichen	7	1.7 Definition der Bauteilachsen	9	2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	10	2.1 Grundlegende Anforderungen	10	2.2 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	10	2.2.1 Allgemeines	10	2.2.2 Nutzungsdauer bei Hochbauten	11	2.2.3 Dauerhaftigkeit bei Hochbauten	11	2.3 Einwirkungen, Umgebungseinflüsse und Produkteigenschaften	11	2.4 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften und geometrische Größen	12	3 Werkstoffe	12	3.1 Allgemeines	12	3.2 Baustahl	12	3.2.1 Werkstoffeigenschaften	12	3.2.2 Anforderungen an die Duktilität	12	3.2.3 Bruchzähigkeit	13	3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	15	3.2.5 Toleranzen	15	3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten	15	4 Dauerhaftigkeit	15
Vorwort	4																																																																																																																																																																
Hintergrund des Eurocode-Programms	4																																																																																																																																																																
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	5																																																																																																																																																																
Nationale Fassungen der Eurocodes	6																																																																																																																																																																
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)	6																																																																																																																																																																
Besondere Hinweise zu EN 1993-1	6																																																																																																																																																																
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1	7																																																																																																																																																																
1 Allgemeines	8																																																																																																																																																																
1.1 Anwendungsbereich	8																																																																																																																																																																
1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3	8																																																																																																																																																																
1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1	9																																																																																																																																																																
1.2 Normative Verweisungen	10																																																																																																																																																																
1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen	10																																																																																																																																																																
1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustähle	10																																																																																																																																																																
1.3 Annahmen	10																																																																																																																																																																
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	10																																																																																																																																																																
1.5 Begriffe	10																																																																																																																																																																
1.6 Formelzeichen	11																																																																																																																																																																
1.7 Definition der Bauteilachsen	20																																																																																																																																																																
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	23																																																																																																																																																																
2.1 Anforderungen	23																																																																																																																																																																
2.1.1 Grundlegende Anforderungen	23																																																																																																																																																																
2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit	23																																																																																																																																																																
2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	23																																																																																																																																																																
2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	24																																																																																																																																																																
2.3 Basisvariable	24																																																																																																																																																																
2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	24																																																																																																																																																																
2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften	24																																																																																																																																																																
2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	25																																																																																																																																																																
2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften	25																																																																																																																																																																
2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen	25																																																																																																																																																																
2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	25																																																																																																																																																																
2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU)	25																																																																																																																																																																
2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen	25																																																																																																																																																																
3 Werkstoffe	26																																																																																																																																																																
3.1 Allgemeines	26																																																																																																																																																																
3.2 Baustahl	26																																																																																																																																																																
3.2.1 Werkstoffeigenschaften	26																																																																																																																																																																
3.2.2 Anforderungen an die Duktilität	26																																																																																																																																																																
3.2.3 Bruchzähigkeit	27																																																																																																																																																																
3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	29																																																																																																																																																																
3.2.5 Toleranzen	29																																																																																																																																																																
3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten	29																																																																																																																																																																
3.3 Verbindungsmittel	30																																																																																																																																																																
3.3.1 Schrauben, Bolzen, Niete	30																																																																																																																																																																
3.3.2 Schweißwerkstoffe	30																																																																																																																																																																
3.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau	30																																																																																																																																																																
4 Dauerhaftigkeit	30																																																																																																																																																																
Vorwort	4																																																																																																																																																																
Gliederung von Eurocode 3	4																																																																																																																																																																
Gliederung von Eurocode 3, Teil 1	4																																																																																																																																																																
Nationale Fassungen der Eurocodes	4																																																																																																																																																																
Besondere Hinweise zu EN 1993-1	5																																																																																																																																																																
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1	5																																																																																																																																																																
1 Allgemeines	5																																																																																																																																																																
1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3	5																																																																																																																																																																
1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3, Teil 1-1	6																																																																																																																																																																
1.3 Normative Verweisungen	6																																																																																																																																																																
1.4 Unterscheidungen nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	6																																																																																																																																																																
1.5 Begriffe	6																																																																																																																																																																
1.6 Formelzeichen	7																																																																																																																																																																
1.7 Definition der Bauteilachsen	9																																																																																																																																																																
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	10																																																																																																																																																																
2.1 Grundlegende Anforderungen	10																																																																																																																																																																
2.2 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	10																																																																																																																																																																
2.2.1 Allgemeines	10																																																																																																																																																																
2.2.2 Nutzungsdauer bei Hochbauten	11																																																																																																																																																																
2.2.3 Dauerhaftigkeit bei Hochbauten	11																																																																																																																																																																
2.3 Einwirkungen, Umgebungseinflüsse und Produkteigenschaften	11																																																																																																																																																																
2.4 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften und geometrische Größen	12																																																																																																																																																																
3 Werkstoffe	12																																																																																																																																																																
3.1 Allgemeines	12																																																																																																																																																																
3.2 Baustahl	12																																																																																																																																																																
3.2.1 Werkstoffeigenschaften	12																																																																																																																																																																
3.2.2 Anforderungen an die Duktilität	12																																																																																																																																																																
3.2.3 Bruchzähigkeit	13																																																																																																																																																																
3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	15																																																																																																																																																																
3.2.5 Toleranzen	15																																																																																																																																																																
3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten	15																																																																																																																																																																
4 Dauerhaftigkeit	15																																																																																																																																																																

Bild 2.8: Inhaltsverzeichnis von Kapitel 0 bis 4 - alt (links) und Neuvorschlag (rechts)

Änderungsvorschläge zu Kapitel 0 bis 4

Für die Kapitel 0 bis 4 wurden im Wesentlichen Kürzungen vorgenommen und missverständliche oder fehlerhafte Formulierungen korrigiert, die teilweise auch infolge ungenauer Übersetzung entstanden sind. Hieraus resultiert die in Bild 2.8 folgende neue Gliederung im Vergleich zum bisherigen Normenstand. Durch die sinnvollen Kürzungen und Vereinfachung der Gliederung ergibt sich eine Reduzierung von 30 Seiten auf ca. 15 Seiten (inkl. Vorwort etc.) und eine Verbesserung der Lesbarkeit.

Änderungsvorschläge zu Kapitel 5 (Tragwerksberechnung)

Neben Kürzungen und Änderungen von missverständlichen Formulierungen in Kapitel 5 war ein wesentlicher Punkt die Überarbeitung von Abschnitt 5.3 mit den Ansätzen der Ersatzimperfectionen. Hieraus resultiert die folgende neue Gliederung im Vergleich zum bisherigen Normenstand. Wie bei den Kapiteln 0 bis 4 ergibt sich durch Kürzungen und eine Vereinfachung der Gliederung, siehe Bild 2.9, eine wesentliche Reduzierung der Seiten und eine deutliche Verbesserung der Lesbarkeit.

<p>5 Tragwerksberechnung</p> <p>5.1 Statische Systeme</p> <p>5.1.1 Grundlegende Annahmen</p> <p>5.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse</p> <p>5.1.3 Bauwerks-Boden-Interaktion</p> <p>5.2 Untersuchung von Gesamttragwerken</p> <p>5.2.1 Einflüsse der Tragwerksverformung</p> <p>5.2.2 Stabilität von Tragwerken</p> <p>5.3 Imperfektionen</p> <p>5.3.1 Grundlagen</p> <p>5.3.2 Imperfektionen für die Tragwerksberechnung</p> <p>5.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme</p> <p>5.3.4 Bauteilimperfektionen</p> <p>5.4 Berechnungsmethoden</p> <p>5.4.1 Allgemeines</p> <p>5.4.2 Elastische Tragwerksberechnung</p> <p>5.4.3 Plastische Tragwerksberechnung</p> <p>5.5 Klassifizierung von Querschnitten</p> <p>5.5.1 Grundlagen</p> <p>5.5.2 Klassifizierung</p> <p>5.6 Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung...</p>	<p>5 Tragwerksberechnung</p> <p>5.1 Grundlegende Annahmen</p> <p>5.2 Untersuchung von Tragwerken</p> <p>5.2.1 Einflüsse der Tragwerksverformung</p> <p>5.2.2 Stabilität von Tragwerken</p> <p>5.3 Imperfektionen</p> <p>5.3.1 Allgemeines</p> <p>5.3.2 Imperfektionen für die Tragwerksberechnung</p> <p>5.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme</p> <p>5.3.4 Bauteilimperfektionen</p> <p>5.4 Berechnungsmethoden</p> <p>5.4.1 Allgemeines</p> <p>5.4.2 Elastische Tragwerksberechnung</p> <p>5.4.3 Plastische Tragwerksberechnung</p> <p>5.5 Klassifizierung von Querschnitten</p> <p>5.5.1 Grundlagen</p> <p>5.5.2 Klassifizierung</p> <p>5.6 Anforderungen an Querschnittsformen am Ort der Fließgelenkbildung bei plastischer Tragwerksberechnung</p>
--	--

Bild 2.9: Inhaltsverzeichnis alt (links) und Neuvorschlag (rechts) von Kapitel 5

Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen (EC3-1-1, Abschnitt 5.3)

Wie in Abschnitt 2.1 erläutert, ist der Ansatz der geometrischen Ersatzimperfektion teilweise kritisch zu sehen. Änderungsvorschläge zu Tabelle 5.1 der Norm wurden direkt in Abschnitt 2.1 angegeben. So sollte ein Hinweis ergänzt werden, dass die Vorkrümmungswerte nur im Zusammenhang mit einer linearen Interaktion entwickelt wurden oder ein Kommentar, dass die Werte auch im Zusammenhang mit der nichtlinearen Interaktion verwendet werden dürfen.

Der Wert gemäß Tabelle NA.1 für die Knickspannungslinie a_0 sollte bis auf Weiteres wie für die Knickspannungslinie a gewählt werden oder die Angaben gemäß Tab. 5.1 der Norm. Gleichzeitig ist in den Tabellenüberschriften der Begriff „Berechnung“ durch „Querschnittsausnutzung“ zu ersetzen.

Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme (EC3-1-1, Abschnitt 5.3.3)

Neben dem bereits angegebenen Klärungsbedarf in Abschnitt 2.1.2 für den Ansatz der Ersatzimperfektionen sollte die Gleichung (5.14) der Norm um Anteile aus Drucknormalkräften wie folgt erweitert werden:

Bisherige Gleichung (5.14):
$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h}$$

Neuer Vorschlag:
$$N_{Ed}^* = \frac{M_{Ed}}{h} + \frac{N_{Ed}}{2}$$

Imperfektionen bei Biegedrillknickproblemen (EC3-1-1, Abschnitt 5.3.4)

Für den Biegedrillknicknachweis durch eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen steht in der Norm zur Zeit kein geschlossenes Verfahren unter Berücksichtigung plastischer Querschnittsreserven zur Verfügung. Hier ist als Schlussfolgerung derzeit nur ein Spannungsnachweis möglich. Für den Nachweis der Querschnittstragfähigkeit werden folgende vier Methoden vorgeschlagen unter Berücksichtigung der jeweiligen Ersatzimperfektionen:

1. Teilschnittgrößenverfahren (TSV) nach [Kindmann, 2002],
2. Lineare Interaktion mit Erweiterung für M_ω und Schubspannungsanteile,
3. Nichtlineare Interaktion gemäß EC3-1-1, Gl. 6.41, mit Erweiterung für M_ω und
4. Allgemeiner Spannungsnachweis.

Die Hinweise zur Anwendung des Teilschnittgrößenverfahrens sind in [Kindmann, 2002] angegeben und werden hier nicht näher erläutert.

Die erweiterte lineare Interaktion kann wie folgt angegeben werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{M_{\omega,Ed}}{M_{\omega,Rd}} \leq 1$$

In der Norm fehlen klare Angaben, wie Schubspannungsanteile infolge Querkraft und Torsion zu berücksichtigen sind. Auch ist die Berücksichtigung der Wölbbimomente nicht definiert. Hier sind eindeutige Regelungen erforderlich. Es wird vorgeschlagen, die Querkräfte und Torsionschnittgrößen über eine Abminderung der Streckgrenze zu berücksichtigen, wie bei der nichtlinearen Interaktion mit Bezug auf Abschnitt 6.2.10 der Norm. Des Weiteren sollte die Interaktionsgleichung um die Anteile von M_{ω} gemäß der o. g. Gleichung erweitert werden. Unter Beachtung der vorgenannten Punkte liegt die Methode deutlich auf der sicheren Seite.

Es steht im Eurocode 3 zur Zeit kein Verfahren für die Überprüfung der plastischen Querschnittstragfähigkeit unter Verwendung der nichtlinearen Interaktion zur Verfügung, bei dem auch die Anteile aus dem Wölbbimoment M_{ω} berücksichtigt werden. Werden die Anteile aus M_{ω} vernachlässigt, so ergibt sich eine deutlich auf der unsicheren Seite liegende Bemessung gegenüber der Fließzonentheorie. Es wird vorgeschlagen, den Anteil aus $M_{\omega} / M_{\omega,Rd}$ vereinfacht linear zur Interaktion nach Gleichung (6.41) der Norm zu ergänzen. Hier ist der Ansatz von M_{ω} jedoch noch genauer zu untersuchen, um wirtschaftlichere Ergebnisse zu erhalten. Hieraus ergibt sich folgender Vorschlag für eine vereinfachte Erweiterung der Gleichung (6.41):

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{\beta} + \frac{M_{\omega,Ed}}{M_{\omega,Rd}} \leq 1$$

Querschnittsklassifizierung (EC3-1-1, Abschnitt 5.5)

Die Probleme bei der Querschnittsklassifizierung von Winkelprofilen sowie Lösungsvorschläge wurden in Abschnitt 2.1 direkt angegeben.

Um die Querschnittsklassifizierung unter Beachtung der Grenztragfähigkeit bei gleichzeitiger Beanspruchung aus Drucknormalkraft und Biegemoment zu ermitteln, wird empfohlen, bis zur genaueren Klärung die Schnittgrößen immer gemeinsam zu steigern, siehe das Berechnungsbeispiel in Abschnitt 2.1.3.

2.2.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten (EC3-1-1, Abschnitt 6.1 und 6.2)

Während in Abschnitt 6.1 der Norm nur geringfügige Textanpassungen erforderlich sind, ist das Änderungspotential in Abschnitt 6.2 hinsichtlich der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit größer. Hierfür wurde ein Änderungsvorschlag erarbeitet, der einen leichteren Umgang ermöglichen soll. Es werden dabei die allgemein immer anwendbaren Nachweismethoden für Querschnitte der Klassen 1 bis Klasse 4 vorangestellt und die Interaktionsverfahren für Querschnittsklassen 1 und 2 separiert. Die Untersuchungen zeigen, dass die neue Darstellung deutlich übersichtlicher und leichter handhabbar ist und die mechanischen Zusammenhänge direkt erkennbar sind.

<ul style="list-style-type: none"> 6.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten 6.2.1 Allgemeines 6.2.2 Querschnittswerte 6.2.3 Zugbeanspruchung 6.2.4 Druckbeanspruchung 6.2.5 Biegebeanspruchung 6.2.6 Querkraftbeanspruchung 6.2.7 Torsionsbeanspruchung 6.2.8 Beanspruchung aus Biegung und Querkraft 6.2.9 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft 6.2.10 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft 	<ul style="list-style-type: none"> 6.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten 6.2.1 Allgemeines 6.2.2 Querschnittswerte <ul style="list-style-type: none"> 6.2.2.1 Bruttoquerschnitte 6.2.2.2 Berücksichtigung von Löchern und Öffnungen 6.2.2.3 Mittragende Breite 6.2.2.4 Wirksame Querschnittswerte bei Querschnitten mit Klasse 3-Stegen und Klasse 1- oder Klasse 2-Gurten bei Momentenbeanspruchung 6.2.2.5 Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4 6.2.3 Nachweis der Querschnittstragfähigkeit für alle Klassen <ul style="list-style-type: none"> 6.2.3.1 Allgemeines 6.2.3.2 Zugbeanspruchung 6.2.3.3 Torsionsbeanspruchung 6.2.4 Nachweis der plastischen Querschnittstragfähigkeit für Querschnitte der Klassen 1 und 2 <ul style="list-style-type: none"> 6.2.4.1 Allgemeines 6.2.4.2 Beanspruchung aus Normalkraft 6.2.4.3 Biegebeanspruchung 6.2.4.4 Beanspruchung aus Querkraft 6.2.4.5 Beanspruchung aus einachsiger Biegung, Normalkraft und Querkraft 6.2.4.6 Beanspruchung aus zweiachsiger Biegung, Normal- und Querkraft 6.2.4.7 Torsionsbeanspruchung für Querschnittsklasse 1-2
---	--

Bild 2.10: Inhaltsverzeichnis von Abschnitt 6.2 - alt (links) und Neuvorschlag (rechts)

Die derzeit in Abschnitt 6.2 angegebenen Interaktionen für Querschnitte der Klasse 1 und 2 sind kritisch zu sehen, da teilweise das mechanische Modell kaum erkennbar ist und die Berechnungen auf der unsicheren Seite liegen können, wie u. a. in [Kindmann, 2012a] und [Kindmann, 2012b] aufgezeigt. Auch existiert kein ganzheitliches Verfahren, bei dem sämtliche Schnittgrößen inklusive Wölbkrafttorsion abgebildet werden. So wären zum Beispiel das in [Kindmann, 2002] vorgestellte Teilschnittgrößenverfahren (TSV), das Verfahren nach [Wagenknecht, 2009] oder die Interaktionsbeziehungen von Lindner/Heyde in [Lindner, 2009] mögliche Alternativen. Des Weiteren zeigen Vergleichsrechnungen sehr bedenkliche Ergebnisse bei der Interaktion zwischen Biegemoment, Querkraft und Torsion. Hier besteht direkter Handlungsbedarf.

Auch bei der Ermittlung der plastischen Querkraft liegen deutliche Unklarheiten im Eurocode 3 vor, die durch die in diesem Beitrag angegebenen Änderungsvorschläge kompensiert werden können.

Durch die Überarbeitung und durch das Einfügen einer separaten Tabelle am Anfang des Abschnitts mit Angaben, wann welche Querschnittswerte zu verwenden sind, siehe Tabelle 2.3, kann der Textumfang deutlich gekürzt werden, ohne bemessungsrelevante Punkte zu streichen. Dadurch wird die Übersichtlichkeit deutlich verbessert. Die neue Gliederung ist unter Berücksichtigung der vorgenannten Verbesserungsvorschläge nachfolgend dargestellt. Der neue Aufbau hat des Weiteren den Vorteil, dass alle erforderlichen Informationen zur Ermittlung von Brutto- und Nettoquerschnittswerten nicht mehr verstreut über das ganze Kapitel verteilt sind, sondern sich komprimiert in einem Abschnitt befinden. Diese Änderung trägt auch dem Umstand Rechnung, dass bei einer Berechnung immer zunächst die Querschnittswerte zu ermitteln sind.

Tabelle 2.3: Neue Angaben für die Querschnittswerte in Abhängigkeit der Querschnittsklasse

Klasse	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
$W_{i,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
$W_{i,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$

Umstrukturierung von Abschnitt 6.2 -

„Voranstellen vereinfachter Nachweismethoden für alle Querschnittsklassen“.

In den Forschungsberichten [Laumann, 2014b] und [Laumann, 2015a] wurden die Vorteile einer geänderten Schreibweise, die eine reale Ausnutzung angibt, für die Spannungsnachweise anhand von Beispielen verifiziert. Hier wird zusätzlich der Vorteil des Voranstellens der für alle vier Querschnittsklassen gültigen Nachweismethoden näher erläutert. In vielen Fällen ist es ausreichend, die Querschnittstragfähigkeit mit einem Spannungsnachweis oder linearen Querschnittsinteraktion zu überprüfen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn

- die Gebrauchstauglichkeit maßgebend wird,
- der Querschnitt in Querschnittsklasse 3 oder 4 einzustufen ist,
- keine genaueren Interaktionsbeziehungen vorliegen (z. B. U- und L-Querschnitte),
- die erhöhte plastische Querschnittsausnutzung nicht erwünscht ist oder
- der Rechenaufwand begrenzt werden soll.

Dies stellt die deutliche Mehrzahl der Anwendungsfälle dar. Des Weiteren kann hierdurch eine deutlichere Abgrenzung zwischen einer linearen und einer nichtlinearen Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit erzielt werden.

Vereinfachung der Spannungsnachweise

Das folgende Beispiel zeigt, dass eine geänderte und vereinfachte Schreibweise für die Spannungsnachweise sinnvoll ist. Durch die neue Schreibweise wird die Gleichung übersichtlicher und schneller anwendbar. Zudem wird im Gegensatz zum bisherigen Format eine Ausnutzung ausgewiesen.

Bisherige Nachweisgleichung (6.1) (ohne direkte Angabe der Ausnutzung):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1$$

Neuvorschlag (mit direkter Angabe der Ausnutzung) :

$$\sigma_{v,d} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2}$$
$$\frac{\sigma_{v,d}}{f_y/\gamma_{M0}} \leq 1,0$$

Zur Umstrukturierung von Abschnitt 6.2 anhand der Biegebeanspruchbarkeit

Exemplarisch werden anhand der Ermittlung der Biegebeanspruchbarkeit die neuen Vereinfachungen verdeutlicht. Nachfolgend werden die bisherige und die neu vorgeschlagene Schreibweise dargestellt. Da die vereinfachten Nachweismethoden wie die Spannungsnachweise und die lineare Interaktion für alle Querschnittsklassen in der neuen Fassung vorangestellt werden, ist nur noch die Berechnung von $M_{pl,Rd}$ erforderlich für die Querschnittsklassen 1 und 2.

Bisherige Definition der Biegebeanspruchbarkeit nach Abschnitt 6.2.5:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1 und 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4}$$

Neuvorschlag für Definition der Biegebeanspruchbarkeit:

(1)P Für den Bemessungswert der einwirkenden Biegemomente M_{Ed} ist an jedem Querschnitt folgender Nachweis zu erfüllen:

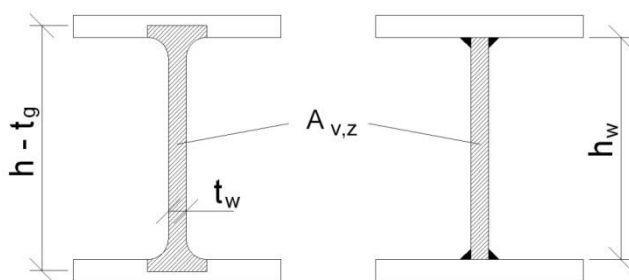
$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Einfluss der Schubspannungen bei gewalzten I-Querschnitten (EC3-1-1, Abschnitt 6.2.1)

Gemäß EC3-1-1 darf der Einfluss der Querkraft bis $V_{Ed} / V_{pl,d} \leq 0,5$ bei den Interaktionsnachweisen vernachlässigt werden. Beim Spannungsnachweis und der linearen Interaktion ist dies jedoch nicht eindeutig geregelt. Hier wäre es sinnvoll, für I-Querschnitte ebenfalls eine Grenze von $\tau_{Ed} / \tau_{R,d} \leq 0,5$ einzuführen, bis zu der die Schubspannungsanteile im Vergleichsspannungsnachweis vernachlässigt werden dürfen.

Zur Querkrafttragfähigkeit bei gewalzten I-Querschnitten (EC3-1-1, Abschnitt 6.2.6)

Hinsichtlich der Ermittlung der Grenzquerkräfte bei gewalzten I-Querschnitten zeigen sich einige offene Punkte in der Nachweisführung nach Abschnitt 6.2.6 der Norm. So ist die Steghöhe h_w nicht definiert, die für die Ermittlung der Schubfläche benötigt wird, siehe Bild 2.11. Auch erscheint der Ansatz der Schubfläche A_v inklusive der Walzausrundungsbereiche bis zur Mitte der Gurte mechanisch schwer nachvollziehbar. Insbesondere wenn man bedenkt, dass diese für Interaktion mit Biegemomenten und Normalkräften verwendet wird. Hier wird vorgeschlagen, als Steghöhe h_w den Abstand der Gurte zu verwenden, wie in der Vorgängernorm DIN 18800 definiert. Vergleicht man die Ergebnisse unterschiedlicher Ansätze von A_v , so ergeben sich deutliche Abweichungen hinsichtlich der Tragfähigkeit, siehe z. B. [Laumann, 2015a] und [Kindmann, 2012b].



Hier ist eine Angleichung mit EC3-1-5 erforderlich. Gemäß EC3-1-5 ist:

$$h_w = h - 2 t_f$$

Neuvorschlag für EC3-1-1:

$\eta = 1,0$ in allen Fällen

Bei Walzprofilen: $h_w = h - 2 t_f$

Bei Schweißprofilen: $h_w = h - t_f$

Wirksame Schubfläche:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$\eta = 1,0$ bzw. $1,2$ im Hochbau für Stahlsorten bis S460

h_w ist nicht definiert

Bild 2.11: Unklarheiten bei der Ermittlung der Schubfläche

Fehlende Definition für die Ermittlung der Grenzquerkräfte bei Walzprofilen V_y

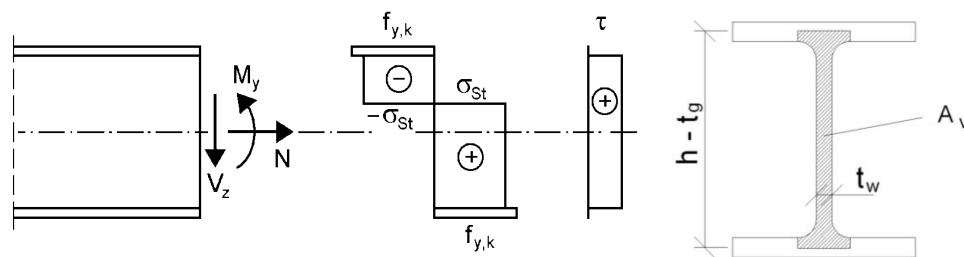
Für die Ermittlung der Grenzquerkräfte V_y fehlen Angaben zur wirksamen Schubfläche A_{Vy} für Walzprofile. Hier wird vorgeschlagen, $A_{Vy} = 2 b t_f$ anzusetzen.

Kriterium für Schubbeulen (EC3-1-1, Gleichung 6.22)

Die Größe der Steghöhe h_w hat nicht nur Einfluss auf die Ermittlung der Grenzquerkräfte, sondern auch auf das Schubbeulkriterium gemäß EC3-1-1, Gleichung (6.22). Hier fehlt wiederum eine Angabe zur Steghöhe h_w . Es wird an dieser Stelle jedoch auf EC3-1-5 Bezug genommen. Dort ist die Steghöhe mit $h_w = h - 2t_f$ zu berücksichtigen. Auch der Ansatz des Vergrößerungsfaktors η ist unklar. Um hier Verwirrungen zu vermeiden, wird als neuer Vorschlag eine einheitliche Definition von h_w vorgeschlagen. Entweder immer $h_w = h - 2t_f$ oder $h_w = h - t_f$. Der Hinweis bei Gleichung (6.22) "Als Näherung darf $\eta = 1,0$ auf der sicheren Seite angewendet werden." ist unsinnig und nicht korrekt. Der Beiwert sollte zur Vereinfachung auf $\eta=1,0$ gesetzt werden. Berechnungsbeispiele finden sich in [Laumann, 2015a].

Interaktion zwischen Biegung und Querkraft (EC3-1-1, Abschnitt 6.2.8)

Die vorgenannte Problematik hinsichtlich der Größe der Steghöhe h_w und der anzusetzenden Schubfläche zeigt sich auch in der M_y - V_z Interaktion und N - V_z Interaktion für I-Querschnitte, siehe Bild 2.12 So ist die M_y - V_z Interaktion mechanisch kritisch zu sehen, da hier die Ausrundungs- und anteiligen Gurtbereiche doppelt angesetzt werden. Insgesamt sind die derzeit in EC3-1-1 angegebenen Interaktionen kritisch zu sehen, da teilweise kein mechanisch sinnvolles Modell erkennbar ist, und die Berechnungen auf der unsicheren Seite liegen können, wie Kindmann/Ludewig in [Kindmann, 2012a] und [Kindmann, 2012b] aufzeigen. Auch existiert in Eurocode 3 zur Zeit kein ganzheitliches Modell, mit dem sämtliche Schnittgrößen inklusive Wölbkrafttorsion abgebildet werden können.



$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}} \text{ aber } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$$

mit $A_w = h_w t_w$

Teilflächen des Querschnitts in den Ausrundungsbereichen werden sowohl N und M_y als auch V_z zugeordnet.

Neuvorschlag:

genaue Interaktion, oder

Ermittlung von ρ mit $A_w = h_w t_w$, oder

$$M_{y,V,Rd} = (W_{pl,y}(1 - \rho) + \rho W_{pl,f}) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Bild 2.12: Zur M_y - V_z - N Interaktion [Laumann, 2014a]

Vergleichsrechnungen zwischen der Interaktion nach Norm und der Interaktion ohne Dopplung der Flächen z. B. nach [Laumann, 2015a] ergeben für übliche Walzprofile Abweichungen von 5 % bis 7 % auf der unsicheren Seite. Es sollte die genauere Interaktion verwendet werden oder für die Schubfläche $A_v = (h - t_f) t_w$ und nicht die derzeit angegebene größere Schubfläche. Alternativ kann vereinfacht auch die größere Schubfläche gemäß Bild 2.13 für die Reduzierung von W_{pl} eingesetzt werden.

Interaktion zwischen Biegung und Normalkraft (EC3-1-1, Abschnitt 6.2.9)

Auch bei der Interaktion aus Normalkraft und Biegemoment ist die Höhe des Steges h_w bei gewalzten I-Querschnitten in der Norm nicht eindeutig geregelt. Gleichzeitig zeigen aktuelle Veröffentlichungen z. B. in [Kindmann, 2012a], [Kindmann, 2012b], dass die Berechnungsergebnisse teilweise auf der unsicheren Seite liegen können, weshalb die Interaktionsbeziehungen überprüft bzw. überarbeitet werden sollten.

Interaktion zwischen Biegung, Querkraft und Torsion (EC3-1-1, Abschnitt 6.2.8)

Die in EC3-1-1 Abschnitt 6.2.7 und 6.2.8 geregelten Nachweismethoden zur Berücksichtigung von Torsionsanteilen sind ebenfalls kritisch zu sehen und sehr unübersichtlich. Der Ansatz bei gleichzeitiger Wirkung von Schubspannungen infolge Torsion und Querkraft ist bedenklich. Hier wird die Querkrafttragfähigkeit infolge der Torsionsanteile gemäß Gleichung (6.25) abgemindert, die kaum nachvollziehbar ist. Auch ergeben Vergleichsrechnungen erstaunliche Ergebnisse, da bei Trägern mit großer Torsions- und kleiner Querkraftbeanspruchung sich die Torsion auf die Biegemomententragfähigkeit kaum oder gar nicht auswirkt. Es sollte daher Abschnitt 6.2.7 komplett überarbeitet werden mit dem Ziel, eine mechanisch sinnvolle Interaktionsbeziehung zu entwickeln oder alternativ die Vergleichsspannungsformel verwendet werden.

Die Probleme bei der Abminderung der plastischen Querkraft infolge von Torsionsschnittgrößen zeigen auch die folgenden Hinweise. So ist es bei I- und H-Querschnitten zulässig, dass nur Anteile der St. Venant'schen Torsion berücksichtigt werden und die aus der Wölbkrafttorsion zu vernachlässigen. Dies ist schon bei Betrachtung des Absatzes 6.2.7(7) schwer nachvollziehbar. Weiterhin ist anhand der Spannungsverteilung ersichtlich, dass sich die beiden Torsionsanteile aus M_{xp} und M_{xs} teilweise ungünstig mit den übrigen Anteilen überlagern können, so dass deren Vernachlässigung insbesondere bei zweiachsiger Biegung nicht sinnvoll erscheint.

Weitere Hinweise und Anmerkungen können [Laumann, 2014b] und [Laumann, 2015a] entnommen werden.

2.2.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile (EC3-1-1, Abschnitt 6.3)

(Autor: Stefan Heyde)

Nachfolgend sind die wesentlichen Verbesserungsvorschläge im Bezug zum vorhandenen Normtext angegeben. Diese beziehen sich insgesamt auf eine bessere Verständlichkeit und Anwendbarkeit. An diversen Stellen ergeben sich durch Zusammenfassung von ähnlichen Inhalten Kürzungen am Textumfang, was hinsichtlich der Straffung des Dokuments ein positiver Nebeneffekt ist. Die Vorschläge sind ausführlich dargestellt in [Heyde, 2014]

Umstrukturierung der Stabilitätsnachweise

Generell wird, wie bereits zuvor in Abschnitt 2.1.3 angedeutet, für den Abschnitt 6.3 der Norm eine Änderung der Gliederung vorgeschlagen. Dazu wird der Inhalt des aktuellen Normtextes

so umgeordnet, dass Abgrenzungskriterien und vereinfachte Regelungen an den Anfang gestellt werden, gefolgt von komplexeren Nachweisen. Der prinzipielle Aufbau der Absätze für Biegeknicken und Biegedrillknicken wird analog vorgeschlagen.

Neuvorschlag der Gliederung (rechts):

6.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile	6.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile
6.3.1 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck	6.3.1 Biegeknicken
6.3.1.1 Biegeknicken	6.3.1.1 Abgrenzungskriterien und vereinfachter Nachweis
6.3.1.2 Knicklinien	6.3.1.2 Knicklinien für das Biegeknicken
6.3.1.3 Schlankheitsgrad für Biegeknicken	6.3.2 Biegedrillknicken
6.3.1.4 Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken	6.3.2.1 Abgrenzungskriterien und vereinfachte Nachweise
6.3.2 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	6.3.2.2 Knicklinien für das Biegedrillknicken
6.3.2.1 Biegedrillknicken	6.3.3 Interaktionsverfahren für Beanspruchungen aus Druck und Biegung
6.3.2.2 Knicklinien für das Biegedrillknicken — Allgemeiner Fall	6.3.4 Allgemeines Verfahren
6.3.2.3 Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte	6.3.5 Bauteile mit Fließgelenken
6.3.2.4 Vereinfachtes Bemessungsverfahren für Träger mit Biegedrillknick-behinderungen im Hochbau	
6.3.3 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	
6.3.4 Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile	
6.3.5 Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken	
6.3.5.1 Allgemeines	
6.3.5.2 Stützungen an Fließgelenken mit Rotationsanforderungen	
6.3.5.3 Stabilitätsnachweis für Tragwerksabschnitte zwischen seitlichen Stützungen	

Bild 2.13: Inhaltsverzeichnis von Abschnitt 6.3 alt (links) und Neuvorschlag (rechts)

Am Anfang von Abschnitt 6.3.1.1 wird zusätzlich ein allgemeines Auswahl- bzw. Abgrenzungskriterium angeordnet, um auf die generellen Möglichkeiten zur Führung des Stabilitätsnachweises gegen Biegeknicken hinzuweisen: Entweder wird eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz geeigneter Imperfektionen vorgenommen oder es wird auf eines der vereinfachten Verfahren (Knicknachweis oder Interaktionsnachweis) zurückgegriffen.

Neuvorschlag:

(1) Der Biegeknicknachweis kann durch eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen, siehe Abschnitt 5.3, durchgeführt werden. Bedingungen für die Notwendigkeit des Nachweises gegen Biegeknicken sind in Abschnitt 5.2 gegeben. Dürfen die Tragwerksverformungen bei der Schnittgrößenermittlung vernachlässigt werden, ist kein Biegeknicknachweis erforderlich.

Bauteile mit Querschnitt der Querschnittsklasse 4

Die Behandlung von Nachweisen für Bauteile mit Querschnitten der Querschnittsklasse 4 führt im aktuellen Normentext oft dazu, dass eine eigenständige Gleichung eingefügt wird. Hierzu wird vorgeschlagen, dies generell zu umgehen, indem die jeweilige Gleichung nur für Querschnitte der Klasse 1 bis Klasse 3 notiert wird und ein textlicher Hinweis auf die Besonderheit bei der Behandlung von Querschnittsklasse 4 hinzugefügt wird. Dies führt zu einer kompakteren Darstellung, wobei Bauteile mit Querschnittsklasse 4 ohnehin nicht den Regelfall darstellen. Am Beispiel von Gleichung (6.49) wird dies beispielhaft erklärt, betrifft aber ebenso auch die Gleichungen (6.50) und (6.53).

Neuvorschlag:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \begin{array}{l} \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3 ist} \\ \text{der Bruttoquerschnittswert zu verwenden;} \\ \text{für Querschnitte der Klasse 4 ist } A_{\text{eff}} \text{ zu verwenden} \end{array} \quad (6.49)$$

Ebenso wie im gesamten Kapitel 6 wird für die zu verwenden Querschnittswerte auch in Abschnitt 6.3 konsequent auf die neu aufzunehmende Tabelle 6.1 (hier Tabelle 2.3) verwiesen.

Neuvorschlag (z. B. Erläuterungen zu Gleichung (6.55):

wobei W_y das maßgebende Widerstandsmoment nach Tab. 6.1 ist.

Dies führt zu einer größeren Klarheit in den entsprechenden Gleichungen und vereinfacht deren Darstellung und Anwendung. Zudem ist in Anmerkung 1 zu obiger Gleichung ein Hinweis auf die Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion aufzunehmen, da dieses Thema insgesamt im aktuellen Normentext nur am Rande behandelt wird. Die Einschränkung auf Bauteile mit veränderlichem Querschnitt ist unnötig und nicht mechanisch begründbar.

Neuvorschlag:

ANMERKUNG 1 Für die Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit von Trägern mit konstantem oder veränderlichem Querschnitt darf ebenso eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion nach 5.3.4 durchgeführt werden. Bei Knicken aus der Ebene siehe 6.3.4.

Die Abgrenzungskriterien und vereinfachten Nachweise für biegedrillknickgefährdete Bauteile sollten umsortiert werden.

Neuvorschlag:

6.3.3.1 Abgrenzungskriterien und vereinfachte Nachweise

(1) Bauteile mit offenen Profilen, bei denen der Druckgurt ausreichend gegen seitliches Ausweichen gehalten ist, oder Bauteile mit Hohlquerschnitten sind in der Regel nicht biegedrillknickgefährdet.

(2) Sofern folgende Bedingungen erfüllt sind, darf der Biegedrillknicknachweis entfallen, und es sind ausschließlich Querschnittsnachweise zu führen:

- Träger mit ausreichender seitlicher Halterung am Druckgurt gemäß Anhang BB.2.1
- Träger mit ausreichender kontinuierlicher Drehbettung gemäß Anhang BB.2.2
- Träger mit planmäßiger Biegebeanspruchung um die schwache Hauptachse
- Träger mit Schlankheitsgraden $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$ (siehe 6.3.3.2) oder für $M_{Ed}/M_{cr} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$
mit $\bar{\lambda}_{LT,0} \leq 0,2$ im allgemeinen Fall
mit $\bar{\lambda}_{LT,0} \leq 0,4$ für gewalzte und gleichartige geschweißte Träger

(3) Bauteile im Hochbau mit an einzelnen Punkten seitlich gestützten Druckflanschen dürfen als nicht biegedrillknickgefährdet angesehen werden, wenn die Länge L_c zwischen den seitlich gehaltenen Punkten folgende Anforderung erfüllt:

$$L_c \leq \bar{\lambda}_{c0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \cdot \frac{i_{f,z}}{k_c} \cdot \lambda_1$$

Dabei ist: ...

(4)B Wenn die Länge zwischen den seitlich gehaltenen Punkten des druckbeanspruchten Flansches L_{cr} den in (3) festgelegten Grenzwert überschreitet, darf der Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit wie folgt ermittelt werden:

$$M_{b,Rd} = k_{f\ell} \chi M_{c,Rd} \text{ jedoch } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

Dabei ist: ...

Erst im Anschluss an diese Abgrenzungen bzw. vereinfachten Regelungen sollte mit der bisherigen Gleichung (6.54) und den entsprechenden Erläuterungen fortgesetzt werden. Dies entspricht formal der aus DIN 18800-2 bekannten Struktur und vermeidet, dass mit dem Stahlbau weniger vertraute Ingenieure mit den bisher zuerst aufgeführten Gleichungen einen unnötig komplexen Weg bei der Nachweisführung beschreiten. Im Zuge der textlichen Überarbeitung wird zur Klarstellung der Problematik vorgeschlagen, den bisher unter Absatz 6.3.2.1(1) enthaltenen Text wie folgt zu modifizieren (jetzt Absatz (6)):

Neuvorschlag:

(6) Für einen verdrehweichen, seitlich nicht ausreichend am Druckgurt gehaltenen Träger, der auf Biegung um die starke Hauptachse beansprucht wird, ist in der Regel folgender Nachweis gegen Biegedrillknicken zu führen:

Damit wird erneut darauf hingewiesen, dass nur verdrehweiche Bauteile biegedrillknickgefährdet sind und auch nur diese dafür nachgewiesen werden müssen.

Die Zusammenfassung des allgemeinen und des speziellen Falls bei der Ermittlung des Abminderungsfaktors χ_{LT} in Abschnitt 6.3.2.2 kann vorteilhaft in kompakter Form erfolgen. Dabei werden die Tabellen 6.3, 6.4 und 6.5 zu einer neuen Tabelle 6.3 zusammengefasst und der Beiwert β in die Grundformel Gleichung (6.56) integriert.

Neuvorschlag:

Tabelle 6.3: Zuordnung der Querschnitte zu den Knicklinien und zugehörige Imperfektionsbeiwerte für den Nachweis gegen Biegedrillknicken

Querschnitt	Grenzen	a) gewalzte o. gleichartige geschweißte I-Querschnitte		b) allgemeiner Fall	
		Linie	α_{LT}	Linie	α_{LT}
gewalzte I-Profile	$h/b \leq 2$	b	0,34	a	0,21
	$h/b > 2$	c	0,49	b	0,34
geschweißte I-Profile	$h/b \leq 2$	c	0,49	c	0,49
	$h/b > 2$	d	0,76	d	0,76
andere Querschnitte	-	-	-	d	0,76

Tabelle 6.4: Querschnittstypen und zugehörige Beiwerte zur Ermittlung von χ_{LT}

Querschnittstypen	$\bar{\lambda}_{LT,0}$	β
gewalzte und gleichartige geschweißte I-Querschnitte	0,4	0,75
andere Querschnitte (sog. allgemeiner Fall)	0,2	1,0

Bei der im NA für Deutschland empfohlenen einheitlichen Verwendung des Beiwertes f wäre Satz (2) anzupassen.

Neuvorschlag:

(2) Um die Momentenverteilung zwischen den seitlichen Lagerungen von Bauteilen zu berücksichtigen, darf der Abminderungsfaktor χ_{LT} für gewalzte und gleichartige geschweißte I- oder H-Querschnitte wie folgt modifiziert werden: ...

Die generelle Notwendigkeit der Beibehaltung der beiden Unterscheidungen ist in diesem Fall aber grundsätzlich zu diskutieren.

Zu Abschnitt 6.3.3 wird vorgeschlagen, in Absatz (1) einen Hinweis zu den beiden Stabilitätsfällen aufzunehmen. Dies hat, wie bereits erwähnt, einen vorwiegend didaktischen Hintergrund und soll für mehr Klarheit bei der Anwendung sorgen. Eine inhaltliche Klarstellung ist zudem bei den Erläuterungen notwendig, da es sich in jedem Fall um Bauteile, also Stäbe, und nicht um Querschnitte handelt.

Neuvorschlag:

(1) Wenn keine Untersuchung nach Theorie II. Ordnung durchgeführt wird, bei der die Imperfektionen aus 5.3.2 angesetzt werden, sollte die Stabilität (Biegeknicken und Biegedrillknicken) von gleichförmigen Bauteilen mit doppelsymmetrischen Querschnitten nach (3) bis (5) nachgewiesen werden. Dabei wird folgende Differenzierung vorgenommen:

- *verdrehsteife Bauteile, wie z. B. Stäbe mit Hohlquerschnitten oder gegen Verdrehung ausgesteifte Querschnitten*
- *verdrehweiche Bauteile, wie z. B. Stäbe mit offenen Querschnitten, deren Verdrehung nicht behindert wird*

Zur Vereinfachung der Darstellung von Gleichungen (6.61) und (6.62) sollte wiederum die nur für Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4 geltenden Terme gestrichen und diese in eine separate, ergänzende Darstellung ausgegliedert werden. Für die Querschnittswiderstände kann vorteilhaft auf die generelle Zusammenstellung dieser in der einzufügenden Tab. 6.1 verwiesen werden. Die zugehörige Anmerkung ist in dieser Form wenig hilfreich, was auf eine mangelhafte Übersetzung aus dem englischen Grunddokument zurückgeführt werden kann, und sollte klargestellt werden.

Neuvorschlag:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (6.61)$$

Dabei sind

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ die Bemessungswerte der einwirkenden Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die y-y Achse und z-z Achse; bei Querschnitten der Querschnittsklasse 4 sind zusätzlich die Momente $\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ aus der Verschiebung der Querschnittsachsen nach 6.2.9.3 zu berücksichtigen, siehe Tabelle 6.6

N_{Rk} und $M_{i,Rk}$ siehe Tabelle 6.1

Tabelle 6.6: Zusatzmomente für Gleichung 6.61 und 6.62

Querschnittsklasse	1 - 3	4
ΔM_y	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
ΔM_z	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

ANMERKUNG Bei Bauteilen mit verdrehsteifen Querschnitten darf $\chi_{LT} = 1,0$ gesetzt werden.

Als Standardmethode für die Berechnung der Interaktionsbeiwerte wird empfohlen, das Verfahren nach Anhang B in das Grunddokument aufzunehmen und die Anhänge A und B zu streichen. Die Bestimmung der Beiwerte nach Anhang A kann aufgrund der Komplexität als unpraktikabel für die praktische Anwendung bezeichnet werden. Diese Methode kann daher vorteilhaft in eine Technische Spezifikation (TS) oder Fachliteratur ausgelagert werden. Dadurch wird die Grundnorm entlastet und zugleich wird eine Doppelregelung abgeschafft. Durch die bereits angesprochene derzeitige Weiterentwicklung der Methode nach Anhang B soll der Anwendungsbereich künftig auch auf Bauteile mit einfachsymmetrischen Querschnitten erweitert werden, so dass dann damit ein für sehr viele baupraktische Fälle geeignetes Interaktionsverfahren als Standardmethode in der Grundnorm enthalten sein wird, siehe [Taras, 2014].

Hinsichtlich der Möglichkeit, bei modifizierten Interaktionsverfahren auch Fälle mit planmäßiger Torsion aufzunehmen, sollte in einer Anmerkung ein Hinweis auf EC3-6 ergänzt werden oder der entsprechende Abschnitt komplett in EC3-1-1, Abschnitt 6.3.3 verschoben werden.

Neuvorschlag:

ANMERKUNG 3 Bei planmäßiger Torsionsbeanspruchung siehe EN 1993-6, Anhang A.

Die einleitenden Erläuterungen zum Allgemeinen Verfahren in Abschnitt 6.3.4 enthalten eine mechanisch nicht sinnvolle Einschränkung und sollten daher klargestellt werden. Es ist nicht begründbar, warum die allgemeine Methode nur angewendet werden darf, wenn ein Nachweis nach den vorherigen Methoden nicht geführt werden kann.

Neuvorschlag:

(1) Das folgende Verfahren kann alternativ zu den Verfahren in 6.3.1, 6.3.2 und 6.3.3 angewendet werden. Es ermöglicht den Biegeknick- und Biegedrillknicknachweis auch für:

- *komplexere ebene Tragwerke oder Teiltragwerke, die aus solchen Bauteilen bestehen; die auf Druck und/oder einachsige Biegung in der Hauptebene beansprucht sind.*

Bei plastischer Tragwerksberechnung mit planmäßigen Fließgelenken zwischen den Stützungen ist 6.3.5 zu beachten.

Das abweichende Format der Gleichung (6.63) sollte auf das übliche Format umgestellt werden, wie bereits in Abschnitt 2.1.3 erläutert. Die zugehörige Anmerkung sollte infolge der mangelhaften Übersetzung aus dem englischen Grunddokument sprachlich und inhaltlich richtig gestellt werden.

Neuvorschlag:

$$\frac{1}{\chi_{cr,op} \alpha_{ult,k}} \leq 1,0 \quad (6.63)$$

γ_{M1}

ANMERKUNG Die Werte $\alpha_{cr,op}$ und $\alpha_{ult,k}$ können mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode ermittelt werden.

Nach NA für Deutschland bestehen mangels hinreichender Untersuchungen Bedenken gegen eine Interpolation des Abminderungsfaktors χ_{op} gemäß (4) b. Daher wird empfohlen, diesen Satz zu streichen und Gleichung (6.65) ebenfalls auf das allgemein übliche Format umzustellen.

Neuvorschlag:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{op} N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{op} M_{y,Rk}} \leq 1 \quad (6.65)$$

Einige Hinweise zu Abschnitt 6.3.5 wurden bereits in Abschnitt 2.1.3 gegeben. Ausgehend von den sehr speziellen Regelungen im Zusammenhang mit Anhang BB.3 und der derzeitigen Diskussion dazu im DIN-Gremium NA 005-08-16 AA (SpA zu CEN/TC 250/SC 3) wird empfohlen, die als „stable length method“ vor allem in Großbritannien verwendete Methode in eine Technische Spezifikation (TS) oder Fachliteratur auszulagern und die entsprechenden Absätze sowie den Anhang BB.3 im Grunddokument zu streichen. Damit wird zum einen das Problem der Widersprüchlichkeit mit anderen Regeln innerhalb von EC3-1-1 gelöst und zum anderen eine Reduktion des Umfangs des Grunddokumentes erreicht. Die vorangestellten konstruktiven Regelungen sollten dabei soweit notwendig und nicht ohnehin üblich erhalten bleiben. Da die Diskussion dazu auf europäischer Ebene derzeit im Gange ist, werden keine weiteren konkreten Vorschläge gemacht.

Für die Überarbeitung der Stabilitätsnachweise von stabförmigen Bauteilen wurde eine Vielzahl der hier beschriebenen Änderungsvorschläge in den Normenausschuss 005-08-16 AA (SpA zu CEN/TC 250/SC 3) und in großen Teilen bereits als deutscher Vorschlag in die europäische Diskussion eingebracht, siehe [Heyde, 2014].

3 Bemessung und Konstruktion von Anschlüssen – DIN EN 1993-1-8

3.1 Bestandsanalyse

(Autoren: André Bubner, Marian Kempkes, Thomas Ummenhofer)

Vorgängernormen

Der Teil 1-8 des Eurocode 3 (EC3-1-8) regelt die Bemessung von Anschlüssen und Verbindungen unter vorwiegend ruhenden Beanspruchungen und ist der umfangreichste aller zwölf Teile des EC3-1. Im Gegensatz zur früheren nationalen Norm, der DIN 18800-1 (Ausgaben: 1981-03, 1990-11 und 2008-11), liegt mit Teil 1-8 ein separater Normteil für Anschlüsse und Verbindungen im Stahlbau vor. Die Bemessungsregeln des EC3-1-8 decken mehr Anwendungsbereiche ab als die frühere DIN 18800-1, da neben den bekannten Nachweisen für Schrauben-, Bolzen-, Niet- und Schweißverbindungen, umfangreiche Angaben zur Tragwerksberechnung in Ergänzung zum Teil 1-1 sowie zu momententragfähigen Anschlüssen mit H- oder I-Profilen und zu geschweißten Anschlüssen mit Hohlprofilen gemacht werden.

Der europäische Normentwurf für den EC3-1-8 enthielt gegenüber der aktuellen Fassung wesentlich mehr erläuternde Bilder. Diese wurden mit dem Ziel der Normkürzung jedoch gestrichen.

Weiterführende Hinweise zur Bemessung von Anschlüssen und zum EC3-1-8 bietet folgende Literatur: [Tschemmernegg et al, 1997], [Weynand et al, 1997], [Ungermann et al, 2005], [Kuhlmann et al, 2008], [Schmidt, 2008] und [Ungermann et al, 2009].

Defizite der Norm

Im Rahmen der Bestandsanalyse zeigte sich eine Reihe von Punkten, die bei der Überarbeitung der Norm ergänzt, erweitert bzw. verbessert werden sollten. Dazu gehören die allgemeinen Regelungen zur Kraffteinleitung. Da sie derzeit in den verschiedenen Teilen des EC3-1-8 verteilt und voneinander abweichend sind, bedürfen sie zudem einer Vereinheitlichung. Allgemeine Regelungen zur Schnittgrößenermittlung bei Fachwerken fehlen bzw. sind unvollständig. Ein Teil der NDP in den nationalen Anhängen zum EC3-1-8 könnten konsolidiert werden mit dem Ziel einer maximal möglichen Reduktion der verbleibenden national anzuwendenden Regelungen, wie beispielsweise der Regelungen zum Kontaktstoß, siehe Kapitel 9 im vorliegenden Bericht.

Wie beim EC3-1-1 zeigte sich auch bei der detaillierten Durcharbeitung des EC3-1-8 häufig, dass unklare, missverständliche und falsch zu verstehende Anweisungen und Hinweise aus Übersetzungsfehlern aus dem englischsprachigen Grunddokument stammen.

Hohlprofilanschlüsse

Als entscheidende Neuerung des EC3-1-8 gegenüber den bis dato geltenden normativen Regelungen für die Bemessung von Anschlüssen im Stahlbau wird vom Anwender in erster Linie die die Thematik der Stirnplattenverbindungen nach der so genannten Komponentenmethode (Kapitel 6) sowie die ausführliche Behandlung der geschweißten Hohlprofilanschlüsse (Kapitel 7) wahrgenommen. Die Regelungen zu den Hohlprofilanschlüssen waren bislang in Deutschland der entsprechenden Fachliteratur zu entnehmen. Inhaltlich hat sich gegenüber der vorhandenen Fachliteratur im Kapitel 7 der Norm relativ wenig verändert.

Komponentenmethode

Das mit 49 Seiten bei weitem umfangreichste Kapitel 6 des EC3 1-8 trägt den Titel „Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten“. Diese Überschrift ist etwas missverständlich. Handelt es sich hier doch um die Einführung einer neuen Vorgehensweise zur Ermittlung der Momenten- und Rotationscharakteristik von auch komplexen Anschlüssen durch die Zerlegung dieser in einzelne Komponenten. Deren Steifigkeiten und Beanspruchungen bzw. Anteile am Tragverhalten werden auf Basis einfacher Ansätze ermittelt. Allgemein wird diese Herangehensweise als Komponentenmethode bezeichnet. Die in der Vergangenheit angewendete Methode zur Ermittlung von Kontaktkräften und Beanspruchungen bei geschraubten Kopfplattenanschlüssen kann streng genommen auch als Anwendung der Komponentenmethode gesehen werden.

Die in der vorliegenden Version des Eurocode 3 enthaltenen Komponentenmethode wurde ursprünglich an der TU Delft entwickelt und später an der Universität Lüttich sowie an mehreren osteuropäischen Forschungsinstituten weiterentwickelt.

Derzeit beschränkt sich der Anwenderkreis der Ingenieure, die die Komponentenmethode nicht nur zur Bestimmung der Kontaktphänomene in Stirnplattenanschlüssen verwenden, im bundesdeutschen Umfeld auf ein geringes Maß. Dies ist sicher auch auf die althergebrachte deutsche Konstruktionspraxis der biegesteifen Auslegung von Rahmenecken zurückzuführen. Ein Umdenken scheint hier jedoch einzusetzen.

Kapitel 6 beschränkt sich in der aktuellen Ausgabe, wie oben dargestellt, auf Anschlüsse mit H- und I-Profilquerschnitten. Dies stellt eine wesentliche Eingrenzung des Anwendungsfeldes dar und wird dem unverhältnismäßig großen Anteil des Kapitels am Gesamtvolumen vom EC3-1-8 nicht gerecht.

Seit dem Erscheinen der vorliegenden Fassung des EC3-1-8 wurde die Komponentenmethode weiter entwickelt. Insbesondere die Beschränkung auf H- und I-Querschnitte wurde dabei aufgegeben. Zudem wurden erweiterte Ansätze zur Berücksichtigung von vier Schrauben je Reihe bei Kopfplattenverbindungen erarbeitet. Derzeit werden durch CIDECT (*Internationales Komitee zur Erforschung und Entwicklung von Hohlprofilkonstruktionen*) Arbeiten zur Überführung der Bemessungsregeln für Hohlprofilanschlüsse nach EC3 1-8, Kapitel 7, in die Komponentenmethode finanziert. Für Rechteckquerschnitte sind die Arbeiten bereits abgeschlossen, für Rundhohlprofile erfolgen derzeit noch weitere Auswertungen. Daher ist mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass in der zukünftigen Generation des EC3-1-8 die Kapitelüberschrift im Sinne einer breiteren Anwendbarkeit verallgemeinert werden wird.

Für Stirnplattenverbindungen wurden bereits vor Einführung des Eurocodes 3 Berechnungsmodelle in der Fachliteratur veröffentlicht. Der Berechnungs-Ansatz im Eurocode ist jedoch ein grundlegend anderer und liefert auch völlig neue Möglichkeiten der Berechnung, nämlich insbesondere die der Ermittlung der Anschlusssteifigkeiten. Zudem können die verwendeten Berechnungs- und Nachweismethoden auch auf ähnliche Situationen übertragen werden, so dass neben reinen Stirnplattenverbindungen auch andere Anschlüsse nachgewiesen werden können. Dies führte zwangsläufig zu einer starken quantitativen Zunahme des Normenumfanges. Aus Sicht der Autoren ist dies allerdings nicht der zentrale Punkt der Kritik. Vielmehr wird bemängelt, dass es in der vorliegenden Fassung des EC3-1-8 nicht gelungen ist, die grundlegenden Regelungen von den speziellen nur für die Durchführung von weitergehenden Berechnungen erforderlichen Regelungen zu trennen.

Die Autoren empfehlen daher, in der zukünftigen Fassung des EC3-1-8 die Themengebiete „Komponentenmethode“ und „Hohlprofile“ in jeweils eigene Anhänge zu verschieben und dabei jedoch die allgemeingültigen Regelungen im verbleibenden Grundteil der Norm zu belassen. In

den folgenden Ausführungen wird vom Anhang **K** für die Berechnungen nach der *Komponentenmethode* (einschließlich der Klassifizierungsmethoden) und vom Anhang **H** für die Anschlüsse von *Hohlprofilen* die Rede sein.

Sämtliche Lösungsvorschläge zur Verbesserung der Praxistauglichkeit des EC3-1-8 wurden detailliert dargestellt in [Bubner et al, 2014a], [Bubner et al, 2014b] und [Bubner et al, 2014c]. Die wesentlichen Verbesserungsvorschläge werden im nachfolgenden Abschnitt 3.2 erläutert.

3.2 Lösungsvorschläge

(Autoren: André Bubner, Marian Kempkes)

3.2.1 Grundlagen der Tragwerksplanung (EC3-1-8, Kapitel 2)

Annahmen, allgemeine Anforderungen und Schnittgrößen (EC3-1-8, Abs. 2.1 bis 2.3)

Das Kapitel „Grundlagen zur Tragwerksplanung“ bildet die Schnittstelle zwischen der Tragwerksberechnung, bestehend aus Schnittgrößenermittlung und Querschnittsbemessung, und der Bemessung und Ausführung von Bauteilanschlüssen. Es sollte dabei eine möglichst verständliche und inhaltlich abgegrenzte Zuordnung der Regelungen zu den entsprechenden anderen Normenteilen hergestellt werden. Die aktuelle Normenfassung hat hier einige Schwachstellen.

In EC3-1-1 heißt es im Absatz 5.1.2(1):

„Die Einflüsse der Last-Verformungen der Anschlüsse auf die Schnittgrößenverteilung und auf die Gesamtverformung des Tragwerks dürfen im Allgemeinen vernachlässigt werden. Sie sind jedoch in der Regel zu berücksichtigen, wenn sie, wie z. B. bei verformbaren Anschlüssen, maßgebend werden können, siehe EN 1993-1-8.“

Bislang ist dieser Passus so formuliert, dass die Berücksichtigung der Anschlusssteifigkeit bei der Schnittgrößenermittlung obligatorisch ist, sofern ein *verformbarer* Anschluss verwendet wird. Die Frage ob ein Anschluss als *verformbar* anzusehen ist oder nicht, kann wiederum für einige Anschlusssituationen mit den Berechnungsregeln des Kapitels 5 des EC3-1-8 beantwortet werden.

Diese Kausalkette führt nun zu dem Eindruck, dass in jedem Falle eine Anschlussqualifizierung hinsichtlich der Steifigkeit erforderlich zu sein scheint, damit die Schnittgrößenberechnung normgerecht erfolgen kann. Denn es muss sichergestellt werden, dass kein *verformbarer* Anschluss vorliegt. Andernfalls muss die entsprechende Anschlusssteifigkeit berücksichtigt werden.

Tatsächlich wird dies in der Praxis so nicht umgesetzt und ist auch im Sinne der Normung nicht vornehmlich gewollt. Vielmehr zielt das beschriebene Verfahren auf die Möglichkeit bzw. die Notwendigkeit, unausgesteifte und daher relativ weiche Rahmenecken mit dünnen Stirnplatten oder auch unverstärkten dünnen Flanschen nachweisen zu können, bei denen die verminderte Rahmensteifigkeit zu signifikanten Änderungen der Eckschnittgrößen infolge der größeren seitlichen Auslenkung führt.

Es geht also allein um die Fragen, welche, für die Querschnittsbemessung relevante Auswirkung hat die Anschlusssteifigkeit auf die Schnittgrößenverteilung, und ist dieser Einfluss für das Tragwerk bemessungsrelevant.

Die Formulierungen „*verformbar*“ bzw. „*nachgiebig*“ sind bei dieser Thematik zudem eine zu ungenaue Übersetzung der englischen Begriffe „*semi-continuous*“ und „*semi-rigid*“. Der Begriff „*verminderte Biegesteifigkeit*“ anstelle von „*nachgiebig*“ wäre aus Sicht der Autoren treffender.

„Verformbar“ wird im Zusammenhang mit der Modellbildung benutzt. Hier wäre die nahe am englischen Original orientierte Formulierung „nicht kontinuierlich“ richtig. Schließlich geht es in der Regel um die Frage, ob im Stabwerksmodell die Querschnittssteifigkeiten als kontinuierlich anzunehmen sind oder ob Bereiche mit anderen als den Profilquerschnittswerten zu definieren sind. Zum Beispiel die Rahmenecke mit der „verminderten Biegesteifigkeit“ wie oben beschrieben.

Daraus ergibt sich für den zitierten Abschnitt 5.1.2 in EC3-1-1 eine klarere Formulierung.

Neuvorschlag:

(1) Die Einflüsse den Last-Verformungen der Anschlüsse auf die Schnittgrößenverteilung und auf die Gesamtverformung des Tragwerks dürfen im Allgemeinen vernachlässigt werden, es sei denn die Berücksichtigung führt zu bemessungsrelevanten Schnittgrößen oder Verformungen.

(2) Zur Definition von Anschlüssen bei der Berechnung der Schnittgrößen und Verformungen, darf zwischen folgenden drei Anschlussmodellen unterschieden werden:

- *gelenkige Anschlüsse, wenn angenommen werden darf, dass der Anschluss keine Biegemomente überträgt;*
- *biegesteife Anschlüsse, wenn die Steifigkeit des Anschlusses die Annahme biegesteif verbundener Bauteile in der Berechnung erlaubt;*
- *Anschlüsse mit verringerter Biegesteifigkeit, zur Berücksichtigung des Verformungsverhaltens der Anschlüsse.*

Es wird vorgeschlagen, dass der EC3-1-8 dazu eine Ergänzung im Abschnitt 2.1 erhält.

Neuvorschlag:

(2) Die Eigenschaften der Anschlüsse hinsichtlich ihrer Momenten-Rotations-Charakteristika müssen den Annahmen des zur Schnittgrößenermittlung verwendeten Modells entsprechen.

Annahmen für die Berechnung (EC3-1-8, Abschnitt 2.5)

Die in Abschnitt 5.1.5 von EC3-1-8 geregelten Festlegungen zur Berechnung von Fachwerkträgern gehören thematisch eigentlich in den Abschnitt 5 des Teils 1-1. Da sie in ihrer jetzigen Form nur für Hohlprofile gelten, wären diese jedoch dem neuen Anhang H zuzuordnen. Da Aussagen zu erlaubten Annahmen zur Schnittgrößenberechnung an Fachwerksystemen allgemeiner Art bei den Annahmen zur Berechnung in Teil 1-8 bislang fehlen, sollten sie im Kapitel 2 aufgenommen und in Anlehnung an die Schreibweise der DIN 18801 (09/83) formuliert werden.

Neuvorschlag:

2.5 Annahmen für die Berechnung

(2) Für die Verteilung der Normalkräfte in einem Fachwerkträger darf vereinfachend von gelenkigen Anschlüssen der Stäbe ausgegangen werden.

Bei gedrungener Bauweise, sehr steifen Gurten oder punktueller Querbelastungen zwischen den Knoten sind die Momente in den Gurten unter der Annahme zu ermitteln dass:

- *die Streben gelenkig an den Gurtstab angeschlossen sind, so dass keine Übertragung von Momenten aus den Gurtstäben auf die Streben oder umgekehrt stattfindet;*
- *die Gurtstäbe als Durchlaufträger mit gelenkigen Auflagern an den Knotenpunkten wirken.*

Krafteinleitung

Bislang sind Regelungen, welche das Themengebiet der Krafteinleitung behandeln, an verschiedenen Stellen der Norm zu finden. Dabei reicht die Spanne anzunehmender Ausbreitwinkel vom Verhältnis 1:1 bis hin zu 1:3,5. Für den Anwender ist dabei nicht immer klar zu erkennen, inwiefern es zulässig ist, eine einzelne Regelung auf den gerade vorliegenden Fall anzuwenden oder nicht.

Betrachtet man die, den zur Ermittlung der wirksamen Längen zugrundeliegenden Fließgelenklinien, so sind diese teilweise nur schwer mit den gängigen Vorstellungen von Lastausbreitungswinkeln in Übereinstimmung zu bringen.

Da vergleichbare Nachweise zur direkten Krafteinleitung, wie sie in der DIN 18800-1 vorhanden waren, nicht enthalten sind, kann man diesen Nachweis durch Ableitung der Gleichung für die mittragende Breite nach Absatz 6.2.6.2(1) durchführen. Doch wäre es nicht richtig, die Berechnungsformeln zur Ermittlung der wirksamen Längen zu verwenden, um beispielsweise die Tragfähigkeitsnachweise an einem Trägerflansch unter punktuellen Einzellasten durchzuführen. Schließlich wurden die Gleichungen für die Berechnung der wirksamen Längen stets mit Versuchen an geschraubten Stirnplatten abgeglichen und kalibriert. Es wird daher vorgeschlagen, allgemeine Angaben zu Krafteinleitungswinkeln einzuführen.

Neuvorschlag:

2.8. Krafteinleitungen

2.8.1 Kraftausbreitung unter lokaler Biegebeanspruchung

(1) Für die Berechnung der lokalen Biegetragfähigkeit bei punktuellen Beanspruchungen kann die mittragende Breite unter der Annahme eines linearen Kraftausbreitungswinkels von 1:1 erfolgen.

(2) Sind örtlich plastische Querschnittsbeanspruchungen zugelassen, kann der Kraftausbreitungswinkel mit dem Verhältnis 1:2 angesetzt werden.

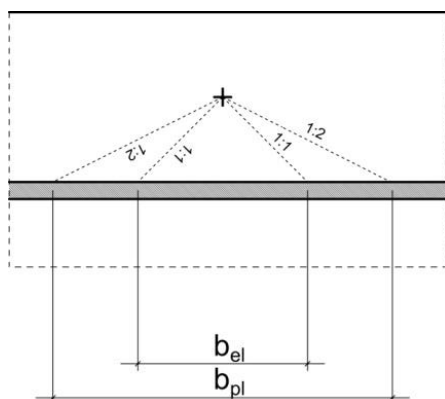


Bild 3.1:
Kraftausbreitung unter lokaler Biegebeanspruchung

2.8.2 Kraftausbreitung bei Druck und Zugbeanspruchungen

(1) Für den lokalen Nachweis der Einleitung von Kräften in Bauteile ohne Verwendung von Steifen kann die mitwirkende Breite wie folgt ermittelt werden:

$$b_{\text{eff}} = c + 2 \cdot s + 5 \cdot t < b$$

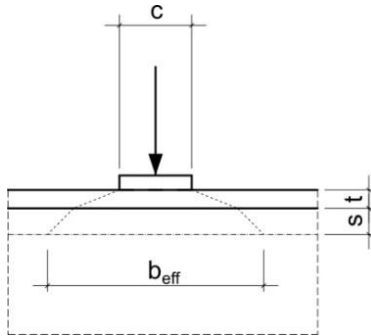


Bild 3.2:
Kraftausbreitung bei Druck- und Zugbeanspruchungen

(2) Die Tragfähigkeit des lastabnehmenden Bauteils muss gegebenenfalls gesondert untersucht werden (z. B. die Schubtragfähigkeit eines Stützensteges).

3.2.2 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen (EC3-1-8, Kapitel 3)

Tragfähigkeiten einzelner Verbindungsmittel (EC3-1-8, Abschnitt 3.6)

Die in Tabelle 3.4 enthaltene bilineare Berechnungsformel für den Tragfähigkeitsnachweis von Schrauben unter der kombinierten Beanspruchung von Zug und Querkraft führt zu einer gegenüber der bislang üblichen quadratischen Überlagerung nach DIN 18800 deutlich geringeren Tragfähigkeit. Tatsächlich ist es so, dass sich beide Formeln auf nur wenige durchgeführte Versuche an Schrauben vornehmlich normaler Festigkeit stützen. Erste Ergebnisse eines im Fachgebiet Stahlbau der Technischen Universität Darmstadt laufenden Forschungsvorhabens lassen nun das Ergebnis erwarten, dass zukünftig zumindest bei hochfesten Schrauben wieder eine höhere Beanspruchbarkeit nachgewiesen werden kann, siehe [Renner, 2014].

Einseitig angeschlossene Winkel (EC3-1-8, Abschnitt 3.10.3)

Die Gleichungen (3.12) und (3.13) im Abschnitt 3.10.3 führen in zahlreichen Anwendungsfällen zu fragwürdigen Ergebnissen gegenüber einfachen ingenieurtechnischen Vergleichsbetrachtungen.

Vergleicht man die Ergebnisse mit denen eines dem Schenkel entsprechenden Flachstahls, so trägt oft der Flachstahl mehr als das Winkelprofil, welches mit 2 Schrauben und einem Lochabstand von beispielsweise $3d_0$ befestigt ist. Auch die Tragfähigkeit des mit nur einer Schraube befestigten Winkels ist höher als diejenige eines mit zwei Schrauben befestigten Winkels. Die Hintergründe für die hier beschriebenen Regelungen sind den Autoren nicht bekannt. Es erscheint zweckmäßig bis auf Weiteres die Tragfähigkeit des Flachstahls als unteren Grenzwert der Tragfähigkeit anzunehmen, sofern, die Ergebnisse der Gleichung (3.12) oder (3.13) darunter liegen.

3.2.3 Schweißverbindungen (EC3-1-8, Kapitel 4)

Tragfähigkeit von Kehlnähten (EC3-1-8, Abschnitt 4.5.3)

Der EC3-1-8 enthält einerseits das richtungsbezogene Nachweisverfahren und zum anderen das sogenannte vereinfachte Verfahren. Wie in der Norm üblich, sind beide Verfahren so be-

schrieben, dass Grenztragfähigkeiten je Längeneinheit ermittelt werden und nicht mehr wie gewohnt der Nachweis mit Grenzspannungen geführt wird. In der täglichen Praxis ist dieser Weg jedoch stets etwas aufwändiger und in jedem Falle weniger anschaulich. Hinzu kommt, dass anders als in der DIN 18800-1 der Nachweis nicht mehr in der Anschlussebene, also an den kurzen Schenkeln der Kehlnähte, sondern in der schrägen Ebene der wirksamen Höhe erfolgt. Dies erfordert die Umrechnung von allen Beanspruchungen, welche nicht parallel zur Naht verlaufen, auf diese schiefe Ebene. Dabei hat das vereinfachte Verfahren den Vorteil, dass dies bei rechtwinkliger Anordnung der zu verbindenden Bauteile nicht erforderlich ist, weil sich durch die quadratische Überlagerung die Winkelumrechnung herauskürzt. Geht man nun noch einen Schritt weiter und rechnet durch das Einsetzen der Schweißnahtflächen auf Spannungsbasis, kann der in der Praxis oft händisch geführte Nachweis in genauso bequemer und leicht nachvollziehbarer Form durchgeführt werden wie über Jahrzehnte geschehen. Aus Sicht der Autoren ist der Zugewinn an Tragfähigkeit des richtungsbezogenen Verfahrens bei exzentrischen Schweißnahtbeanspruchungen zu begrüßen. Für die tägliche Praxis ist jedoch zu erwarten, dass sich der vereinfachte Nachweis als Regelnachweis durchsetzen wird. Es wäre daher nur folgerichtig, diesen dann auch so zu bezeichnen.

Steifenlose Anschlüsse an Flansche (EC3-1-8, Abschnitt 4.10)

Wie bereits weiter oben beschrieben sind die Regelungen zum Thema Kräfteinleitung innerhalb der Normenreihe EN 1993 uneinheitlich geregelt. Der in Gleichung (4.6a) enthaltene Faktor stellt dabei den oberen Grenzwert der anzutreffenden Werte dar. Dieser progressive Wert wird allerdings mit der sehr konservativen Forderung des Absatzes (5) verbunden, was die Anwendung des gesamten Abschnittes 4.10 in vielen Fällen gänzlich unwirtschaftlich werden lässt. Den Autoren sind auch hier die zugrunde liegenden Forschungsberichte nicht vorliegend. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass Untersuchungen an eher dünnwandigen (Hohl-) Profilen zu diesen Rechenvorschriften geführt haben. Aus Sicht der Praxis ist eine konservativer ermittelte mittragende Breite, verbunden mit der Zulässigkeit Schweißnähte nach der Beanspruchung auszulegen, die bessere Alternative.

3.2.4 Tragwerksberechnung (EC3-1-8, Kapitel 5)

Die im Kapitel 5 enthaltenen Regelungen zur Tragwerksberechnung sind aufzuteilen: zum einen in allgemeingültige, zum anderen in solche, die sich auf die Verwendung im Zusammenhang mit der Komponentenmethode beziehen. Die ersten Abschnitte sind zum Kapitel 2 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ zuzuordnen, während Letztere zusammen mit dem Kapitel 6, wie bereits vorgeschlagen, in einen Anhang ausgelagert werden sollen. Die einzelnen Vorschläge sind im Abschnitt 3.2.1 näher erläutert worden.

5.1.5 Berechnung von Fachwerkträgern

Dieser Abschnitt wird zum Großteil in das Kapitel 2.5(2) verschoben. Die restlichen, nur für Hohlprofilkonstruktionen geltende Regelungen sollten in den Anhang H (vormals Kapitel 7) verschoben werden.

(1) Die Regelungen in 5.1.5 gelten nur für Tragwerke, deren Anschlüsse nach Abschnitt 7 nachgewiesen werden.

(2) Für die Verteilung der Normalkräfte in einem Fachwerkträger darf vereinfachend von gelenkigen Anschlüssen der Stäbe ausgegangen werden, siehe auch 2.7.

(3) Sekundäre Momente in Anschlüssen, die aus den tatsächlichen Steifigkeiten der Anschlüsse herrühren, dürfen bei der Bemessung der Stäbe und Anschlüsse vernachlässigt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- die geometrischen Abmessungen der Anschlüsse liegen in den Gültigkeitsgrenzen, die jeweils in Tabelle 7.1, Tabelle 7.8, Tabelle 7.9 oder Tabelle 7.20 angegeben sind;
- das Verhältnis von Systemlänge zu Bauteilhöhe der Stäbe in der Ebene des Fachwerks unterschreitet nicht einen bestimmten Grenzwert. Für Hochbauten darf der Grenzwert mit 6 angenommen werden. Größere Grenzwerte können für andere Anwendungen gelten, siehe entsprechende Teile von EN 1993;

Bild 3.3: Auszug aus Synopse – links Normtext, rechts Kommentar (rot)

3.2.5 Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten (EC3-1-8, Kapitel 6)

(Autoren: André Bubner, Marian Kempkes, Thomas Ummenhofer)

Komponentenmethode - Aufspaltung in Hauptteil und Anhang K

Aufgrund der gegenwärtig nur zögerlichen Anwendung der Komponentenmethode in der Praxis und der Beschränkung der Anwendbarkeit auf Anschlüsse mit I-Profilen ergibt sich der folgende Vorschlag:

- Darstellung der Idee und der Grundzüge der Komponentenmethode in einem kompakten Kapitel 6, das maximal bis zu 7 Seiten umfassen sollte.
- Verlegung der spezifischen Regelungen in einen verpflichtenden Anhang K.
- Ergänzung der Komponentenmethode für H- und I-Profilanschlüsse auch für vier Schrauben je Reihe.
- Ergänzung dieses Anhangs um weitere Anwendungsbereiche

Ziel der Umstrukturierung ist, dass der EC3-1-8 als Grundnorm eine Berechnung von beliebigen Anschlüssen mit allgemeingültigen Regeln ermöglicht. Die Festlegungen können durch weiterführende Methoden im Anhang ergänzt und erweitert werden, die eine genauere oder wirtschaftlichere Berechnung erlauben. Der schlanke Norm-Hauptteil ermöglicht es, sowohl bezüglich der technischen Entwicklung eine hohe Aktualität als auch eine beherrschbare Komplexität zu gewährleisten.

Zu den grundlegenden Regelungen werden neben der Ermittlung der Tragfähigkeit von Schweißnähten und Verbindungsmitteln die Kräfteverteilung auf diese, die Lastausbreitung und die Einleitung von Kräften angesehen.

In das Kapitel 2 der Norm wurden aus Kapitel 6 die Angaben zur Rotationskapazität, die Annahmen zur Verteilung der Kräfte auf Schweißnähte und Verbindungsmittel, die Regelungen zu Fußplatten ohne spezielle Schubelemente und die Festlegungen zur Krafteinleitung übernommen. Die Festlegungen zur Krafteinleitung werden in einem separaten Abschnitt zusammengefasst (siehe 2.8). Darüber hinaus wurden die Regelungen zur Tragfähigkeit von Ankerschrauben in das Kapitel 3 verschoben.

Resultate:

- Verschlankung des Hauptteils des Kapitels 6 im EC3-1-8 um über 40 Seiten, hieraus ergibt sich eine Reduktion des Umfangs auf nahezu ein Drittel.
- Verbesserung der Übersichtlichkeit.
- Möglichkeit der Aufnahme weiterer Komponenten in den Anhang K, ohne Aufblähen des Hauptteils.

Für die Überarbeitung des EC 3-1-8 Anschlüsse wurde eine Vielzahl der hier beschriebenen Änderungsvorschläge in den NA 005-08-16 AA (SpA zu CEN/TC 250/SC 3) und in großen Teilen bereits als deutscher Vorschlag in die europäische Diskussion eingebracht.

Tragfähigkeit (EC3-1-8, Abschnitt 6.2)

Ergänzend zu den Ausführungen in [Bubner et al, 2014b] und [Bubner et al, 2014c] sind folgende Ergänzung- und Änderungsvorschläge im Kapitel 6 von wesentlicher Bedeutung:

Querkräfte (Abschnitt 6.2.2):

- Abs. 5: anstelle „Die Lochleibungstragfähigkeit von Blockankern und Dübeln im Beton ...“ muss es „Die Betonpressung durch die Blockanker und Dübel ...“ heißen.
- Abs. 7: Die Abschertragfähigkeit der Ankerschraube $F_{1,vb,Rd}$ ist für die genormten Ankerschraubenwerkstoffe stets größer als $F_{2,vb,Rd}$. Daher kann der Vergleich entfallen und der Nachweis nur mit $F_{2,vb,Rd} = F_{vb,Rd}$ geführt werden.

Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung (Abschnitt 6.2.4)

- 6.2.4.1 Allgemeines
Tabelle 6.2: Die Formeln decken nur Anschlüsse mit 2 Schrauben je Reihe ab. Es müssen aufgrund der Praxisrelevanz Ergänzungen für Anschlüsse mit 4 Schrauben je Reihe vorgenommen werden.

Tragfähigkeit der Grundkomponenten (Abschnitt 6.2.6)

- 6.2.6.1 Stützensteg mit Schubbeanspruchung
Abs. 13: Nicht die Breite soll beschränkt werden, sondern es muss eine Mindestdicke in Abhängigkeit der Breite gefordert sein, daher muss der Absatz wie folgt umformuliert werden:
Die Dicke t_s eines zusätzlichen Stegbleches muss größer $b_s/40/\varepsilon$ sein.
- 6.2.6.5 Stirnblech mit Biegebeanspruchung
Bild 6.11: Zu den dargestellten Kurven sollten entsprechende Kurvengleichungen angegeben werden, welche die Kurven ausreichend genau abbilden, um z. B. das Verfahren auch programmieren zu können.
Lösung: Das SCI hat „The Green Book - Joints in Steel Construction“ [BCSA/SCI-2014] herausgegeben. Dort sind die Kurven durch Gleichungen angenähert, die übernommen werden könnten.
- 6.2.6.7 Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung
Abs. 1: Die Gleichung (6.21) gilt nur für den Fall gleicher Flanschflächen, diese Einschränkung sollte im Normtext vermerkt werden.
- 6.2.6.12 Ankerschrauben mit Zugbeanspruchung:
Es muss in Abstimmung mit dem SC2 ein Ansatz für die anzusetzende Verbundspannung für glatte Stähle sowie Gewindestangen bereitgestellt werden, um hier eindeutige Vorgaben zur Bemessung zu ermöglichen.

Biegetragfähigkeit von Träger-Stützenanschlüssen und Stößen (Abschnitt 6.2.7)

- 6.2.7.1 Allgemeines
Abs. 2 und Abs. 3: Statt 5 % der plastischen Tragfähigkeit bzw. plastischen Beanspruchbarkeit muss es hier „5 % der Querschnittsnormalkrafttragfähigkeit“ heißen, um auch Querschnitte der Klasse 4 abzudecken.

Tragfähigkeit von Stützenfüßen mit Fußplatten (Abschnitt 6.2.8)

- 6.2.8.1 Allgemeines
Abs. 5: Anstatt „*Schubtragfähigkeit der das Fundament umgebenden Teile*“ muss es hier „*Schubtragfähigkeit der die Ankerplatte in horizontaler Richtung stützender Teile*“ heißen.
- Anstatt „*lokale Lochleibungsfestigkeit des Betons*“ muss es „*lokale Pressung des Betons an den Ankerschrauben*“ heißen. Eventuell kann der Nachweis nach EC 4 für Kopfbolzen übernommen werden.

Rotationssteifigkeit (EC3-1-8, Abschnitt 6.3)

Steifigkeitskoeffizienten für die Grundkomponenten eines Anschlusses (Abschnitt 6.3.2)

- Tabelle 6.11:
Verweis zur Bestimmung von I_{eff} für k_{15} ist nicht zutreffend.
Statt des Verweises auf 6.2.5(3) muss der Verweis auf 6.2.6.5(4) erfolgen.

3.2.6 Anschlüsse mit Hohlprofilen (EC3-1-8, Kapitel 7)

Das Kapitel 7 zur Bemessung von Anschlüssen mit Hohlprofilen ist in sich geschlossen. Wie zuvor in Abschnitt 3.1 beschrieben, wird vorgeschlagen, das Kapitel 7 in einen Anhang auszulagern. Das Kapitel ist Spezialwissen, in sich geschlossen und Bezüge zur übrigen Grundnorm EC3-1-8 bestehen nicht.

4 Bemessung und Konstruktion plattenförmiger Bauteile - DIN EN 1993-1-5

(Autoren: Johannes Naumes, Karsten Geißler, Matthias Bartzsch)

4.1 Bestandsanalyse

4.1.1 Allgemeines

Die Projektgruppe 3 von PRB hat sich die Aufgabe gestellt, den Eurocode 3, Teil 1-5 [R3], in seinem Aufbau zu konsolidieren, in seinem Umfang zu reduzieren, in seiner Anwendung zu vereinfachen, bisherige Lücken im Normtext zu schließen und dabei die bisherige Wirtschaftlichkeit der Ergebnisse beizubehalten. Dies ist ohne umfangreiche Änderungen der Norm nicht möglich. Der in [Naumes et al, 2015a] präsentierte Vorschlag für eine Neufassung des EC3-1-5 basiert auf einer systematischen Überprüfung der Norm. Die sich daraus ergebenden analytischen und ingenieurmäßigen Lösungsvorschläge, siehe auch [Naumes et al, 2014a], wurden mit Hilfe von Sensitivitätsstudien [Naumes et al, 2014b], [Naumes-2015b, c] und [Geißler et al, 2015] überprüft und dem bisherigen Vorgehen gegenübergestellt.

4.1.2 Bestehende Verfahren

Der Eurocode 3 Teil 1-5 [R3] bietet zwei unterschiedliche Verfahren zur Nachweisführung beulgefährdeter Querschnitte an:

- das **Verfahren der wirksamen Breiten** (Kapitel 4 bis 7), welche dem ausbeulenden Blechfeld eine gewisse Rotationskapazität unterstellt und somit eine höhere Ausnutzung der angrenzenden Querschnittsteile ermöglicht. Und
- das **Verfahren der reduzierten Spannungen** (Kapitel 10), welche die zulässige Beanspruchung des Gesamtquerschnitts auf die Grenzbeullast des „schwächsten“ Querschnittsteils beschränkt.

Das grundsätzliche Vorgehen zum Nachweis der Beulsicherheit ist bei beiden Verfahren methodisch ähnlich: Auf Grundlage der geometrie- und spannungsabhängigen idealen kritischen Beulspannung σ_{cr} und einem Fließkriterium als oberen Grenzwert für die Beanspruchbarkeit wird der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ ermittelt. Mit Hilfe dieser Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ wird dann mittels normativ festgelegter Beulkurven ein Abminderungsbeiwert ρ bestimmt. Dieser beinhaltet indirekt Einflüsse aus Eigenspannungen, Imperfektionen sowie des überkritischen Tragverhaltens durch Spannungsumlagerung innerhalb des betrachteten Blechfeldes. Mit dem Abminderungsfaktor ρ werden – je nach Art des Nachweisverfahrens – eine Grenzbeulspannung (Kapitel 10) oder eine rechnerisch verminderte Geometrie (Kapitel 4 bis 7) bestimmt. Unabhängig vom gewählten Berechnungsverfahren muss bei sehr breiten oder längsausgesteiften Beulfeldern, bei denen der Betrag der im Blechfeld stattfindenden günstigen Spannungsumlagerungen geringer ist als das Maß, das durch die Anwendung der Beulkurven indirekt berücksichtigt wurde, der Abminderungsbeiwert aufgrund des knickstabähnlichen Verhaltens angepasst werden.

Im Folgenden werden beide Verfahren vereinfacht zusammengefasst.

Verfahren mit reduzierten Spannungen (Kapitel 10)

Das Verfahren berücksichtigt den Gesamtspannungszustand des Bleches und geht von einer elastischen Spannungsverteilung aus. Der Belastungszustand kann bis zum Fließkriterium gesteigert werden, wobei das Fließkriterium durch das Plattenbeulen begrenzt wird. Plastische Tragreserven innerhalb des Querschnittes werden nicht in Anspruch genommen. Das Verfah-

ren orientiert sich an den im Brückenbau üblichen Bemessungsregeln, wo neben den Tragsicherheitsnachweisen auch Gebrauchstauglichkeitskriterien und der Bauteilwiderstand gegen Ermüdung die Bemessung maßgeblich bestimmen.

Vorgehen (vereinfachte Darstellung ohne Angaben zum knickstabähnlichen Verhalten):

- Gesamtes Spannungsfeld $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$, $\rho = f(\bar{\lambda}_p)$ (4.1)

$$\frac{1}{\rho \cdot \alpha_{ult,k} / \gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad (4.2)$$

Verfahren mit wirksamen Breiten (Kapitel 4 bis 7)

Bei dem Verfahren wird das Spannungsfeld in einzelne Belastungskomponenten Längsspannung/Schubspannung/Querbeanspruchung zerlegt. Für die einzelnen Spannungskomponenten wird eine lineare Dehnungsverteilung unterstellt. Der Nachweis der Beulsicherheit erfolgt getrennt für die einzelnen Komponenten. Dabei werden zur Berücksichtigung des Beulverhaltens unter Längsspannungsbeanspruchung wirksame bzw. unwirksame Querschnittsbereiche definiert. Der sich ergebende reduzierte Querschnitt erlaubt eine Beanspruchung der angrenzenden Querschnittsteile über die Grenzbeulspannung hinaus. Mit Hilfe von mehreren Interaktionsbeziehungen wird im Nachgang das gemeinsame Tragverhalten infolge gleichzeitiger Beanspruchung bewertet.

Das o. a. Vorgehen kann vereinfacht wie folgt dargestellt werden (ohne Angaben zum knickstabähnlichen Verhalten):

- Längsspannungen σ_x $\bar{\lambda}_{\sigma_x} = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{cr,x}}}$, $\rho_x = f(\bar{\lambda}_{\sigma_x})$ (4.3)

$$A_{eff}, W_{eff} \quad \text{mit } b_{eff} = \rho_x \cdot b_c \quad (4.4)$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N}{f_y \cdot W_{eff}} \leq 1,0 \quad (4.5)$$

$\gamma_{M0} \quad \gamma_{M0}$

- Schubbeulen infolge V_z $\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{f_{y,w}}{\tau_{cr}}}$, $\chi_w = f(\bar{\lambda}_w)$ (4.6)

$$V_{bw,Rd} = \chi_w \cdot A_w \cdot \frac{f_{yw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (\text{Steganteil}) \quad (4.7)$$

$$V_{bf,Rd} \approx 0 \quad (\text{Flanschanteil wird i.d.R. vernachlässigt}) \quad (4.8)$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} \leq 1,0 \quad (4.9)$$

- Querbelastung F_z $\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_{y,w}}{F_{cr}}}$, $\chi_F = f(\bar{\lambda}_F)$ (4.10)

$$L_{eff} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (4.11)$$

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w} \leq 1,0 \quad (4.12)$$

$$\gamma_{M1}$$

- Interaktion M-N-V_z
$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0, \quad \text{für } \bar{\eta}_3 \geq 0,5 \quad (4.13)$$

mit
$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \quad (4.14)$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \quad (4.15)$$

- Interaktion M-N-F_z
$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 \leq 1,4 \quad (4.16)$$

- Interaktion V_z-F_z
$$\left[\eta_3 \cdot \left(1 - \frac{F_{Ed}}{2 \cdot V_{Ed}}\right) \right]^{1,6} + \eta_2 \leq 1,0 \quad (4.17)$$

Die wesentlichen Unterschiede in der Nachweisführung der beiden in EC3-1-5 bestehenden Verfahren sind in Tabelle 4.1 noch einmal gegenübergestellt.

Tabelle 4.1: Wesentliche Unterschiede in den bestehenden Bemessungsansätzen

Unterschied in den Verfahren	Abs. 4-7: Methode der wirksamen Breiten	Abs. 10: Methode der reduzierten Spannungen
Form der Abminderung	Effektive Breite Effektive Dicke	Begrenzung der zulässigen Spannungen
Schlankheit	$\bar{\lambda}_p, \bar{\lambda}_{w}$ und $\bar{\lambda}_F$	$\bar{\lambda}_{sys}$
Abminderungskurven	Abs. 4, 5 und 6	Abs. 4 und 5 sowie Anhang B
Interaktion zwischen lokalem und globalem Beulen	Wird berücksichtigt	Wird nicht direkt berücksichtigt
Interaktion zwischen σ_x, σ_z und τ	Plastische Interaktionsgleichungen für: σ_x und τ σ_x und σ_z σ_z und τ (σ_x, σ_z und τ)	Von-Mises Vergleichspannungskriterium: σ_x, σ_z und τ

4.1.3 Anwendungsgrenzen der bestehenden Verfahren

Für das *Verfahren mit wirksamen Breiten* gibt der EC3-1-5 folgende Anwendungsgrenzen vor:

- die Beulfelder sind rechteckig und die Flansche näherungsweise parallel;
- soweit Steifen vorhanden sind, verlaufen diese in Längs- und/oder Querrichtung;
- Löcher oder Ausschnitte sind klein;
- die Bauteile sind gleichförmig;
- flanschinduziertes Stegblechbeulen ist ausgeschlossen.

Das *Verfahren mit wirksamen Breiten* darf im Bereich des Stahlbrückenbaus gemäß dem Nationalen Anhang zu EC3-2 (Stahlbrücken) nur für nicht längsausgesteifte Stegbleche von Trägern angewendet werden. Zudem ist bei Anwendung des Verfahrens wegen der höheren (Ermüdungs-) Beanspruchung der Halsschweißnähte durch das rechnerisch tolerierte Ausbeulen des Steges ein zusätzlicher Gebrauchstauglichkeitsnachweis nach dem *Verfahren mit reduzierten Spannungen* für die charakteristische Einwirkungskombination zu führen.

Für das *Verfahren mit reduzierten Spannungen* bestehen aufgrund der gesamtheitlichen Untersuchung für das komplette Spannungsfeld grundsätzlich keine Einschränkungen. Sowohl komplexe Spannungsfelder als auch beliebige Geometrien einschließlich Ausparungen können prinzipiell mit dem Verfahren erfasst werden.

4.1.4 Probleme der bestehenden Verfahren

Die Nachweisführung der Beulsicherheit nach EC3-1-5, Kapitel 4 bis 7 (Methode der wirksamen Breiten) gestaltet sich als sehr aufwendig und rechenintensiv. Die erforderliche Neuberechnung der Querschnittswerte am „gelochten“ Querschnitt stellt dabei einen hohen Anteil am Gesamtaufwand dar und ist zudem nur schwer automatisierbar. Die Nachweisführung nach Kapitel 10 (Methode der reduzierten Spannungen) ist prinzipiell einfacher umzusetzen. Jedoch ist Letztere im Normentext nur sehr kurz dargestellt, so dass die Gefahr von Fehlanwendungen besteht. Diese liegt insbesondere in der Beurteilung des knickstabähnlichen Verhaltens, der Interaktion zwischen lokalem und globalem Stabilitätsverhalten und der Anwendung bei Querkraft. Zusätzlich ist die Norm aufgrund der vielen Querverweise wenig anwenderfreundlich aufgebaut.

4.2 Lösungsvorschläge

4.2.1 Zusammenführen der bestehenden unterschiedlichen Bemessungsansätze

Basierend auf den beiden Nachweisverfahren in EC3-1-5 und den Forschungsergebnissen in [Sedlacek-2008] wird in [Naumes et al, 2015a] ein Vorschlag für die Änderung des Beulnachweises erarbeitet, der die Wirtschaftlichkeit des *Verfahrens mit wirksamen Breiten* und die Einfachheit und Allgemeingültigkeit des *Verfahrens mit reduzierten Spannungen* vereint. Die Umstrukturierung des Nachweiskonzeptes basiert dabei auf den folgenden Kernpunkten, siehe auch Tabelle 4.2:

- Anwendung des *Allgemeinen Verfahrens* (Verfahren mit reduzierten Spannungen nach Kapitel 10 in EC3-1-5), d. h. Nachweis am gesamten Spannungsfeld unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller Einwirkungen.
- Einführung einer wirksamen Blechdicke zur einfacheren Berechnung effektiver Querschnittswerte, um so die Wirtschaftlichkeit von Kapitel 4 in EC3-1-5 zu erreichen.

- Konsolidierung aller Beulkurven durch Neuvorschlag einer auf Anhang B in EC3-1-5 basierenden allgemeingültigen Abminderungskurve.
- Verwendung einer einzigen Interaktionsgleichung (von-Mises).
- Allgemeine Vereinfachungen im Bemessungsablauf durch Neudefinition einzelner, rechenintensiver Parameter, welche einen geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Tabelle 4.2: Vorgeschlagenes Vorgehen nach Konsolidierung des EC3-1-5

Vorgehen	Vorgeschlagenes Vorgehen
Form der Abminderung	Stufe 1: reduzierte Spannung Stufe 2: effektive Dicke
Schlankheit	$\bar{\lambda}_{sys}$
Abminderungskurven	Anhang B (optimiert)
Interaktion zwischen lokalem und globalem Beulen	Wird auf der sicheren Seite liegend, nicht direkt berücksichtigt
Interaktion zwischen σ_x , σ_z und τ	Von-Mises Vergleichsspannungskriterium

4.2.2 Vorschlag für zweistufiges Vorgehen

Es wird ein Vorgehen in Anlehnung an das *Verfahren mit reduzierten Spannungen* vorgeschlagen, welches auf einer direkten Betrachtung des gesamten Spannungsfeldes beruht. Dieses vorgeschlagene *Allgemeine Verfahren* ist dabei zweistufig aufgebaut:

- 1) elastischer Beulnachweis nach dem Verfahren der reduzierten Spannungen gemäß EC3-1-5, Kapitel 10;
- 2) plastischer Beulnachweis nach dem Verfahren der wirksamen Blechdicken auf Basis des Gesamtspannungsfeldes.

Die Stufe 2 ist dabei eine mit nur verhältnismäßig geringem Aufwand durchzuführende Erweiterung der Stufe 1 und ist fakultativ anzuwenden. Unter Ausnutzung der Rotationsfähigkeit des Gesamtquerschnitts wird die Blechdicke t_i der beulgefährdeten Querschnittsteile dabei auf den Wert

$$t_{eff,i} = \rho_i \cdot t_i \tag{4.18}$$

reduziert. Die Abminderung der Blechdicke kann dabei vereinfachend für das gesamte, innerhalb des Beulnachweises betrachtete Blechfeld einschließlich der unter Zugbeanspruchung stehenden Bereiche erfolgen.

Die weiterführenden „plastischen“ Beulnachweise sind dann mit den sich daraus ergebenden wirksamen elastischen Querschnittswerten zu führen. Dieser zweite Schritt erfolgt mit Hilfe eines nachgeschobenen Vergleichsspannungsnachweises an den Querschnitten mit reduzierten Blechdicken.

Das Verfahren eignet sich zum Nachweis beliebiger Beulfeldgeometrien mit ausgesteiften und nicht ausgesteiften Blechfeldern. Aufgrund der Betrachtung des gesamten Spannungsfeldes kann das Verfahren effizient im Zusammenhang mit EDV-Berechnungen des Spannungszustandes eingesetzt werden, aber auch für die Handrechnung wird der Aufwand um ein erhebliches reduziert.

Der gesamte Vorschlag für die Neufassung der Beulnachweise in EC3-1-5 wurde in [Naumes et al, 2015a] normgerecht aufbereitet. Das prinzipielle Vorgehen des vorgeschlagenen Berechnungsablaufes ist in dem nachfolgenden Bild 4.1 zusammengefasst.

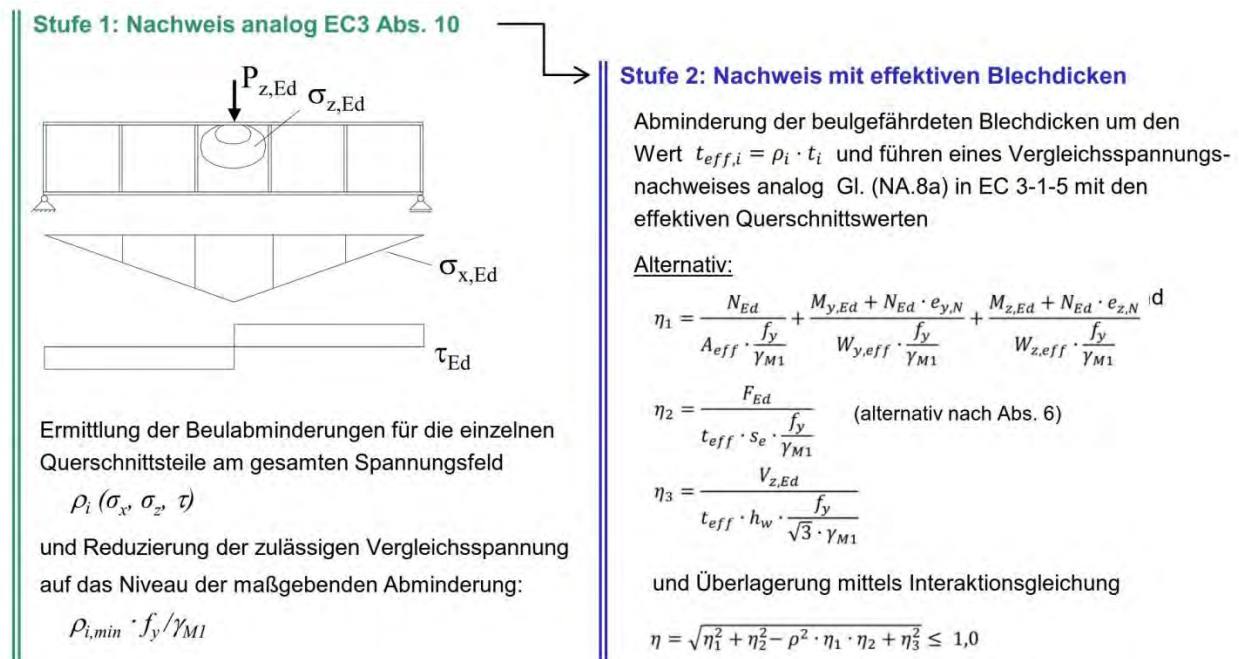


Bild 4.1: Vorgeschlagenes allgemeines Verfahren mit zweistufigem Vorgehen

4.2.3 Wirksame Blechdicke

Während für Aluminiumtragwerke im Eurocode 9 Teil 1-1 [R46] Beulfälle standardmäßig durch wirksame Blechdicken erfasst werden, wird im Stahlbau bislang nur das Verfahren der wirksamen Breiten zur Berücksichtigung der Rotationsfähigkeit des Querschnittes verwendet. Eine Ausnahme bildet hier lediglich das gemischte Verfahren in Anhang D zu EC3-1-3 [R47].

In [Sedlacek-2008] wurde gezeigt, dass das *Verfahren mit reduzierten Spannungen* gemäß EC3-1-5, Kapitel 10, gleichfalls als *Verfahren mit reduzierten Blechdicken* dargestellt werden kann. Die Dicke des gedrückten Blechbereiches wird dabei im betrachteten Teilquerschnitt rechnerisch auf den Wert $t_{eff} = \rho \cdot t$ reduziert. Der Nachweis wird dann mit den sich daraus ergebenden effektiven Querschnittswerten geführt ($E_d \leq R_{d,eff}$).

Damit kann für die Ermittlung der Grenztragfähigkeit eines Querschnittes die Rotationskapazität ausgenutzt werden. Beispielsweise wird bei Querschnitten mit beulgefährdetem Steg nur die Stegdicke abgemindert, während die (nicht beulgefährdeten) Gurte voll ausgenutzt werden können. Gegenüber dem *Verfahren mit wirksamen Breiten* besteht dabei der deutliche Vorteil in der einfachen Ermittlung der Querschnittswerte sowie der Möglichkeit zur ganzheitlichen Betrachtung des Spannungsfeldes, was eine zusätzliche Überprüfung der Tragfähigkeit mittels mehrerer nachgeschobener Interaktionsnachweise ($M-N-V_z$, $M-N-F_z$, V_z-F_z) überflüssig macht.

Zudem ist auf diese Weise eine Berücksichtigung der Beulausfälle in allen gängigen EDV-Bemessungsprogrammen durch einfache Blechdickenreduzierung möglich.

Generell ist anzumerken, dass beide Verfahren mit wirksamen Querschnitten lediglich Ingenieurmodelle sind, die das tatsächliche Tragverhalten, d. h. die tatsächliche Spannungsumlagerungen innerhalb des Querschnittes, nur annähern können, siehe Bild 4.2.

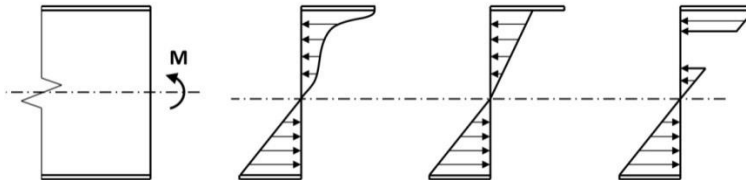


Bild 4.2: Gegenüberstellung zwischen der tatsächlichen Spannungsumlagerung im Querschnitt (links) und dem Ingenieurmodell mit wirksamen Dicken (Mitte) bzw. mit wirksamen Breiten (rechts)

4.2.4 Konsolidierung der Abminderungskurven

Grundlage für die Berücksichtigung des überkritischen Beulverhaltens sind die verwendeten Abminderungskurven. Der EC3-1-5 gibt insgesamt neun verschiedene Kurvengleichungen an, welche teilweise alternativ angewendet werden dürfen. Im Hinblick auf eine Konsolidierung der Norm wird die Verwendung der allgemeingültigen Abminderungskurve in EC3-1-5 Anhang B empfohlen, wobei zur Angleichung der Ergebnisse an EC3-1-5, Kapitel 4 eine leichte Modifikation der Plateaulänge $\bar{\lambda}_{p0}$ gemäß [Naumes et al, 2014b] in Abhängigkeit vom Spannungsgradienten ψ empfohlen wird.

Die resultierende Abminderungskurve ergibt sich dann wie folgt:

$$\rho = \frac{1}{\varphi_p + \sqrt{\varphi_p^2 - \bar{\lambda}_p}} \quad \text{für } \bar{\lambda}_p > \bar{\lambda}_{p0} \quad (4.19)$$

$$\rho = 1 \quad \text{für } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_{p0}$$

mit

$$\varphi_p = \frac{1}{2} \left(1 + \alpha_p \cdot (\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p0}) + \bar{\lambda}_p \right) \quad (4.20)$$

Tabelle 4.3 Zahlenwerte für $\bar{\lambda}_{p0}$ und α_p

Produkt		vorherrschende Beulform	α_p	$\bar{\lambda}_{p0}$
Warmgewalzt unausgesteifte Einzelfelder	oder	Längsspannungen	0,13	$0,8 - 0,1 \cdot \psi$
		Schubspannungen Querlasten	0,13	0,8
geschweißt kaltgeformt	oder	Längsspannungen	0,34	$0,8 - 0,1 \cdot \psi$
		Schubspannungen Querlasten	0,34	0,8

Bild 4.3 zeigt zur Veranschaulichung eine Gegenüberstellung der vorgeschlagenen Abminderungskurve und den EC3-1-5-Kurven aus Kapitel 4 und Anhang B. Man erkennt am gewählten Beispiel, dass mit dem Neuvorschlag die Plateaulänge der Abminderungskurve nach Kapitel 4 besser erfasst wird, als dies für Kurve in Anhang B der Fall ist.

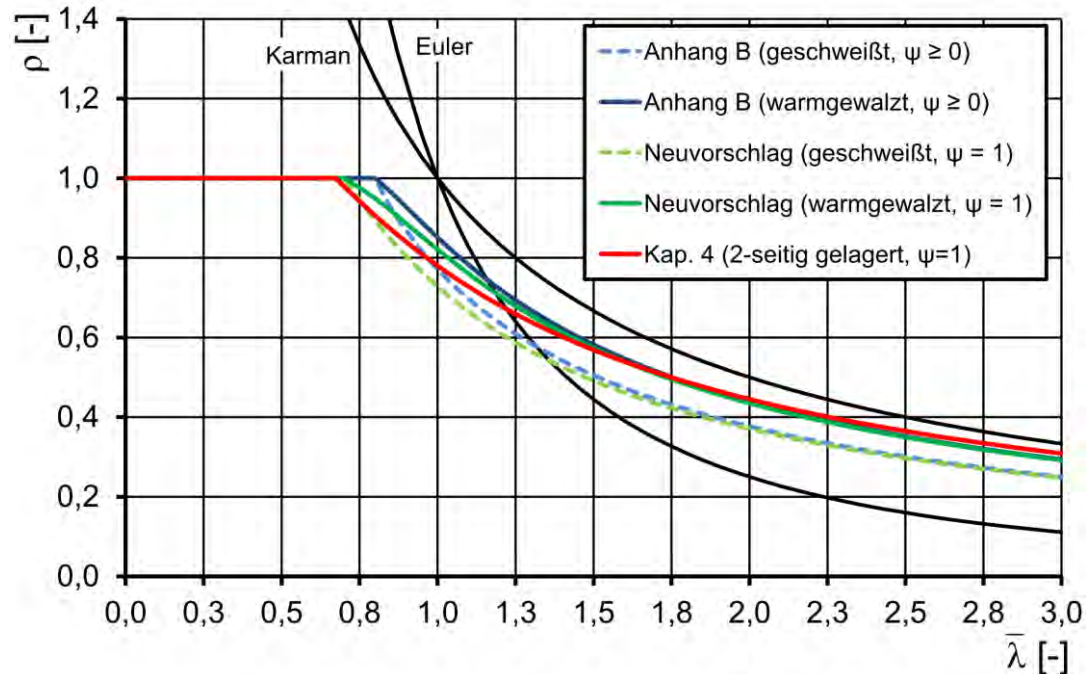


Bild 4.3: Gegenüberstellung der Abminderungskurven nach EC3-1-5 Kapitel 4, nach dem Neuvorschlag und nach EC3-1-5 Anhang B für $\psi = 1$

4.2.5 Interaktion zwischen lokalem und globalem Stabilitätsverhalten

Neben der Ausnutzung überkritischer Tragreserven durch die Verwendung wirksamer Blechbreiten besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Verfahren der wirksamen Breiten (EC3-1-5 Kapitel 4 bis 7 [R3]) zu dem Verfahren der reduzierten Spannungen (EC3-1-5, Kapitel 10) in dem Vorgehen zur Interaktion zwischen lokalem und globalem Beulen.

In Kapitel 4 wird folgendes Vorgehen zur Berücksichtigung der Interaktion zwischen lokaler und globaler Stabilität vorgegeben:

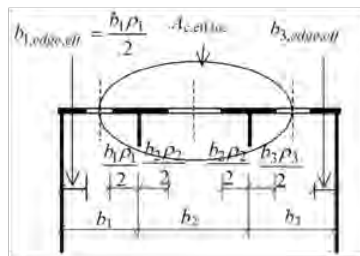
1. Die im Randbereich des betrachteten Gesamtfeldes liegenden Außenfelder werden als Randfelder definiert.
2. Die infolge lokalen Beulens reduzierten Breiten der Randfelder erfahren im Randbereich ($b_{i,edge,eff}$) keine weitere Reduzierung durch ein globales Gesamtfeldbeulen!
3. Alle weiteren wirksamen Einzelfeldbreiten werden auf globales Beulen hin untersucht. Dabei wird bei der Berechnung der globalen Beulenschlankheit die Streckgrenze um den Faktor des Flächenverhältnisses $\beta_{A,c}$ reduziert. Dies führt zu einer Anhebung des Wertes der globalen bezogenen Beulenschlankheit $\bar{\lambda}_p$ und zu einer Reduzierung der globalen Beulabminderung ρ_c .

Hierzu sind zwei Anmerkungen zu machen:

- a) Das Vorgehen unter Punkt 2. setzt eine gewisse Mindeststeifigkeit der Längssteifen voraus, welche im NCI zu EC3-1-5 Absatz 4.5.1(3) mit $\gamma \geq 25$ definiert wurde, da ansonsten die Berechnung auf der unsicheren Seite liegt.
- b) Gemäß EC3-1-5 Absatz 4.5.1(7) darf „Die [globale] Abminderung der unter Druckbeanspruchung stehenden Fläche $A_{c,eff,loc}$ durch ρ_c [...] als über diesen Gesamtquerschnitt gleichmäßig verteilt angenommen werden.“ De-facto handelt es sich bei der globalen Abminderung somit bereits schon jetzt um die Verwendung einer wirksamen Dicke anstatt einer wirksamen Breite.

- Globale Beulschlankheit

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,p}}}$$



- Flächenverhältnis

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$$

mit

$$A_{c,eff,loc} = A_{s,l,eff} + \sum_c \rho_{loc} b_{c,loc} t$$

- Mitwirkende Gesamtfläche

$$A_{c,eff} = \rho_c A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} t$$

Im Gegensatz zu dem oben beschriebenen Vorgehen EC3-1-5, Kapitel 4 gibt es in Kapitel 10 des EC3-1-5 keine Interaktionsbetrachtung zwischen lokalem und globalem Beulen. Hier ist für die Nachweisführung des Gesamtfeldes rein theoretisch die kleinste Abminderung maßgebend. Aufgrund des sehr knapp gehaltenen Normtextes kann es aber auch hier durch falsche Anwendung zu Ergebnissen auf der unsicheren Seite kommen, siehe [Naumes, 2015b]. Die am Anfang dieses Kapitels erwähnte Ausnutzung überkritischer Tragreserven durch die Anwendung wirksamer Breiten spielt nur bei Biegeträgern mit Klasse-4-Steg und gedrungenen Flanschen (QKL 1 bis 3) eine entscheidende Rolle. Für ausgesteifte Bleche unter konstanter Druckbeanspruchung (z. B. Bodenblech im Kastenträger) liegt die höhere rechnerische Beanspruchbarkeit, die man nach Kapitel 4 erhält, in der oben beschriebenen Interaktion zwischen lokalem und globalem Beulverhalten. Die Auswertung der hierzu durchgeführten Sensitivitätsstudie in Bild 4.4 macht dies deutlich.

Hinweis zur Sensitivitätsstudie in Bild 4.4: Untersucht wurden Bodenbleche unter konstanter Randdruckspannung, mit drei bzw. fünf Steifen und einer Abmessung von Länge l / Breite $b = 5 / 4$ m. Als Steifen wurden halbe Walzprofile (IPE, HEA, HEB, HEM) angesetzt. Die Blechdicke wurde von 4 bis 66 mm variiert. Unsinnige Steifen-Blehdicken-Kombinationen (z. B. $\gamma < 25$ oder $\delta > 1$) wurden automatisiert herausgefiltert.

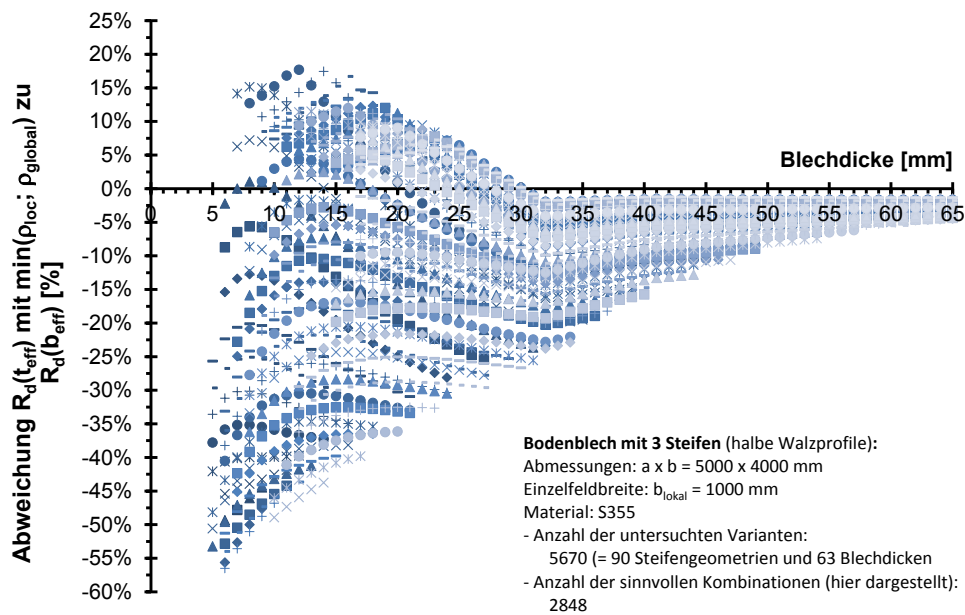


Bild 4.4: Abweichung im Bemessungsergebnis zwischen EC3-1-5 Kapitel 4 und PRB-Vorschlag, letzterer entspricht im vorliegenden Beispiel dem Vorgehen nach EC3-1-5 Kapitel 10. (Beispiel Bodenblech unter konstanter Druckspannung mit drei Steifen)

Um das in [Naumes et al, 2015a] vorgeschlagene und auf Kapitel 10 [R3] basierende vereinfachte Vorgehen auch im Hinblick auf die oben beschriebene Interaktion zwischen globalem und lokalem Beulen zu optimieren und somit wirtschaftlichere Ergebnisse zu erzielen, wurde eine mögliche Modifikation des Vorgehens mit Systemschlankheit untersucht. Dabei wurde in Anlehnung an EC3-1-5 Kapitel 4 die globale Schlankheit $\bar{\lambda}_p$, mit Hilfe eines Flächenverhältnisses $\beta_{A,c}$ reduziert, um anschließend mit einer resultierenden, sowohl lokale ($\rho_{c,loc}$) als auch globale Beuleffekte ($\rho_{c,sub}$ $\rho_{c,glo}$) des Teil- und Gesamtfeldes beinhaltende Gesamtabminderung $\rho_{c,tot}$ für die Blechdicke zu arbeiten. Die untersuchte Modifikation des Vorgehens mit Systemschlankheit kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Globale Beulschlankheit

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} \cdot \alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$$

- Flächenverhältnis

$$\beta_{A,c} = \frac{\rho_{loc} \cdot \frac{b \cdot t}{n} + A_{St}}{\frac{b \cdot t}{n} + A_{St}}$$

mit

n = Anzahl der Einzelfelder

- Mitwirkende Gesamtfläche ermittelt mittels resultierender Gesamtabminderung:

$$\rho_{c,tot} = \frac{\rho_{c,loc} \cdot (1 + (n - 1) \cdot \rho_{c,sub} \cdot \rho_{c,glo})}{n}$$

Im Vergleich zu dem Verfahren nach Kapitel 4 von EC3-1-5 bietet dieses Vorgehen eine wesentlich schnellere Ermittlung der erforderlichen Bemessungsgrößen und führt dabei, eine sinnvolle konstruktive Anordnung der Steifen vorausgesetzt, zu einer guten Übereinstimmung zu den Ergebnissen nach EC3-1-5 Kapitel 4, siehe Bild 4.5. Die zu erkennenden Abweichungen in den rechnerischen Beanspruchbarkeiten R_d sind dabei überwiegend auf die Verwendung unterschiedlicher Abminderungskurven zurückzuführen.

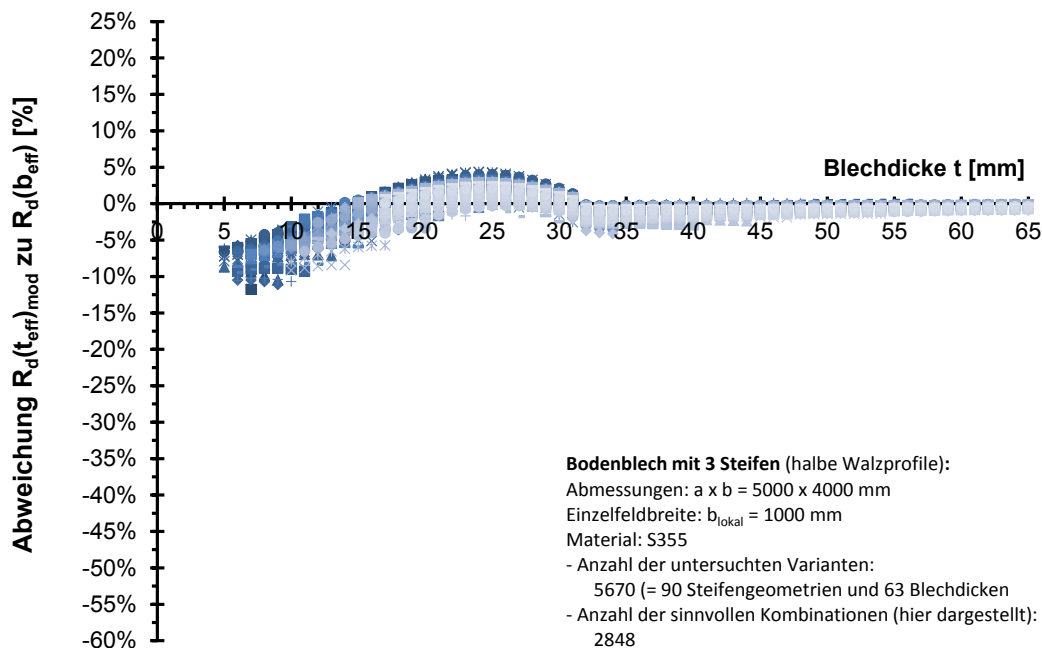


Bild 4.5: Abweichung im Bemessungsergebnis zwischen EC3-1-5 Kapitel 4, $R_{d(b_{\text{eff}})}$, und dem verworfenen alternativen PRB-Vorschlag mit modifizierter Systemschlankheit, $R_{d(t_{\text{eff}})}$. (Beispiel Bodenblech unter konstanter Druckspannung mit drei Steifen)

Dem Primärziel folgend, ein einfaches und auf der sicheren Seite liegendes Nachweisverfahren zu erhalten, ohne dabei neue Bemessungsansätze einführen zu müssen, wurde in der PRB-Sitzung der Projektgruppe 3 am 26.09.2014 in Berlin entschieden, die o. g. Modifikation nicht in den *Vorschlag zur Neufassung des EC3-1-5 [Naumes et al, 2015a]* mit aufzunehmen. Die in Bild 4.4 zu erkennende Abweichung zwischen $R_{d(t_{\text{eff}})}$ und $R_{d(b_{\text{eff}})}$ entspricht der bisherigen Abweichung zwischen Kapitel 4 und Kapitel 10 des EC3-1-5 und wird daher akzeptiert.

4.2.6 Sensitivitätsanalysen

Allgemeines

Das vorgeschlagene neue Vorgehen für die Nachweisführung der Beulsicherheit wurde anhand einer großen Anzahl von Beispielen in [Naumes et al, 2014b], [Naumes, 2015b], [Naumes, 2015c] und [Geißler et al, 2015] automatisiert ausgewertet und dem Nachweisverfahren nach EC3-1-5 gegenübergestellt. Neben der zuvor bereits beschriebenen deutlichen Vereinfachung der Vorgehensweise sollen anhand dieser umfangreichen Sensitivitätsstudien die Sicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Neuvorschlags dokumentiert werden.

Wirksame Breite versus wirksame Dicke

Um das vorgeschlagene Vorgehen mit wirksamen Blechdicken in einem praxisnahen Gesamtkontext zu überprüfen, wurde eine Sensitivitätsstudie an unausgesteiften I-Querschnitten mit Klasse-4-Steg durchgeführt. Die Bandbreite der variierten Parameter wurde so gewählt, dass sie sich im Bereich der üblichen Brückenbauabmessungen befinden und die Flansche stets Klasse 1 bis Klasse 3 sind. Tabelle 4.4 fasst alle Parametervariationen zusammen. Um möglichst einfache Formeln für die Automatisierung der Parameterstudie zu erhalten, wurde die Annahme getroffen, dass die Spannungsverteilung in den Flanschen konstant ist und die maximale Spannung im Steg die Streckgrenze $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ erreicht.

Tabelle 4.4: Parametervariation für I-Profil mit unausgesteiftem Klasse-4-Steg

Parameter	Variation
Steghöhe / Stegdicke h_w/t_w	11 Stk. = 100 bis 225 in 12,5 Schritten
Flanschdicke / Stegdicke t_{fl}/t_w	10 Stk. = 2,5 bis 7 in 0,5 Schritten
Steghöhe, Flanschbreite (h_w, t_{fl})	9 Stk. = (1000;300), (1500;400), (2000;500), (2500;600), (3000;700), (3500;800), (4000;900), (4500;1000), (5000;1100)

Für die sich aus den o. a. Variationen ergebenden 990 Parameterkombinationen wurde zunächst die exakte Momententragfähigkeit M_{Rk} des Gesamtquerschnitts durch alleinige Beulabminderung der gedrückten Stegbereiche und iterative Verschiebung der neutralen Faser bis zum Erreichen des inneren Gleichgewichtes ($\sum N_i = 0$) für beide Verfahren getrennt ermittelt.

Bild 4.6 zeigt die Einhüllende der Ergebnisse über alle Parameterkombinationen (h_w, t_{fl}) . Die geringe Abweichung von $\leq 0,66\%$ zwischen der Momententragfähigkeit $M_{Rk}(t_{eff})$ ermittelt nach Stufe 2 des Neuvorschlags (*Verfahren der wirksamen Dicke*) und der Momententragfähigkeit $M_{Rk}(b_{eff})$ nach EC3-1-5 Kapitel 4 (*Verfahren der wirksamen Breite*) zeigt, dass beide Verfahren als gleichwertig zu betrachten sind.

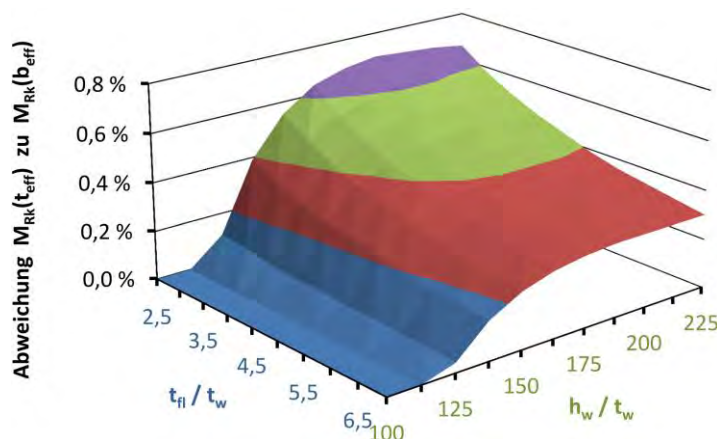


Bild 4.6: Abweichung zwischen resultierender Momententragfähigkeit M_{Rk} des Gesamtquerschnitts bei einem Vorgehen mit t_{eff} zu dem Nachweis mit b_{eff}

Bild 4.7 zeigt den Unterschied zwischen der exakten, iterativen Berechnung nach EC3-1-5 Kapitel 4 und einem vereinfachtem Nachweis, bei dem der Steg über die gesamte Höhe in seiner Dicke abgemindert wird, wobei ein iteratives Vorgehen überflüssig wird. Wie zu erkennen ist,

kann auch dieses Vorgehen bei einer Abweichung von 2,5 % als hinreichend genau betrachtet werden.

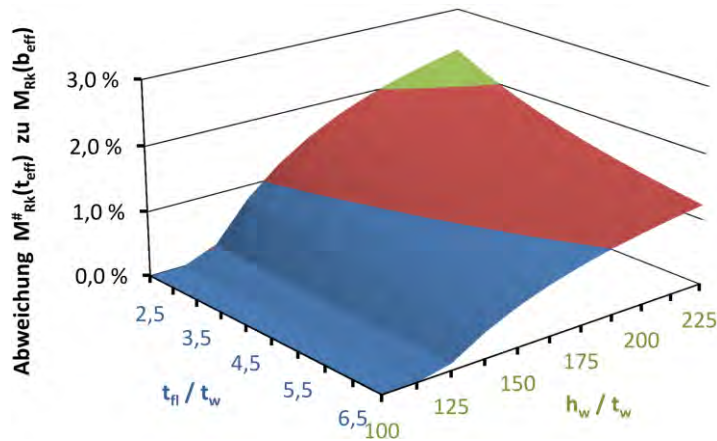


Bild 4.7: Abweichung zwischen der vereinfachten Momententragfähigkeit $M_{Rk}^{\#}(t_{eff})$ des Gesamtquerschnitts bei pauschaler Reduzierung des gesamten Stegbleches gegenüber $M_{Rk}(b_{eff})$ nach EC3-1-5 Kapitel 4 bei iterativer Anpassung der neutralen Faser

M-V-Interaktion unausgesteifter Beulfelder

Zur Überprüfung des Neuvorschlags bei M-V-Bbeanspruchung wurden geschweißte Träger ($\alpha_p = 0,34$) mit einer Variation von insgesamt 24 verschiedenen Abmessungskombinationen untersucht. Die genauen Trägergeometrien können Tabelle 4.6 entnommen werden. Die in den nachfolgenden M-V-Interaktionsdiagrammen verwendeten Symbole sind in Tabelle 4.5 zusammengefasst.

Die Ergebnisse nach Stufe 2 des Neuvorschlags werden in Bild 4.8 den Ergebnissen nach EC3-1-5, Kapitel 10 (= Neuvorschlag Stufe 1) gegenübergestellt, so dass eine direkte Vergleichbarkeit gegeben ist.

Die Lasten für die Sensitivitätsanalysen wurden dabei wie folgt zusammengesetzt:

- Momentenbeanspruchung: $M_{y,Ed} = \alpha_{Ed} \cdot f \cdot W_{y,el,brutto} \cdot f_{yd}$
- Querkraftbeanspruchung: $V_{z,Ed} = \alpha_{Ed} \cdot (1 - f) \cdot t_w \cdot h_w \cdot f_{yd} / \sqrt{3}$
- Querlastbeanspruchung: $F_{z,Ed} = 2 \cdot V_{z,Ed}$
(sofern berücksichtigt)

mit α_{Ed} Lasterhöhungsfaktor

f Lastzusammenstellungsfaktor (Wert zwischen 0 und 1)

Der Lasterhöhungsfaktor α_{Ed} wurde dabei iterativ so lange angepasst, bis der maßgebende Ausnutzungsgrad η nach Kapitel 4 bis 7 [R3] unter Beachtung der dazugehörigen NCIs und NDPs [R4] den Wert 1 ergab. Die Ausnutzungsgrade für die alternativen Nachweiskonzepte (Neuvorschlag Stufe 1 und 2) wurden anschließend mit denselben Bemessungsgrößen für Moment $M_{y,Ed}$, Querkraft $V_{z,Ed}$ sowie Querlast $F_{z,Ed}$ berechnet.

Tabelle 4.5: Legende für M-V-Interaktion-Sensitivitätsanalyse

◆ Träger-500-20-2000-8	■ Träger-500-20-2000-10	▲ Träger-500-20-2000-12	× Träger-500-20-2000-16
× Träger-500-40-2000-10	● Träger-500-40-2000-12	+ Träger-500-40-2000-14	- Träger-500-40-2000-16
— Träger-800-60-2500-10	◆ Träger-800-60-2500-12	■ Träger-800-60-2500-16	▲ Träger-800-60-2500-20
× Träger-800-80-2500-10	× Träger-800-80-2500-14	● Träger-800-80-2500-16	+ Träger-800-80-2500-20
- Träger-1000-100-3000-10	- Träger-1000-100-3000-15	◆ Träger-1000-100-3000-20	■ Träger-1000-100-3000-25
▲ Träger-1000-90-3000-10	× Träger-1000-90-3000-15	× Träger-1000-90-3000-20	● Träger-1000-90-3000-25
+ Träger-1000-64-4000-14	- Träger-1000-64-4000-16	— Träger-1000-64-4000-20	◆ Träger-1000-64-4000-30
■ Träger-1000-96-4000-15	▲ Träger-1000-96-4000-20	× Träger-1000-96-4000-25	× Träger-1000-96-4000-30

Tabelle 4.6: Parametervariation der Sensitivitätsstudie zur M-V-Interaktion

Träger-geometrie	Flanscbreite	Flanschdicke	Steghöhe	Stegdicke	h_w/t_w	t_f/t_w
1	500	20	2000	8	250	3
	500	20	2000	10	200	2
	500	20	2000	12	167	2
	500	20	2000	16	125	1
2	500	40	2000	10	200	4
	500	40	2000	12	167	3
	500	40	2000	14	143	3
	500	40	2000	16	125	3
3	800	60	2500	10	250	6
	800	60	2500	12	208	5
	800	60	2500	16	156	4
	800	60	2500	20	125	3
4	800	80	2500	10	250	8
	800	80	2500	14	179	6
	800	80	2500	16	156	5
	800	80	2500	20	125	4
5	1000	100	3000	10	300	10
	1000	100	3000	15	200	7
	1000	100	3000	20	150	5
	1000	100	3000	25	120	4
6	1000	90	3000	10	300	9
	1000	90	3000	15	200	6
	1000	90	3000	20	150	5
	1000	90	3000	25	120	4
7	1000	64	4000	14	286	5
	1000	64	4000	16	250	4
	1000	64	4000	20	200	3
	1000	64	4000	30	133	2
8	1000	96	4000	15	267	6
	1000	96	4000	20	200	5
	1000	96	4000	25	160	4
	1000	96	4000	30	133	3

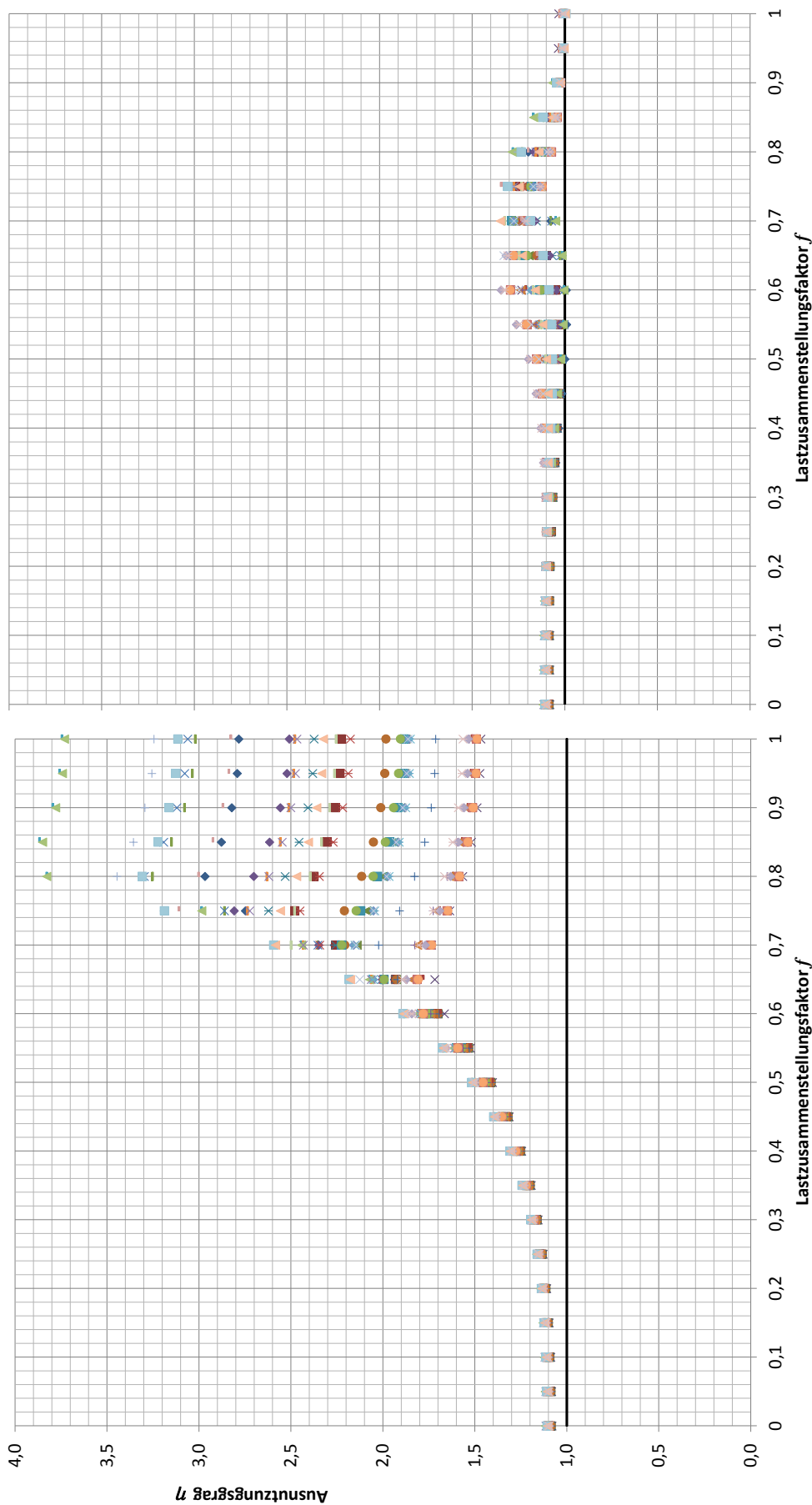


Bild 4.8 M-V-Interaktion ohne Umlagerung gemäß EC3-1-5 Abs. 10 bzw. Stufe 1 des Neuvorschlags (linkes Diagramm) und mit Umlagerung gemäß EC3-1-5 Abs. 10 bzw. Stufe 2 des Neuvorschlags (rechtes Diagramm); Anmerkung: Die Berechnung nach EC3-1-5 Abs. 4-7 ergibt für die gewählte Beanspruchung einen rechnerischen Ausnutzungsgrad von $\eta = 1$, siehe Erklärung hierzu in Kapitel 4.2.6.3

AoFz-500-20-2000-10	AoFz-500-20-2000-12	AoFz-500-20-2000-14	AoFz-500-40-2000-10	AoFz-500-40-2000-12	AoFz-500-40-2000-14	AoFz-500-40-2000-16
AoFz-800-60-2500-10	AoFz-800-60-2500-12	AoFz-800-60-2500-16	AoFz-800-60-2500-10	AoFz-800-60-2500-12	AoFz-800-60-2500-16	AoFz-800-60-2500-20
AoFz-800-80-2500-10	AoFz-800-80-2500-14	AoFz-800-80-2500-16	AoFz-800-80-2500-10	AoFz-800-80-2500-14	AoFz-800-80-2500-16	AoFz-800-80-2500-20
AoFz-1000-100-3000-10	AoFz-1000-100-3000-15	AoFz-1000-100-3000-20	AoFz-1000-100-3000-10	AoFz-1000-100-3000-15	AoFz-1000-100-3000-20	AoFz-1000-100-3000-25

M-N-V Interaktion ausgesteifter Beulfelder

Etwas differenzierter zeigen sich die Unterschiede der beiden Verfahren bei komplexen Spannungsfeldern unter M-N-V-Interaktion. In den folgenden Diagrammen aus [Geißler et al, 2015] sind die Grenzlinien der Beulsicherheit (NW = 1,0) für einen schlanken Biegeträger unter verschiedenen Beanspruchungskombinationen dargestellt.

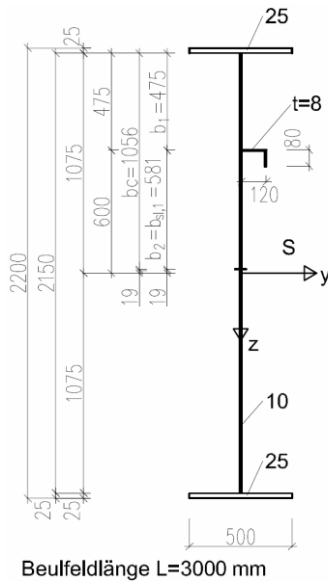


Bild 4.9: Sensitivitätsanalyse an einem ausgesteiften Biegeträger unter N-M-V-Belastung

Es werden die drei folgenden Berechnungsgänge durchgeführt:

- 1) „linear“: lineares Beulen gemäß Stufe 1 des Neuvorschlags
- 2) „Neuvorschlag“: überkritisches Beulen gemäß Stufe 2 des Neuvorschlags mit dem Verfahren der wirksamen Blechdicken.
- 3) „EC3-1-5“: überkritisches Beulen gemäß EC3-1-5, Kapitel 4, 5 und 7 mit dem Verfahren der wirksamen Breiten.

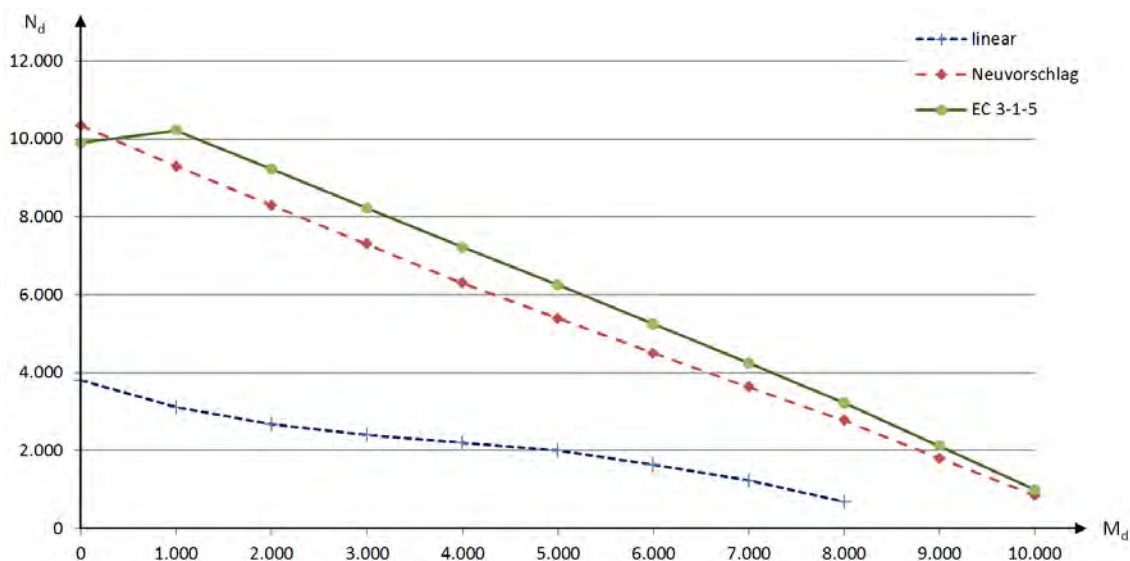


Bild 4.10: Vergleich der Beulnachweise bei N-M-Interaktion (Grenzkurven für NW = 1,0)

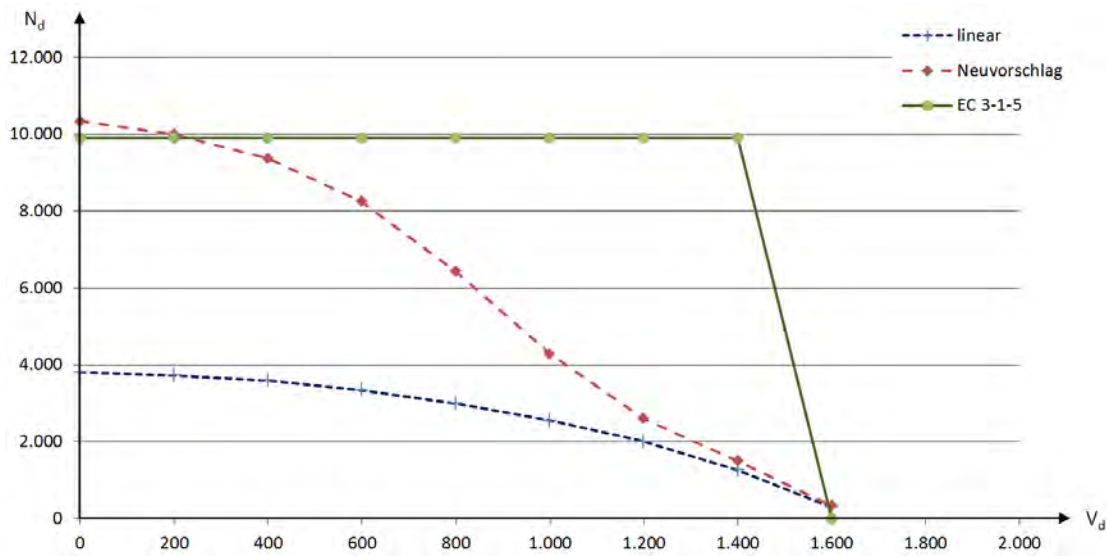


Bild 4.11: Vergleich der Beulnachweise bei N-V-Interaktion (Grenzkurven für NW = 1,0)

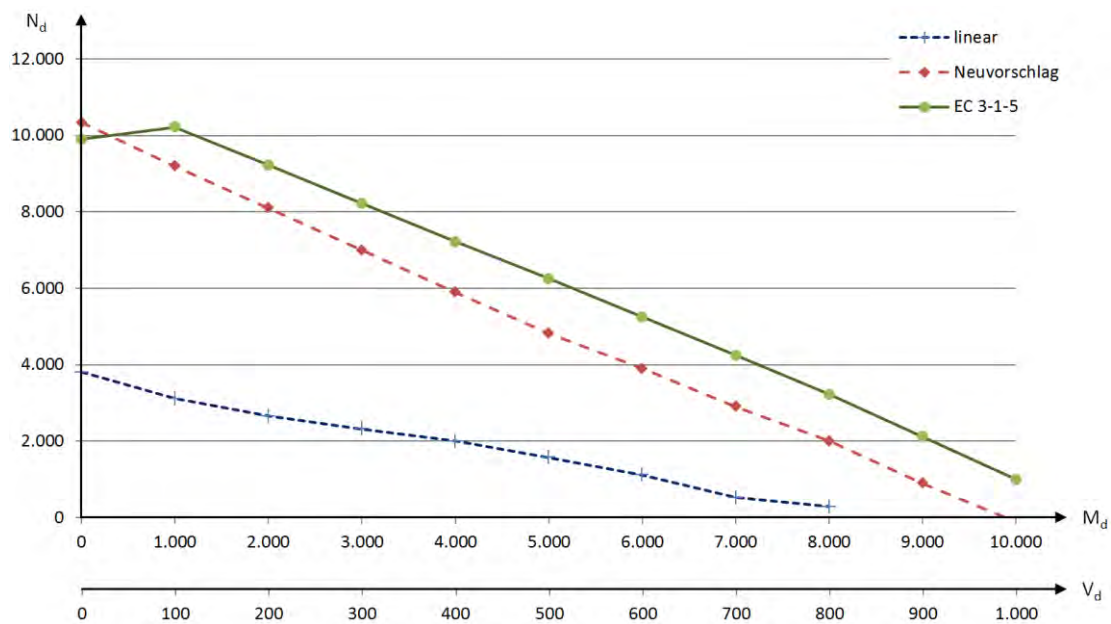


Bild 4.12: Vergleich der Beulnachweise bei N-M-V-Interaktion (Grenzkurven für NW = 1,0)

Der entscheidende Zuwachs der rechnerischen Tragfähigkeit erfolgt beim Übergang vom linearen Beulen zum überkritischen Beulen. Die Abweichungen der beiden Nachweisverfahren des überkritischen Beulens – wirksame Dicken bzw. wirksame Breiten – sind dagegen geringer.

4.2.7 Vergleichsberechnungen durch unabhängige Büros

Die beiden Ingenieurbüros *Klähne Beratende Ingenieure im Bauwesen (Berlin)* und *Dr. Schütz Ingenieure (Kempten)* wurden beauftragt, den neuen Normenvorschlag für den EC3-1-5 unabhängig durchzuarbeiten und dabei sowohl die Anwendbarkeit kritisch zu überprüfen als auch die Berechnungsergebnisse durch eigene Vergleichsberechnungen zu verifizieren. Zielstellung war es, Verbesserungshinweise für den Neuvorschlag zu erarbeiten und eventuelle Fehler zu identifizieren. Die Ergebnisse beider Ingenieurbüros sind detailliert dargestellt in den Forschungsberichten [*Klähne et al, 2015*] und [*Schütz et al, 2015*].

Beide Büros bestätigen die gute und im Vergleich zum EC3-1-5 einfachere Anwendbarkeit des neuen Normenvorschlages.

Die in den Dokumenten [*Klähne et al, 2015*] und [*Schütz et al, 2015*] enthaltenen Verbesserungsvorschläge gelten – neben einigen formalen Korrekturhinweisen bzw. Druckfehlerberichtigungen – zum großen Teil für die derzeit gültige Fassung des EC3-1-5 und mittelbar für die in den Neuvorschlag übernommenen Textpassagen. Ein wichtiger Punkt hierbei ist der Wunsch nach mehr Bildern und ggf. Erläuterungen zur besseren Verständlichkeit. Diese Verbesserungsvorschläge sind Anregungspunkte für eine künftige Weiterarbeit an dem neuen Normenvorschlag. Die momentane Fassung des neuen Normenvorschlages orientiert sich in seiner Ausgestaltung im ersten Schritt an der derzeit gültigen Norm.⁶

Die durchgeführten Vergleichsberechnungen führen prinzipiell auf vergleichbare Ergebnisse zwischen dem EC3-1-5 und dem neuen Normenvorschlag. Nennenswerte Abweichungen treten vor allem dort auf, wo sich die Bezugsgrundlagen unterscheiden – z. B. bei der Formeldarstellung zur Ermittlung der Auslastung in Anlehnung an eine effektive Vergleichsspannung (im Neuvorschlag wird eine Wurzel gezogen, was auf eine direkte Auslastung führt, im EC3-1-5 wird keine Wurzel gezogen, sondern nur gegen 1,0 abgegrenzt, Gl. (10.4)), oder bei der Festlegung des Grenzkriteriums (z. B. Auslastung für Querbeanspruchung bis 100 % oder bis zu einer höheren Grenze, vgl. EC3-1-5, Kap. 7, Gl. (7.2) $\eta_2 + 0,8 \eta_1 \leq 1,4$).

In Ihrer Zusammenfassung kommen die beiden Ingenieurbüros neben den o. g. Punkten zu folgenden Schlussfolgerungen:

„Das Verfahren der reduzierten Blechdicke nach dem Änderungsvorschlag von PRB ist im Vergleich zur Methode der wirksamen Breiten nach DIN EN 1993-1-5 deutlich einfacher anwendbar und weniger fehleranfällig.“ [*Schütz et al, 2015*]

„Die von der PG3 erarbeiteten Vorschläge zu DIN EN 1993-1-5 stellen eine sehr anwenderfreundliche und praxisrelevante Möglichkeit dar, um diese Norm zu verbessern. [...] Die größten Verbesserungen können jedoch bei der Methode der wirksamen Blechdicken festgestellt werden. Die komplizierte und sehr aufwendige Methode der wirksamen Breiten wurde durch die relativ einfache und sehr verständliche Methode der wirksamen Blechdicken ersetzt. [...] ...es wäre sinnvoll, diese Methode in der neuen Version von DIN EN 1993-1-5 zu berücksichtigen“ [*Klähne et al, 2015*].

⁶ Der neue Normvorschlag wurde im März 2015 an den Normenausschuss NA 005-08-16 AA des DIN (Spiegelausschuss zum SC 3) übergeben. Die pränormativen Arbeiten sind damit im ersten Schritt abgeschlossen. Der neue Normenvorschlag wird optimiert, sobald eine grundsätzliche Zustimmung in der verantwortlichen europäischen Working Group zum konsolidierten Verfahren erzielt worden ist.

5 Ermüdung – DIN EN 1993-1-9

(Autoren: Karsten Geißler, Bertram Kühn)

5.1 Bestandsanalyse

5.1.1. Allgemeines

In der EN 1993 Teil 1-9 Ermüdung (EC3-1-9) sind die allgemein gültigen Regelungen für den Nachweis der Ermüdung bei Stahlkonstruktionen zusammengefasst. In der Vornorm für den Eurocode 3 dagegen waren die Ermüdungsnachweise noch in den einzelnen jeweiligen Anwendungsnormen für Brücken, Kranbahnen, Türme, Maste usw. enthalten. Die jetzige Regelung hat den Vorteil, dass Wiederholungen und Widersprüche in den einzelnen Eurocode-Teilen vermieden werden.

5.1.2. Redaktionelle Durcharbeitung des Normentextes

Der Normentext weist redaktionelle Unzulänglichkeiten in einzelnen Abschnitten hinsichtlich der Gliederung und Lesbarkeit auf. Diese können inhaltlich zu Fehlanwendungen beim Ermüdungsnachweis führen. Die Bestandsanalyse ist in Synopsenform detailliert dargestellt in [Kühn et al, 2015].

5.1.3. Inhaltliche Diskussionen einzelner normativer Inhalte

Inhaltlich kristallisieren sich folgende Schwerpunkte heraus, die bearbeitet und diskutiert wurden:

1. Bei der Darstellung der Schadensakkumulationshypothesen für mehrstufige Beanspruchung ist nicht ersichtlich, dass die vereinfacht in den Bemessungsnormen (z. B. für den Brückenbau bzw. die Kranbahnträger) angegebenen Betriebslastfaktoren (im Regelfall als λ -Werte bezeichnet) anhand von bis zur Abszisse geradlinig durchgeführten Wöhlerlinien (sogenannten Linien nach Corten/Dolan) hergeleitet sind. Das heißt, die Betriebslastfaktoren haben keinen Bezug zu den zweifach abgeknickten Wöhlerlinien des Eurocode 3-1-9. Letztere haben ihre Bedeutung nur für die individuelle Berechnung von Schadenssummen mit Hilfe der Miner-Regel, d. h. durch lineare Akkumulation berechneter Teilschäden.

Es stellt sich die Frage, ob dem Anwender immer bewusst ist, welche Schadensakkumulationshypothese er anwenden sollte bzw. welche Hypothese den verallgemeinerten Betriebslastfaktoren zugrunde liegt.

2. Es wurde diskutiert, ob die Festlegungen zur Dauerfestigkeitsgrenze im Normentext eindeutig sind. Die möglichst realistische Berücksichtigung der Dauerfestigkeit ist sehr wichtig, da die meisten praxisrelevanten Beanspruchungskollektive mit den Maximalwerten gerade im Bereich dieser Grenzwerte liegen.
3. Es wurde diskutiert, ob die Bemessungskonzepte „Konzept der Schadenstoleranz“ und „Konzept gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung“ beide notwendig sind und entsprechend parallel angegeben werden sollten oder ob dadurch in der Anwendung eine zusätzliche Fehlerquelle vorhanden ist.
4. Es stellt sich die Frage, welche Begründung die Festlegung der widerstandsseitigen Sicherheitsbeiwerte für die beiden Nachweiskonzepte des EC3-1-9, die von $\gamma_{Mf} = 1,0$ bis $\gamma_{Mf} = 1,35$ (bzw. 1,25) variieren, aufweisen.

Weiterhin stellt sich die Frage, inwieweit die Erfahrungen mit den normativen Regelungen des Maschinenbaus herangezogen werden müssen. In letzteren sind teilweise Grenzschaadenssummen von 0,3 oder 0,5 (bei sonst ähnlichen Randbedingungen, allerdings anderen widerstandsseitigen Sicherheitselementen sowie auch abhängig von der Form des Beanspruchungskollektives) festgelegt.

5. Die Anwendung des Strukturspannungskonzeptes ist zwar grundsätzlich gestattet, kann aber inhaltlich kaum ohne umfangreiche Sekundärliteratur angewandt werden. Auch ist es bereits mehrfach vorgekommen, dass der Anwender fehlerhaft entschieden hat, wann zwingend das Nennspannungskonzept (Wöhlerkonzept) und wann das Strukturspannungskonzept anzuwenden ist. Aus diesem Grund wurde Sinn und Umfang der normativen Darstellung des Strukturspannungskonzeptes diskutiert.

5.2 Lösungsvorschläge

5.2.1 Redaktionelle Überarbeitung des Normentextes

Der Normentext wurde hinsichtlich der Gliederung sowie auf gute Lesbarkeit durchgearbeitet und teilweise umgestellt, gekürzt bzw. korrigiert. Es wurde konsequent darauf geachtet, dass Berechnungsmethoden (einschließlich Sicherheitselementen), Beanspruchungen und Widerstände klar gegliedert werden.

Diese redaktionelle Durcharbeitung betrifft beispielsweise folgende Punkte:

- Abschnitt 1.3 „Begriffe“: Kürzung und Korrektur missverständlicher bzw. doppelter Erläuterungen;
- Kapitel 3 „Bemessungskonzepte“: Die Reihenfolge der Absätze in diesem Abschnitt ist nicht logisch. Absatz (1), (2), (3) und (7) beziehen sich auf die Bemessungsmethode, während Absatz (4) beschreibt, wie das vorgeschriebene Zuverlässigkeitsniveau erreicht werden kann, und Absatz (5) und (6) etwas über die Ermüdungsfestigkeit aussagen. Vorgeschlagen wird deshalb eine Änderung der Gliederung in folgender Reihenfolge: Erläuterung der Bemessungskonzepte (1, 2, 3, 7), des Zuverlässigkeitsniveaus (4) und abschließend der Ermüdungsfestigkeit (5, 6).
- Die Kapitel 4 „Ermüdungsbeanspruchungen“ und Kapitel 5 „Berechnung der Spannungen“ sollten in einem Kapitel zusammengefasst werden.
- Der Abschnitt 7.2.1 enthält Informationen zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses, insbesondere wenn Teile oder die ganze Schwingbreite im Druckbereich liegen. Diese Informationen sind dem Kapitel „Berechnung von Spannungsschwingbreiten“ und nicht dem Kapitel „Ermüdungsfestigkeit“ zuzuordnen. Es wird deshalb empfohlen, dieses Kapitel entsprechend zu verschieben.

Das Ergebnis aller redaktionellen Änderungsvorschläge des Normentextes ist in Synopsenform im separaten Dokument [Kühn *et al*, 2015] dargestellt.

5.2.2 Inhaltliche Diskussion einzelner normativer Inhalte

Im Folgenden werden in der Reihenfolge der aufgeworfenen Fragestellungen inhaltliche Argumente dargestellt sowie im Ergebnis Vorschläge unterbreitet, wie ggf. in der Norm damit umgegangen werden sollte.

1. Schadensakkumulationshypothese (ausgedrückt durch Ermüdungsfestigkeitskurve)

Zur Verdeutlichung der Schadensakkumulationshypothese wäre es ratsam, die zwei wesentlichen Ermüdungsfestigkeitskurven grafisch anzugeben. Bei der linken Darstellung in Bild 5.1 handelt es sich um die Wöhlerlinie nach Corten/Dolan, die (aufgrund der Nichtberücksichtigung der Dauerfestigkeit) eine verallgemeinerte Rückrechnung von Betriebslastfaktoren für mehrstufige Beanspruchungen erlaubt.

In der rechten Darstellung ist die zweifach abgeknickte Ermüdungsfestigkeitskurve (meist vereinfacht auch als Wöhlerlinie bezeichnet) angegeben, die normativ nach EC3-1-9 zur direkten Berechnung der Schadenssumme bei mehrstufiger Beanspruchung mittels linearer Schadensakkumulation (Miner-Hypothese) zu verwenden ist. Zweckmäßig ist hier die Angabe der funktionalen Zusammenhänge innerhalb der grafischen Darstellung, da dadurch der über zahlreiche Zeilen formulierte Normtext etwas reduziert werden kann. Die Dauerfestigkeitsgrenze ist (auch funktional) mit im Bild angegeben.

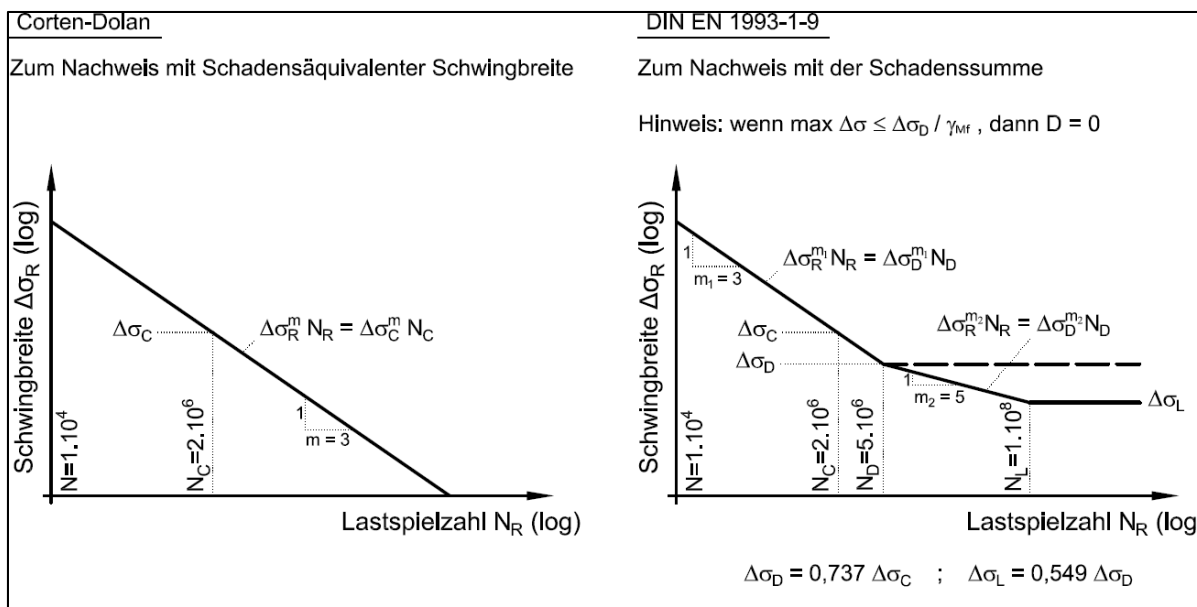


Bild 5.1: Ermüdungsfestigkeitskurven für Längsspannungsschwingbreiten

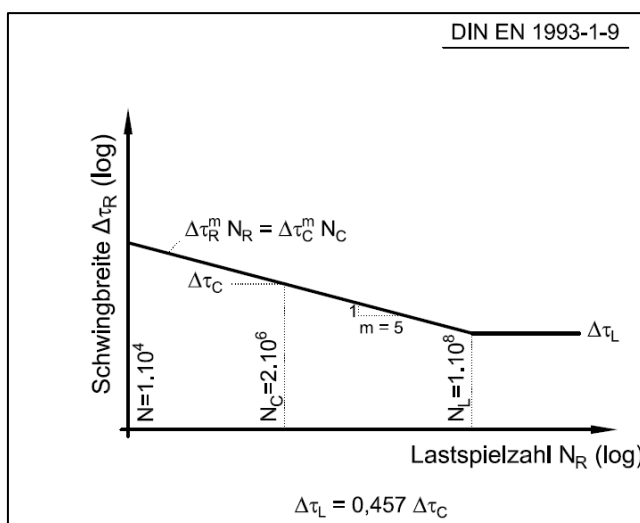


Bild 5.2: Ermüdungsfestigkeitskurve für Schubspannungsschwingbreiten

Zusätzlich ist wie bisher die grafische Darstellung der Ermüdungsfestigkeitskurve für Schubspannungen bei mehrstufiger Beanspruchung zweckmäßig, siehe Bild 5.2.

2. Dauerfestigkeitsgrenze

Die Berücksichtigung der Dauerfestigkeitsgrenze kann für das Ergebnis einer möglichst realistischen Bemessung sehr wichtig sein. Das lässt sich im Regelfall sowohl für Windenergieanlagen, Straßen- und Eisenbahnbrücken als auch für Krananlagen (zumindest bei normalem sowie leichtem Kranbetrieb) belegen.

Deshalb ist bei mehrstufiger Beanspruchung die eindeutige (auch formelmäßige) Darstellung des $\Delta\sigma_D$ - Wertes in der Ermüdungsfestigkeitskurve wichtig. Im Normentext muss dazu eindeutig erkennbar sein, dass bei $\max \Delta\sigma < \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}$ kein Ermüdungsschaden akkumuliert wird und damit der Ermüdungsnachweis für die gesamte Lebensdauer erbracht ist. Dabei ist für das widerstandsseitige Sicherheitselement γ_{Mf} (nach heutigem Kenntnisstand) der gleiche Wert wie für die Abminderung der Wöhlerkurve anzuwenden, d. h. die Ermüdungsfestigkeitskurve wird mit Dauerfestigkeitsgrenze gleichmäßig um γ_{Mf} gesenkt. Weiterhin sollte in der Norm erkennbar sein, dass der „rein rechnerische Schwellenwert“ $\Delta\sigma_L$ (der nur eine Näherung für die vorgeschlagene Schadensakkumulationshypothese ausdrückt) nichts mit dem „technischen Dauerfestigkeitswert“ $\Delta\sigma_D$ zu tun hat.

Zusätzlich wurde diskutiert, ob die Angabe einer zusätzlichen Ermüdungsfestigkeitskurve mit einer (detaillierteren) abfallenden Dauerfestigkeitsgrenze (z. B. Ermüdungsfestigkeitskurve „Miner-konsequent“ nach Bild 5.3) empfehlenswert ist. Dies würde allerdings eine nichtlineare Schadensakkumulations- bzw. Lebensdauerberechnung bedeuten und ist damit im Ergebnis – trotz des wirtschaftlichen Vorteils – nicht für eine allgemeingültige normative Regelung innerhalb des EC3-1-9 zu empfehlen.

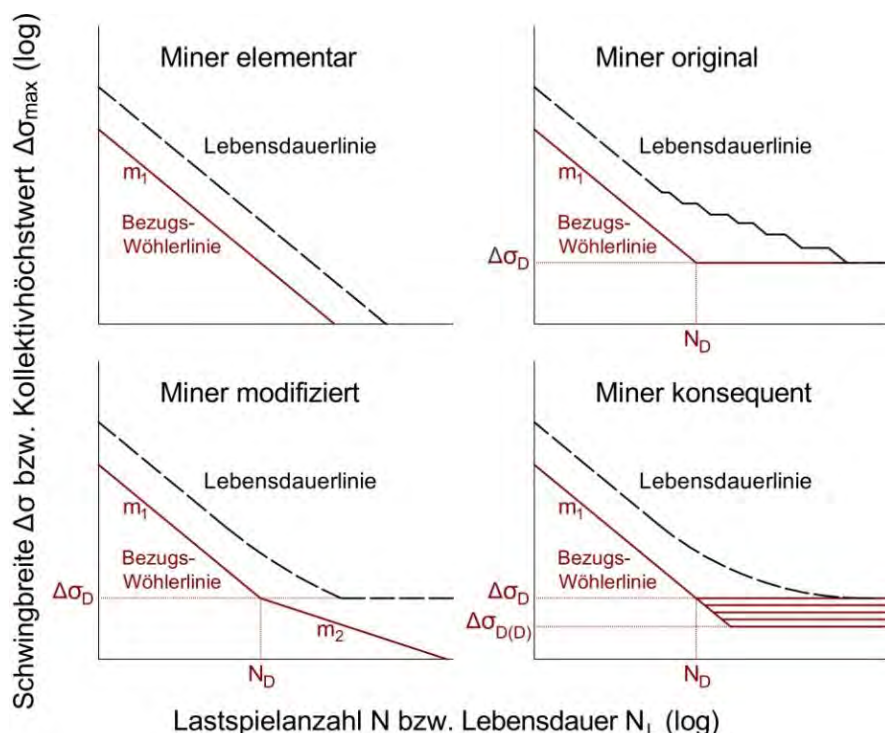


Bild 5.3: Varianten für Wöhler- und Lebensdauerlinien nach der elementaren, originalen, modifizierten und konsequenten Form der Miner-Regel, nach [Al Shamaa, 2013]

3. Unterschiedliche Konzepte der Schadenstoleranz und der Ermüdungssicherheit ohne Vorankündigung

Es wurde diskutiert, ob diese beiden unterschiedlichen Konzepte für die praktische Anwendung erforderlich sind und ob deswegen eine zusätzliche Quelle für Anwendungsfehler vorhanden ist. Das sollte nicht der Fall sein, wenn die beiden Begriffe „Konzept der Schadenstoleranz“ und „Konzept gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung“ im Kapitel 3 noch etwas eindeutiger beschrieben werden.

Das „Konzept der Schadenstoleranz“ stellt dabei den Regelfall dar und betrifft Konstruktionen

- mit Umlagerungsvermögen;
- die in der Lage sind, Rissentwicklungen zu hemmen;
- mit leichter Zugänglichkeit für regelmäßige Inspektionen.

Das „Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung“ hat seine Anwendung zur Dimensionierung über die gesamte Lebensdauer ohne zwischenzeitliche Inspektionen und ist damit eher die Ausnahme.

Die beiden Konzepte unterscheiden sich dadurch, dass am Ende der rechnerischen Nutzungsdauer unterschiedliche Zuverlässigkeitswerte (β -Werte) stehen. Für das „Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung“ ist als Maximalforderung mit $\beta = 3,8$ eine Zuverlässigkeit mindestens in gleicher Höhe wie für die Tragsicherheitsnachweise erforderlich, siehe folgender Abschnitt.

4. Widerstandsseitige Sicherheitselemente

Die Größe der widerstandsseitigen Sicherheitsbeiwerte für die beiden Nachweiskonzepte des EC3-1-9, die von $\gamma_{Mf} = 1,0$ bis $\gamma_{Mf} = 1,35$ (bzw. 1,25) variieren, wurden durch eigene probabilistische Berechnungen überprüft.

Bemessungskonzept	Schadensfolgen	
	niedrig	hoch
Schadenstoleranz	1,00	1,15
Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung	1,15	1,35

Als Zielsicherheiten dieser durchgeführten probabilistischen Vergleichsberechnungen wurden für „globales Versagen (ohne Vorankündigung) und hohe Schadensfolgen“ $\beta = 3,8$ und für „erkennbares Versagen und niedrige Schadensfolgen“ $\beta = 1,5$ und damit die Grenzwerte des Eurocode 0 für Werkstoffermüdung festgelegt. Im Ergebnis zeigt sich, dass sich die Größenordnung von γ_{Mf} (1,35 bzw. 1,0) für die jeweiligen beiden Grenzfälle belegen lässt. Die beiden dazwischen liegenden Werte (z. B. $\gamma_{Mf} = 1,15$ für erkennbares Versagen mit hohen Schadensfolgen) lassen sich logisch dazwischen einordnen.

Die normativen Regelungen des Maschinenbaus mit der minimalen Grenzschaadenssumme von bis zu 0,3 sowie auch maximalen Grenzschaadenssummen größer 1,0 (s. a. [Haibach, 2006]) lassen sich zumindest tendenziell mit den vorgenannten Sicherheitsfaktoren γ_{Mf} zwischen 1,0 und 1,35 vergleichen. Für genauere diesbezügliche Festlegungen unter mehrstufiger Beanspruchung fehlen für Stahlbau-Konstruktionen des Bauwesens derzeit allerdings Ergebnisse derartiger Ermüdungsversuche.

Beispiele zur Einschätzung des Einflusses der Schadensakkumulationshypothese (einschließlich der Dauerfestigkeitsgrenze) und der Höhe des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Mf}

Exemplarisch wurden mehrere Beispielberechnungen mit mehrstufiger Beanspruchung zur Einschätzung des Einflusses der Schadensakkumulationshypothese und des widerstandsseitigen Sicherheitsbeiwertes durchgeführt. Im Ergebnis zeigen sich die stark differierenden Schadenssummen, die sich vor allem aufgrund der angesetzten unterschiedlichen Schadensakkumulationshypothesen um den Faktor

- bis ca. 2 (für Beispiel a), Straßenbrücke – Langstreckenverkehr),
- 4 bis 7 (je nach Sicherheitsanforderung, für Beispiel b) Windenergieanlage onshore)

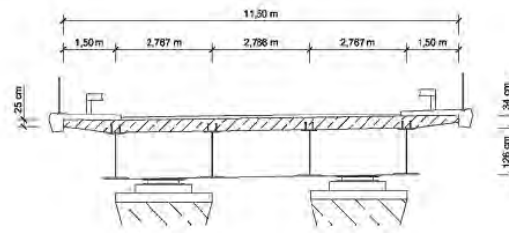
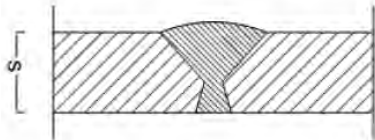
unterscheiden.

Weiterhin ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Definition des Sicherheitsniveaus ($\gamma_{Mf} = 1,0$ bis $1,25$) für die Straßenbrücke und die Windenergieanlage um den Faktor 2 bis 3 (je nach angewandter Hypothese) unterschiedliche Ergebnisse für die Schadenssumme.

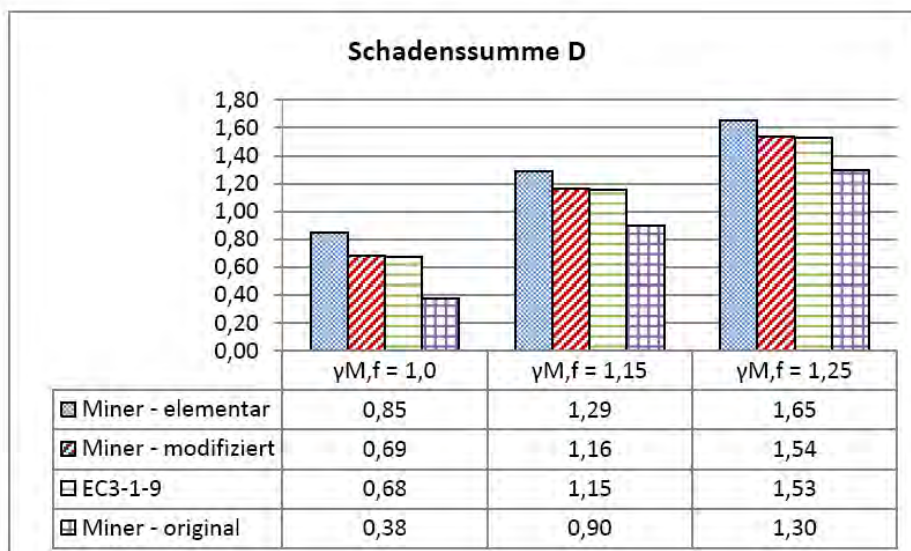
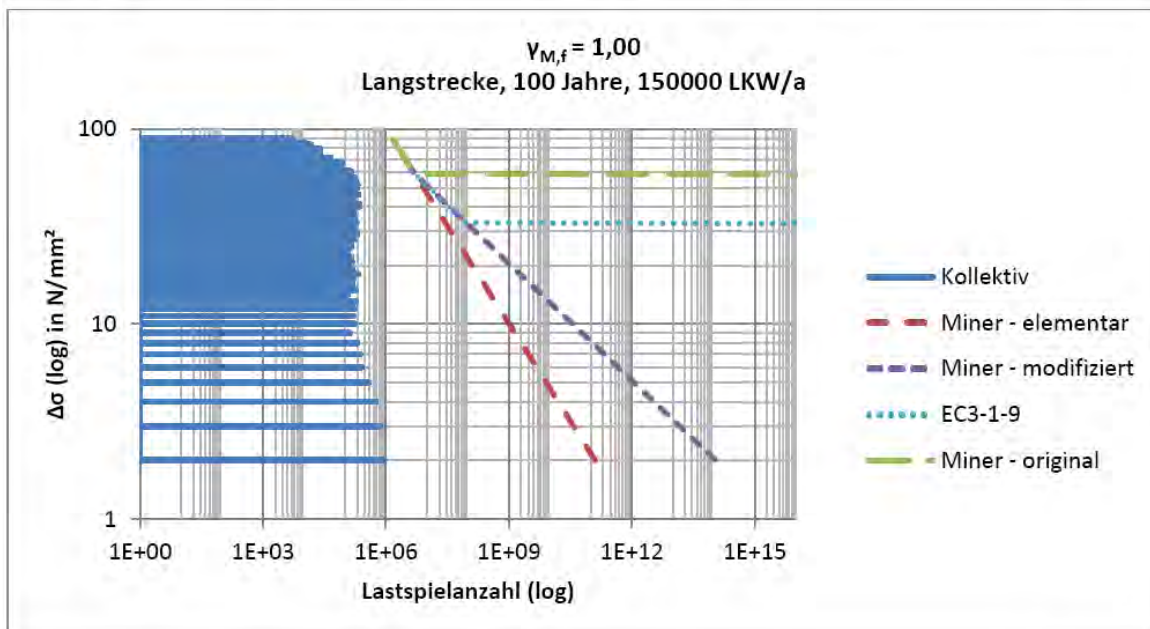
Für die beiden weiterhin angegebenen Beispiele (Straßenbrücke – Kurzstreckenverkehr sowie die Windenergieanlage offshore) zeigen sich mit dem Faktor von bis ca. 30 in der Schadenssumme für die unterschiedlichen Hypothesen noch viel gravierendere Unterschiede in den beispielhaften Ergebnissen, da die Beanspruchungskollektive oberhalb der Dauerfestigkeitsgrenze eine geringer ausgeprägte Häufigkeit als bspw. für die beiden erstgenannten Beispiele aufweist. Man kann eindrucksvoll vor allem den Einfluss der angewandten Schadensakkumulationshypothese für praktisch relevante Konstruktionen erkennen.

a) Straßenbrücke – Langstreckenverkehr

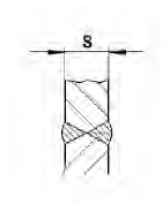
Zweifeldträger mit Stützweite 35m, Querschnitt ausgeführt als vierstegiger Plattenbalken, Kerbfall 90 an der Unterkante des Untergurts mit Stumpfstoß



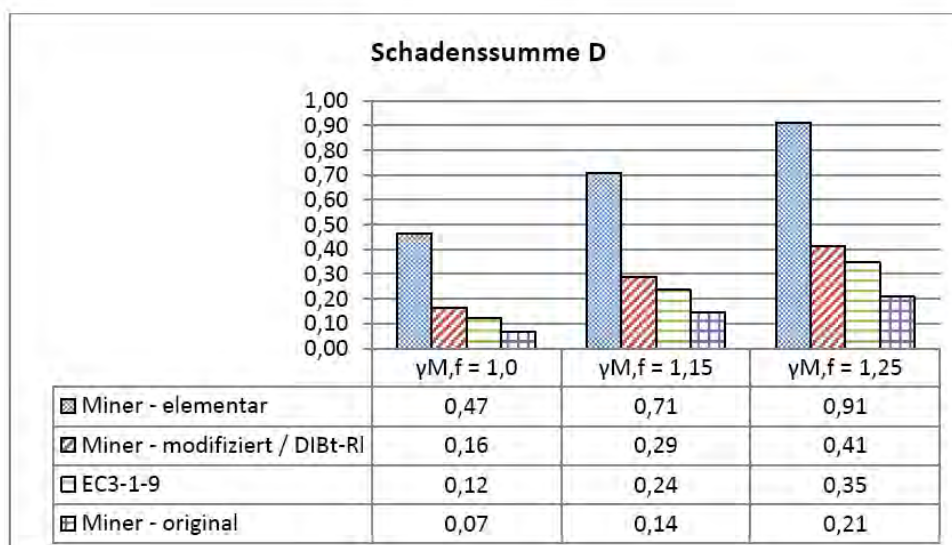
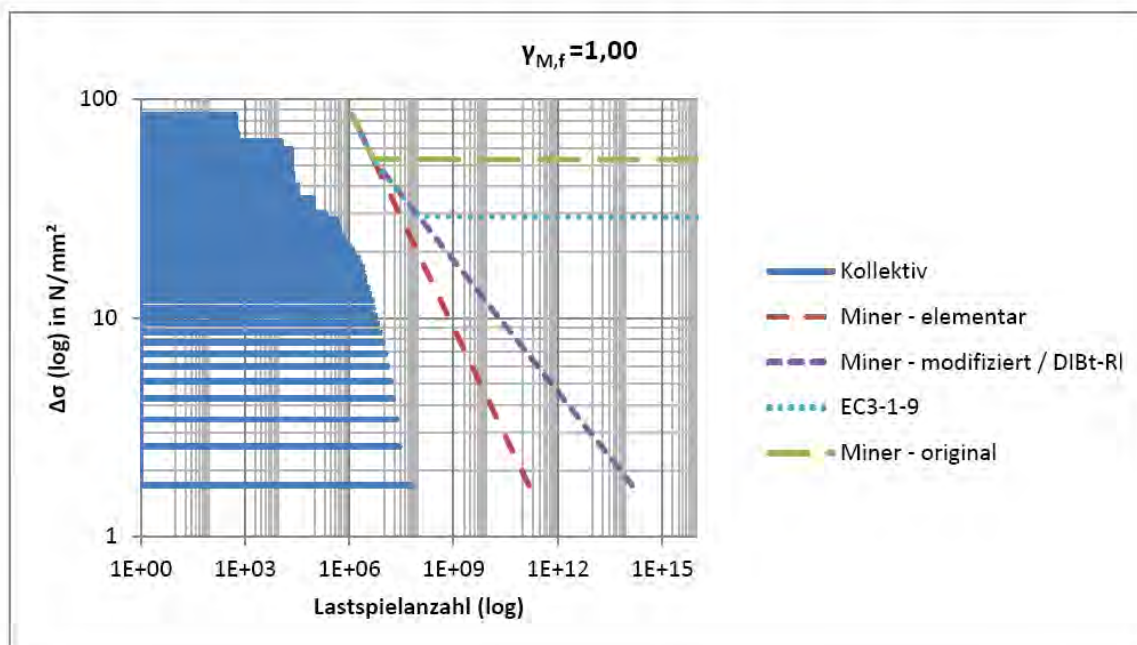
	Wandstärke s [mm]	W-Biegung [cm ³]	$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,00}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,15}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,25}$ [N/mm ²]
<i>Beispiel</i>	45	53102	80	59	51	47



b) Windenergieanlage onshore

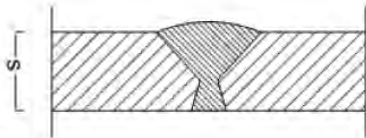
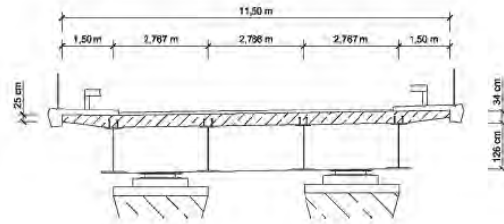


	Wandstärke	W-Biegung	$\Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,00}$	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,15}$	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,25}$
	s [mm]	[mm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
Querschnitt	42	5,92E+08	72	53	46	42

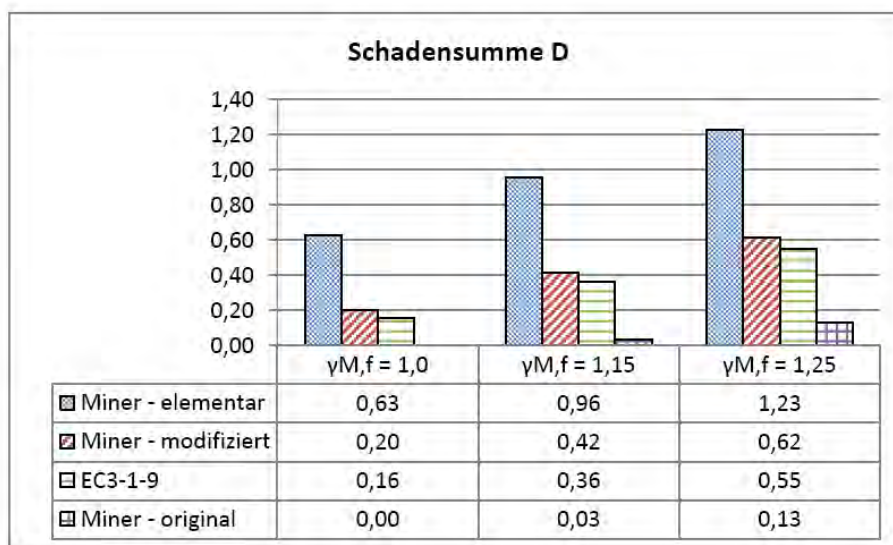
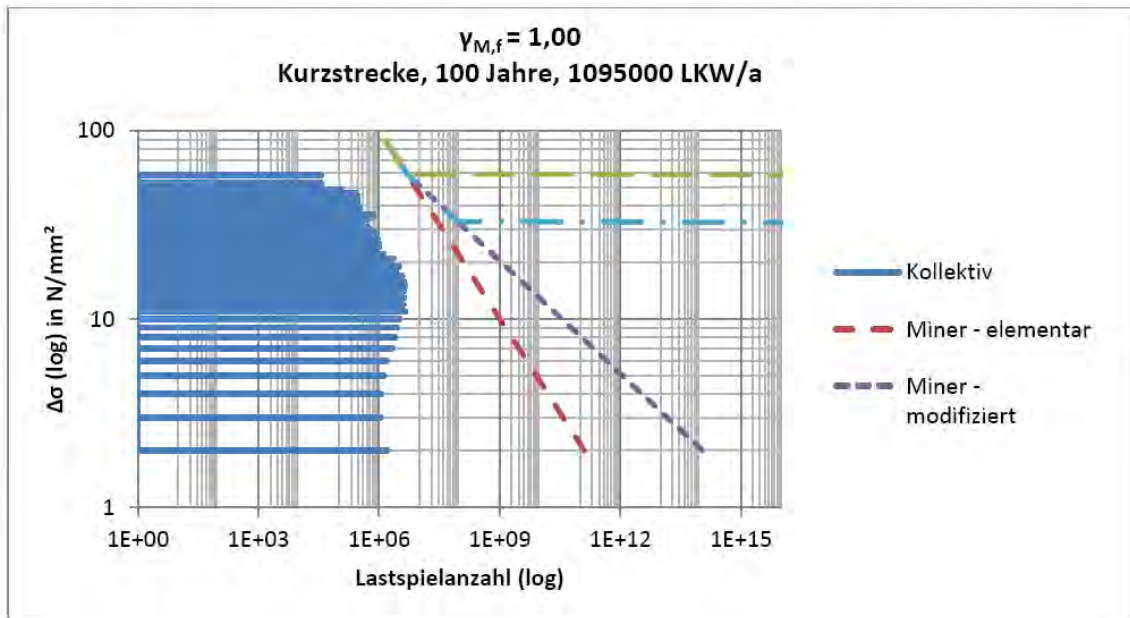


c) Straßenbrücke – Kurzstreckenverkehr

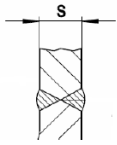
Zweifeldträger mit Stützweite 35m, Querschnitt ausgeführt als vierstegiger Plattenbalken. Kerbfall an der Unterkante des Untergurts mit Stumpfstoß → KF 90



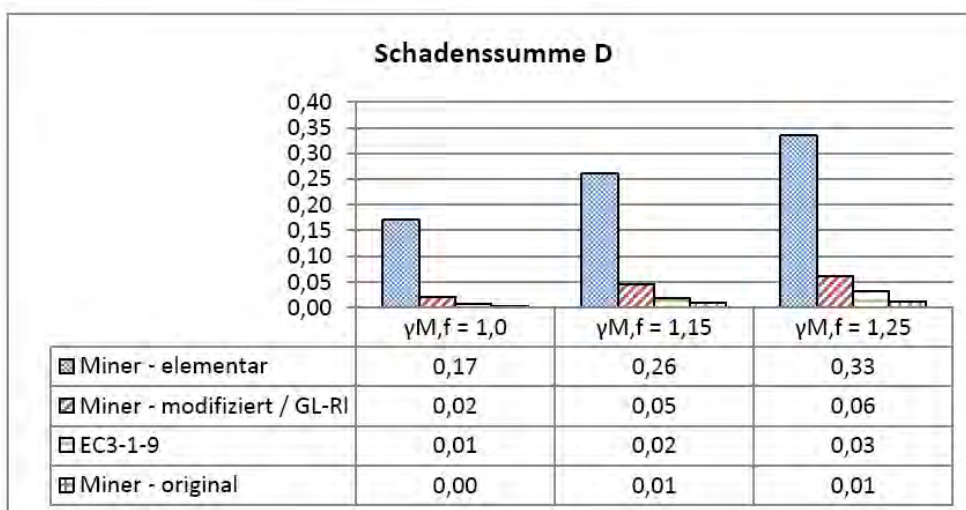
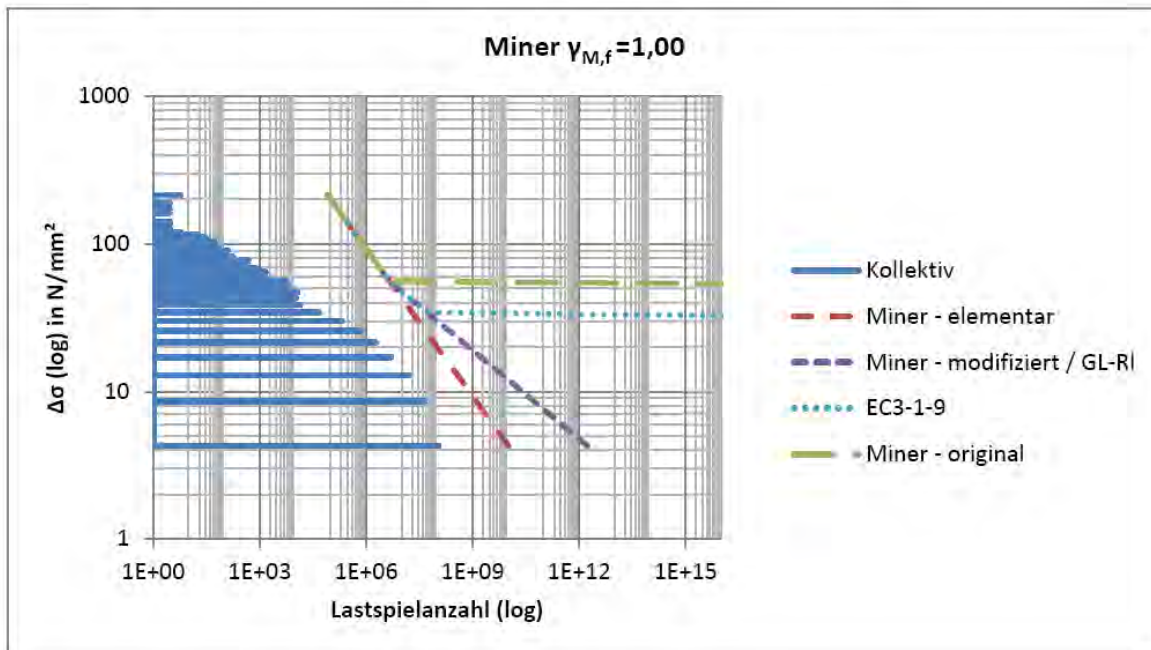
	Wandstärke s [mm]	W-Biegung [cm ³]	$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,00}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,15}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,25}$ [N/mm ²]
<i>Beispiel</i>	45	53102	80	59	51	47



d) Windenergieanlage offshore



	Wandstärke s [mm]	W-Biegung [m ³]	$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,00}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,15}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{D,\gamma=1,25}$ [N/mm ²]
Querschnitt	35	0,673	74	55	47	44



5. Anwendung des Strukturspannungskonzeptes

Die einzelnen vorhandenen Formulierungen des EC3-1-9 zum Strukturspannungskonzept sind zur sicheren allgemeinen Anwendung nicht ausreichend. Bei Belassung des Nachweiskonzeptes mit Strukturspannungen wäre eine deutliche Erweiterung des Teils 1-9 erforderlich. Beispielfhaft sind hierzu zu nennen: Regelungen zum Einsatz und der Anwendung von FE-Methoden wie Elementart, Netzgröße, Festlegung der Bemessungsknoten etc. zur Bestimmung der Strukturspannungen.

Deshalb wird vorgeschlagen, dass sämtliche inhaltliche Absätze zum Strukturspannungskonzept gestrichen werden sollten. Allerdings sollte in EC3-1-9, Kapitel 3 „Bemessungskonzepte“ ein Hinweis auf die Möglichkeit des Nachweises mit Strukturspannungsschwingbreiten erhalten bleiben, um für entsprechend versierte Ingenieure die Möglichkeit zur Anwendung des Konzeptes zu erhalten. Wie genau ein solcher Nachweis zu erfolgen hat, sollte aber im EC3-1-9 nicht näher ausgeführt werden. Hierzu ist auf das sehr umfassende und international anerkannte Dokument des International Institute of Welding [IIW, 2008] zu verweisen.

6 Heißbemessung – DIN EN 1993-1-2

(Autoren: Jörg Laumann, Christoph Hörenbaum, Thomas Ummenhofer)

6.1 Bestandsanalyse

6.1.1 Allgemeines

Die aktuellen Inhalte des Eurocode 3 Teil 1-2 (EC3-1-2) werden zum großen Teil grundsätzlich als praxistauglich bewertet. Die üblichen Bereiche des Stahlbaus werden abgedeckt. Es sind sowohl zur Handberechnung geeignete, vereinfachte Verfahren als auch sogenannte erweiterte Verfahren vorhanden, die jedoch in der Regel nur mit aufwändigen Finite-Elemente Methoden durchgeführt werden können. Die Handberechnungsverfahren auf Basis von Bauteiltragfähigkeiten sind an die Verfahren nach EC3-1-1 angelehnt und somit im Gesamtkontext der Eurocodes schlüssig.

Die folgenden Punkte müssen jedoch als verbesserungsbedürftig bewertet werden:

- Anwendungsferne und unübersichtliche Gliederung;
- Fehlen von Bauteilklassierungen / Tabellenanwendung;
- Zum Teil unübersichtliches Formelwerk;
- Nichtbehandlung der Kaltverfestigung nichtrostender Stähle kann zu nicht konservativen Bemessungsergebnissen führen;
- Die erweiterten Verfahren werden in der Norm lediglich abstrakt behandelt. Dies ist jedoch sinnvoll, da sie in absehbarer Zeit voraussichtlich ausschließlich von Experten und in Sonderfällen angewendet werden. Die bestehenden Regelungen sollen inhaltlich in der Norm verbleiben, sie müssen textlich jedoch gestrafft werden, gemäß Abschnitt 6.2.5.

Diese Schwachpunkte werden im Folgenden näher erläutert. Es wurden außerdem zahlreiche Widersprüche, uneinheitliche Bezeichnungen und fehlerhafte Übersetzungen aus dem Englischen festgestellt. Dies wird in der „Synopsis“ zum EC3-1-2 [Laumann et al, 2015c] detailliert dargestellt.

1.5.5.1: kritische Temperatur von Baustahl
[en: critical temperature of a structural steel element]

Fehlerhafte Übersetzung aus dem Englischen,
Vorschlag:
Kritische Temperatur eines Stahlbauteils

Bild 6.1: Auszug aus Synopsis – links Normtext, rechts Neuvorschlag (grün) mit Kommentar (rot)

6.1.2 Gliederung

Die aktuelle Gliederung von EC3-1-2 [R48] ist in Bild 6.2 skizziert. Die Gliederung teilt die Anwendungsverfahren nicht nur in Bruchstücke auf, sondern definiert diese in der umgekehrten Reihenfolge, in der sie anzuwenden sind. Zudem sind die Anwendungsvoraussetzungen für die Verfahren auf verschiedene Stellen in der Norm verteilt. Als Beispiel ist rechts in Bild 6.2 der Anwendungsweg für die Heißbemessung eines Zugstabes mit dem einfachen Bemessungsverfahren dargestellt. Man sieht, dass die aktuelle Gliederung für den Anwender unübersichtlich, fehleranfällig und aufwändig ist.

Zudem sind wesentliche Punkte zur Anwendung der Verfahren ohne eigene Abschnittüberschriften in der Norm „versteckt“ und können über das Inhaltsverzeichnis nicht aufgefunden werden. Als Beispiel sei hier das vereinfachte Verfahren für Anschlussnachweise genannt, das sich in den Absätzen (5) und (6) des Abschnitts 4.2.1 „Allgemeines“ befindet, siehe Bild 6.2.

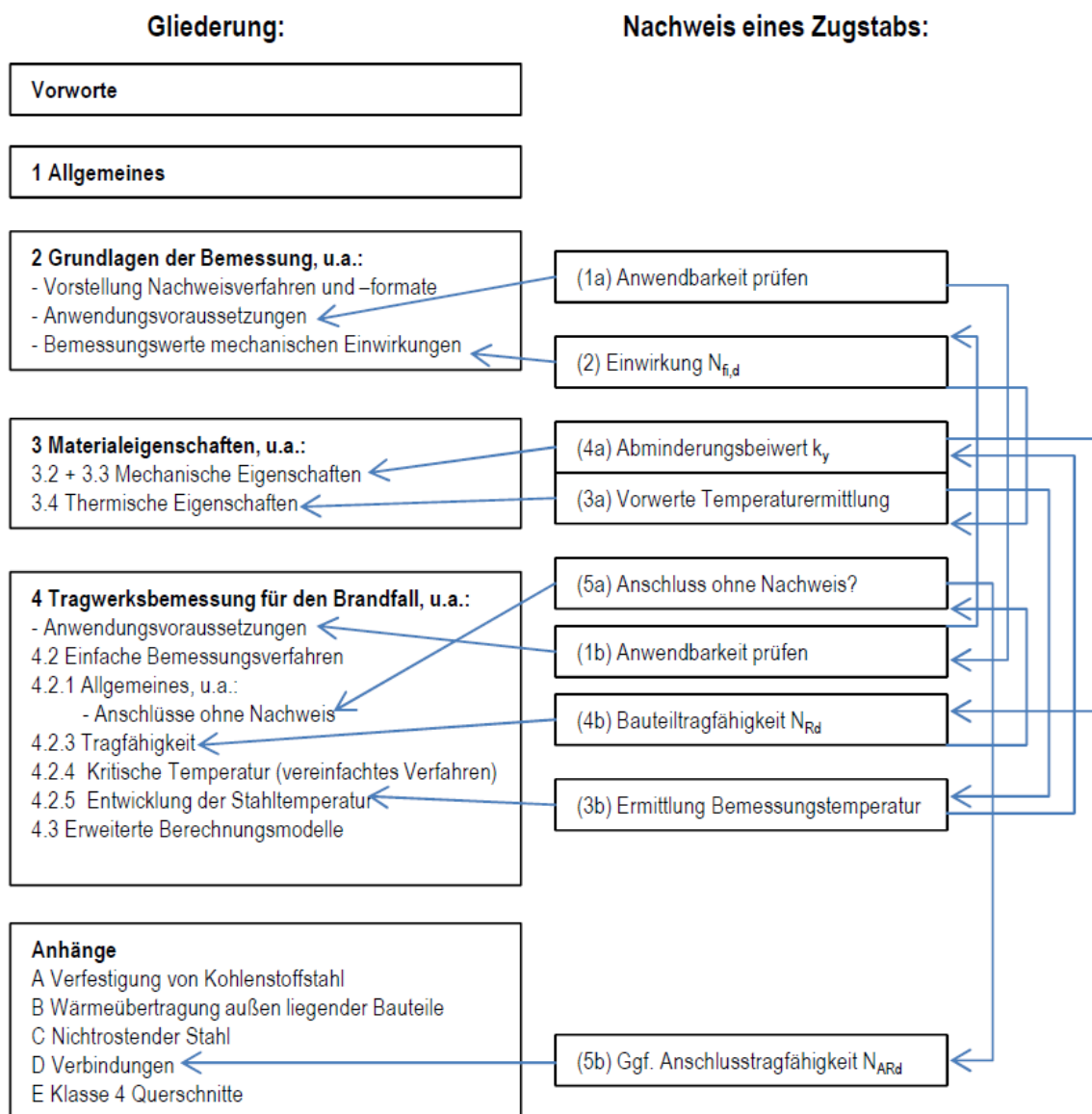


Bild 6.2: Gliederungsskizze von EC3-1-2 und Nachweisverfahren

6.1.3 Fehlen von Bauteilklassifizierungen / Tabellenanwendungen

Eine Klassifizierung von Bauteilen ist in EC3-1-2 nicht enthalten. Entsprechende Tabellen zum direkten Ablesen von Feuerwiderstandsdauern, wie zum Beispiel in DIN 4102-4 [R50], werden jedoch immer das einfachste und schnellste Anwendungsverfahren sein. Insbesondere im Geschossbau und bei Umbauten sind derartige Bauteilkataloge sinnvoll, wie Sie auch für den Massivbau üblich sind. Für den im Stahlbau nicht so intensiv tätigen Tragwerksplaner ist die Anwendung der zur Zeit in der Norm befindlichen Verfahren zu aufwändig.

6.1.4 Unübersichtliches Formelwerk

An den folgenden Stellen sind Formeln unübersichtlich im Absatzformat angegeben:

- Abschnitt 3.4.1.1 (thermische Dehnung)

- Abschnitt 3.4.1.2 (spezifische Wärmekapazität)
- Abschnitt 3.4.1.3 (Wärmeleitfähigkeit)

In den Abschnitten 4.2.3.3, 4.2.3.4 und 4.2.3.5 werden außerdem Formeln für die Stabilitätsnachweise für unterschiedliche Querschnittsklassen mit geringsten Unterschieden wiederholt. Dadurch wird die Norm unnötig umfangreich.

6.1.5 Kaltverfestigung nichtrostender Stähle

Bezüglich der Festigkeiten nichtrostender Stähle definiert EC3-1-2 in Anhang C Abminderungsbeiwerte für verschiedene Werkstoffnummern, also für verschiedene Legierungen. Diese sind auf die Ausgangsfestigkeiten des Werkstoffs bei Normaltemperatur zu beziehen. Auf das Thema der Kaltverfestigung geht EC3-1-2 nicht ein.

Rein formal ist es nach EC3-1-2 also beispielsweise erlaubt, dass bei einem kaltverfestigten Stahl Nr. 1.4301 die Streckgrenze im Brandfall auf der Festigkeitsklasse S690 basierend ermittelt wird, und zwar im gesamten Temperaturspektrum bis 1200°C. Der Erhalt der Kaltverfestigung ist jedoch temperaturabhängig, so dass im genannten Beispiel zumindest im oberen Temperaturspektrum eine Überschätzung der Festigkeit von

$$\frac{f_{y,k,verfestigt}}{f_{y,k,unverfestigt}} = \frac{690}{190} = 360\%$$

stattfindet. Dies führt zu nicht konservativen Bemessungsergebnissen. Hier ist direkter Klärungsbedarf vorhanden.

6.1.6 Regelungen zu erweiterten Verfahren

Die erweiterten Verfahren werden lediglich abstrakt behandelt; dies ist jedoch sinnvoll, da sie in absehbarer Zeit voraussichtlich ausschließlich von Experten und in Sonderfällen angewendet werden. Die bestehenden Regelungen sollen inhaltlich dennoch vollständig in der Norm verbleiben, sie müssen textlich jedoch gestrafft werden.

6.2 Lösungsvorschläge

6.2.1 Vorschlag für verbesserte Gliederung

Als Lösung wird eine verbesserte Gliederung vorgeschlagen, siehe Bild 6.2. Sie orientiert sich an den Anwendungsverfahren und vereint jedes der grundlegenden Verfahren in einem eigenständigen Abschnitt. Zusätzlich wird als einfachste Möglichkeit der Nachweis über die Klassifizierung mit Bauteiltabellen vorgeschlagen. Für die Reihenfolge der Verfahren gilt, dass die einfachen Bemessungsmethoden den aufwändigeren vorangestellt werden, um die Anwendung zu erleichtern. Hieraus ergibt sich die folgende Einteilung der Verfahren:

- Klassifizierung mit Bauteiltabellen
- Bemessung auf Tragfähigkeitsbasis
- Bemessung auf Temperaturbasis
- erweiterten Bemessungsverfahren

Es wird vorgeschlagen, den Anhang D (Anschlussbemessung) direkt in den Normtext aufzunehmen, da die Anschlüsse in fast jedem Fall eine besondere Bedeutung für die Tragfähigkeit der Bauteile und Gebäude aufweisen. Die übrigen Anhänge verbleiben entweder aufgrund ih-

res Umfangs oder ihrer eher geringen Praxisrelevanz als Anhang. Im Vergleich zur aktuellen Gliederung würden keine Inhalte durch die Neugliederung entfallen. Die Anwendung wird jedoch deutlich übersichtlicher. Nachfolgend ist der neue Gliederungsvorschlag dargestellt, wobei die Darstellung aus Platzgründen auf zwei Gliederungsebenen beschränkt wird.

Neuvorschlag:

Inhalt

Vorworte, Hintergründe etc.

- 1 Allgemeines**
- 2 Grundlagen der Bemessung**
 - 2.1 Anforderungen
 - 2.2 Einwirkungen
 - 2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften
 - 2.4 Nachweisverfahren
- 3 Materialeigenschaften**
 - 3.1 Allgemeines
 - 3.2 Mechanische Werkstoffeigenschaften von Kohlenstoffstahl
 - 3.3 Mechanische Werkstoffeigenschaften von nichtrostendem Stahl
 - 3.4 Thermische Werkstoffeigenschaften
- 4 Bauteilklassifizierung mit Tabellen**
- 5 Bauteil- und Anschlussbemessung auf Tragfähigkeitsbasis**
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.2 Entwicklung der Stahltemperatur
 - 5.3 Grenzzustand der Bauteiltragfähigkeit im Brandfall
 - 5.4 Grenzzustand der Anschlusstragfähigkeit im Brandfall
- 6 Bauteilbemessung auf Temperaturbasis**
 - 6.1 Allgemeines
 - 6.2 Kritische Temperatur
- 7 Erweiterte Bemessungsverfahren**
 - 7.1 Allgemeines
 - 7.2 Thermisches Verhalten
 - 7.3 Tragverhalten
 - 7.4 Besonderheiten beim Tragverhalten von Teiltragwerken
 - 7.5 Überprüfung erweiterter Berechnungsmodelle
- Anh. A Verfestigung von Kohlenstoffstahl unter erhöhter Temperatur**
- Anh. B Wärmeübertragung auf außen liegende Stahlbauteile**
- Anh. C Nichtrostender Stahl**
- Anh. D Klasse 4 Querschnitte**

6.2.2 Ergänzen von Tabellen für Bauteilklassifizierungen

Um für einfache Anwendungsfälle eine schnelle und sichere Bemessung zu ermöglichen, ohne größere rechnerische Nachweise durchzuführen, wird vorgeschlagen, nach dem Vorbild von DIN 4102-4 Tabellen für die folgenden Bauteiltypen in EC3-1-2 aufzunehmen:

- Mit Putz bekleidete Stahlträger ohne Ausmauerung: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von Art und Dicke der Putzbekleidung.
- Mit Putz bekleidete Stahlträger mit Ausmauerung: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von Art und Dicke der Ausmauerung.
- Mit Feuerschutzplatten bekleidete Stahlträger: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Bekleidungsdicke.
- Mit Beton, Mauerwerk oder Gipsplatten bekleidete Stahlstützen: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von Art und Dicke der Bekleidung.
- Mit Putz bekleidete Stahlstützen: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von Art und Dicke der Putzbekleidung.
- Mit Feuerschutzplatten bekleidete Stahlstützen: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Bekleidungsdicke.
- Stahlträgerdecken mit hängenden Drahtputzunterdecken: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Putzdicke
- Stahlträgerdecken mit Unterdecken aus Holzwolle-Leichtbauplatten mit und ohne Putz: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Platten- und Putzdicke
- Stahlträgerdecken mit Unterdecken aus Gipskarton-Putzträgerplatten mit Putz: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Putzdicke
- Stahlträgerdecken mit Unterdecken aus Gipskarton-Feuerschutzplatten: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Plattendicke
- Stahlträgerdecken mit Unterdecken aus Gipsdeckenplatten: Feuerwiderstandsklasse in Abhängigkeit von der Plattendicke

In Bild 6.3 und Bild 6.4 sind exemplarisch Auszüge der Bauteilbemessung in Tabellenform angegeben. Zur Aufnahme der Tabellen in EC3-1-2 sind die erforderlichen Bekleidungsstärken mit den Rechenverfahren aus EC3-1-2 zu verifizieren und ggf. anzupassen. Diesbezüglich wird erwartet, dass die Ergebnisse nach EC3-1-2 mit denen aus DIN 4102-4 gut übereinstimmen werden.

Tabelle 92: Mindestbekleidungsstärke d in mm von Stahlträgern mit $U/A \leq 300 \text{ mm}^{-1}$ mit einer Bekleidung aus Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF) nach DIN 18 180 mit geschlossener Fläche

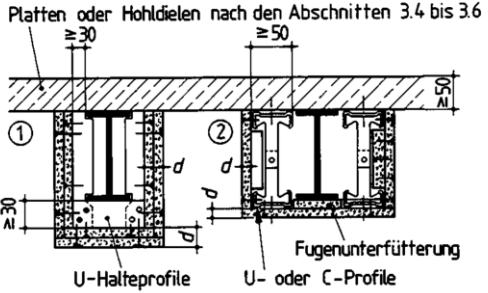
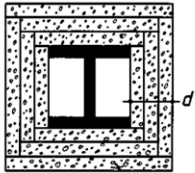
	Feuerwiderstandsklasse-Benennung			
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A
	12,5	12,5 + 9,5	2 × 15	2 × 15 + 9,5 ¹⁾
¹⁾ Die raumseitige, 9,5 mm dicke Bekleidungsschale darf auch aus Gipskarton-Bauplatten (GKB) nach DIN 18 180 bestehen.				

Bild 6.3: Vorschlag für eine einfache Bemessung über Bauteiltabellen (Tab. 92 der DIN 4102-4)

Tabelle 95: Mindestbekleidungsstärke d in mm von Stahlstützen mit $U/A \leq 300 \text{ mm}^{-1}$ mit einer Bekleidung aus Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF) nach DIN 18 180 mit geschlossener Fläche

Konstruktionsmerkmale	Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
		F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A
12,5 ¹⁾		12,5 + 9,5	3 × 15	4 × 15	5 × 15

¹⁾ Ersetzbar durch ≥ 18 mm dicke Gipskarton-Bauplatten (GKB) nach DIN 18 180.

Bild 6.4: Vorschlag für eine einfache Bemessung über Bauteiltabellen (Tab. 95 der DIN 4102-4)

Die in Abschnitt 6.2.1 vorgeschlagene, verbesserte Gliederung beinhaltet bereits einen eigenen Abschnitt für diese Bauteilklassifizierung. Aufgrund der Anzahl und des Umfangs der oben angeführten Tabellen wird eine Auslagerung der Tabellen in einen Anhang oder den nationalen Anhang empfohlen.

6.2.3 Straffung des Formelwerks

Als Verbesserung für die Formeln in Absatzformat in Abschnitt 3.4.1. werden die drei folgenden Tabellen vorgeschlagen. Der Tabelleninhalt ist identisch mit den alten Formeln, die Darstellung wird jedoch übersichtlicher, die Anwendung dadurch erleichtert und der Seitenumfang reduziert.

Tabelle 3.2 : Thermische Dehnung von Stahl Δ / l

Temperatur θ_a [°C]	Δ / l
$20 \leq \theta_a < 750$	$1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}$
$750 \leq \theta_a \leq 860$	$1,1 \times 10^{-2}$
$860 < \theta_a \leq 1200$	$2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}$

Tabelle 3.3: Spezifische Wärmekapazität von Stahl ca [J/kgK]

Temperatur θ_a [°C]	c_a [J/kgK]
$20 \leq \theta_a < 600$	$425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3$
$600 \leq \theta_a \leq 735$	$666 + \frac{13002}{738 - \theta_a}$
$735 < \theta_a \leq 900$	$545 + \frac{17820}{\theta_a - 731}$
$900 \leq \theta_a \leq 1200$	650

Tabelle 3.4: Wärmeleitfähigkeit von Stahl λ_a [W/mK]

Temperatur θ_a [°C]	λ_a [W/mK]
$20 \leq \theta_a < 800$	$54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a$
$800 \leq \theta_a \leq 1200$	27,3

Zur Straffung des Formelwerks für die Querschnitts- und Stabilitätsnachweise wird vorgeschlagen, in Abschnitt 4.2.3.3 eine Tabelle einzuführen, siehe nachfolgend Tabelle 3.5. Sie schreibt vor, welche Querschnittsgrößen für die unterschiedlichen Querschnittsklassen bei den Nachweisgleichungen zu verwenden sind. Die gleiche Tabelle wird auch zum EC3-1-1 vorgeschlagen.

Tabelle 3.5: Querschnittswerte für Querschnitte der Klassen 1 bis Klasse 4 als neue Tab. 4.1

Klasse	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
$W_{i,y}$	$W_{\text{pl},y}$	$W_{\text{pl},y}$	$W_{\text{el},y}$	$W_{\text{eff},y}$
$W_{i,z}$	$W_{\text{pl},z}$	$W_{\text{pl},z}$	$W_{\text{el},z}$	$W_{\text{eff},z}$

Dadurch können die beiden Abschnitte 4.2.3 und 4.2.4 zusammengefasst werden; die Anzahl der Formeln halbiert sich. Beim Stabilitätsnachweis in Abschnitt 4.2.3.5 können die vier Gleichungen (4.21a) bis (4.21d) auf lediglich zwei Gleichungen zurückgeführt werden:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min,fi} A_i k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{i,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{i,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21a \text{ neu})$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A_i k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{i,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{i,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21b \text{ neu})$$

6.2.4 Kaltverfestigung nichtrostender Stähle

Es wird vorgeschlagen, dass die temperaturabhängigen Abminderungsbeiwerte für die Festigkeiten nach EC3-1-2, Anhang C.2.1 immer auf die Ausgangswerte des unverfestigten Werkstoffs bei Normaltemperatur zu beziehen sind. Diese Einschränkung sollte in Abschnitt C.1 *Allgemeines* gemacht werden.

6.2.5 Textstraffung zur Thematik „Erweiterte Verfahren“

Die bestehenden Inhalte zu den erweiterten Verfahren werden (gemäß der verbesserten Gliederung nach Abschnitt 6.2.1) in einem separaten Kapitel 7 zusammengefasst und so weit wie möglich gestrafft.

Vorschlag für neues Kapitel 7: Erweiterte Bemessungsverfahren

7.1 Allgemeines

(1) Bei den erweiterten Verfahren zur Heißbemessung ist in der Regel nachzuweisen, dass ein Gesamttragwerk oder ein Teiltragwerk einen definierten Bemessungsbrand einschließlich der Abkühlphase ohne Verlust der Tragfähigkeit übersteht. Positive Effekte wie individuell an jeder Stelle des Tragwerks und zu jedem Zeitpunkt des Brandverlaufs ermittelte Bauteiltemperaturen sowie Lastumlagerungsmechanismen dürfen prinzipiell berücksichtigt werden. Wechselwirkungen zwischen den Bauteilen und ggf. den Tragwerksteilen wie Verformungen und Zwängungen müssen erfasst werden. Der Tragfähigkeitsnachweis muss alle Bauteile und Anschlüsse des Gesamttragwerks oder des betrachteten Teiltragwerks einschließen.

(2) Für die erweiterten Verfahren existieren keine geschlossenen Formel- oder Software-Lösungen. Vielmehr werden das thermische und das mechanische Verhalten des Gesamt- oder Teiltragwerks über den zeitlichen Verlauf des Brandes mit geeigneten Werkzeugen simuliert. In der Regel werden thermisches und mechanisches Verhalten in separaten Modellen untersucht. Aus diesem Grund erfordert die Anwendung der erweiterten Berechnungsverfahren Expertenwissen, und Ergebnisse erweiterter Berechnungsmodelle sind zu überprüfen.

(3) Die erweiterten Berechnungsmodelle müssen die maßgebende Versagensart bei Brandbeanspruchung, die temperaturabhängigen Materialeigenschaften und Bauteilsteifigkeiten sowie die Auswirkungen von Temperaturdehnungen und -verformungen (indirekte Brandeinwirkungen) bei der Berechnung berücksichtigen.

(4) Erweiterte Berechnungsmodelle müssen realistisch sein und auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten basieren.

(5) Unter der Voraussetzung, dass die Materialeigenschaften im maßgebenden Temperaturbereich bekannt sind, dürfen erweiterte Berechnungsmodelle in Verbindung mit allen Brandkurven nach DIN EN 1991-1-2 verwendet werden.

(6) Erweiterte Berechnungsmodelle dürfen auf jeden Querschnittstyp angewendet werden.

ANMERKUNG Die Entscheidung über die Verwendung erweiterter Berechnungsverfahren in einem Land kann im Nationalen Anhang getroffen werden.

7.2 Thermisches Verhalten

(1) Erweiterte thermische Verhaltensmodelle müssen auf anerkannten Grundlagen und Annahmen nach der Theorie der Wärmeübertragung beruhen, beispielsweise nach Kapitel Abschnitt 3.4.

(2) Die Einflüsse ungleichmäßiger Temperatureinwirkung und der Wärmetransport in angrenzende Bauteile dürfen ggf. berücksichtigt werden.

7.3 Tragverhalten

(1) Erweiterte mechanische Verhaltensmodelle müssen auf anerkannten Grundlagen und Annahmen der technischen Mechanik unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften beruhen, beispielsweise nach Abschnitt 3.3.

2) Der Einfluss von Zwängungen und Spannungen infolge von Erwärmung und Temperaturgradienten muss berücksichtigt werden.

(3) Das mechanische Berechnungsmodell muss zusätzlich erfassen:

den kombinierten Einfluss von mechanischen und thermischen Einwirkungen sowie geometrischen Imperfektionen;

die Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften nach Abschnitt 3;

Einflüsse aus geometrischen Nichtlinearitäten;

Einflüsse aus der Nichtlinearität des Werkstoffverhaltens, einschließlich ungünstiger Auswirkung von Be- und Entlastung auf die Tragwerkssteifigkeit.

(4) Unter der Voraussetzung, dass die Spannungs-Dehnungsbeziehungen nach Abschnitt 3.3 verwendet werden, kann das thermische Kriechen vernachlässigt werden.

(5) Die im Grenzzustand der Tragfähigkeit entstehenden Verformungen sollten begrenzt werden, um das Zusammenwirken aller Teile des Tragwerks sicherzustellen.

(6) Als Grenzzustand muss auch Versagen durch Verlust der Auflagerung einzelner Bauteile infolge zu großer rechnerischer Verformungen berücksichtigt werden.

(7) Falls in entsprechenden Produktnormen nicht anders geregelt, ist bei freistehenden vertikalen Bauteilen eine sinusförmige Anfangsimperfektion mit einer maximalen Größe von $h/1000$ in Bauteilmitte angesetzt werden.

(8) Alle möglichen Versagensarten, die durch das erweiterte Berechnungsverfahren nicht erfasst werden (einschließlich lokalem Beulen und Schubversagen), müssen durch entsprechende Maßnahmen ausgeschlossen werden.

(9) Versagen von Anschlüssen und Auflagern ist zu berücksichtigen. Dies gilt ausdrücklich auch für die Abkühlphase, bei der in Stahlbauten große Zwängungskräfte auftreten können.

7.4 Besonderheiten beim Tragverhalten von Teiltragwerken

(1) Es gilt Abschnitt 7.3.

(2) Alternativ zur Durchführung einer Gesamttragwerksberechnung für den Brandfall zum Zeitpunkt $t = 0$ dürfen die Schnittgrößen an den Auflagern und Rändern des Teiltragwerks aus der Berechnung bei Normaltemperatur nach Abschnitt 2.4.2 ermittelt werden.

(3) Das zu untersuchende Teiltragwerk muss unter Berücksichtigung der möglichen Temperaturdehnungen und -verformungen in der Weise festgelegt werden, dass die Wechselwirkungen mit anderen Teilen des Gesamttragwerks näherungsweise durch zeitunabhängige Lagerungs- und Randbedingungen während der Brandbeanspruchung beschrieben werden können.

(4) Die Lagerungsbedingungen sowie Schnittgrößen an den Rändern des Teiltragwerkes dürfen im Brandfall als unveränderlich angesehen werden.

7.5 Überprüfung erweiterter Berechnungsmodelle

(1) Erweiterte Berechnungsmodelle sollten anhand entsprechender Versuchsergebnisse auf ihre Genauigkeit untersucht werden.

(2) Berechnungsergebnisse können sich auf Temperaturen, Verformungen und Feuerwiderstandsdauern beziehen.

(3) Um sicherzustellen, dass das Modell die grundsätzlichen Anforderungen erfüllt, sind die Werte der kritischen Parameter durch in der Regel Sensitivitätsanalysen zu überprüfen.

(4) Kritische Parameter können z. B. Knicklängen, Abmessungen und Lastniveaus sein.

6.2.6 Diverses

Die Verbesserungsvorschläge für die diversen kleinen Schwachstellen sind im Dokument [Laumann et al, 2015c] (Synopsis zum EC3-1-2) detailliert aufgeführt.

7 Kranbahnen – DIN EN 1993-6

(Autoren: Jörg Laumann, Peter Lieberwirth)

7.1 Bestandsanalyse

7.1.1 Vorgängernormen für Kranbahnen

Die „Berechnungsgrundlagen für Stahlbauteile von Kranen und Kranbahnen“ wurden in Deutschland erstmals im Jahr 1936 in der DIN 120 genormt. Die erste Norm galt sowohl für den maschinenbaulichen Bereich als auch für die zum Bauwesen gehörenden Krane. In den 1970er-Jahren folgte eine Überarbeitung. Als erste eigenständige Norm für Kranbahnen wurde in Deutschland im Jahr 1981 die DIN 4132 „Kranbahnen. Stahltragwerke“ [R45] eingeführt, mit Erläuterungen im zugehörigem Beiblatt 1. Die Norm basierte auf dem „alten“ Sicherheitskonzept mit globalen Sicherheitsbeiwerten (σ_{zul} -Konzept), siehe [Seeßelberg, 2014a].

Das semiprobabilistische Sicherheitskonzept wurde für Kranbahnen mit der Anpassungsrichtlinie Stahlbau im Jahr 1995 eingeführt. Die Bestimmungen der Anpassungsrichtlinie überschrieben einzelne Abschnitte der DIN 4132. Seit 2012 hat der Eurocode 3 Teil 6 (EC3-6) die nationalen Vorgängernormen ersetzt. Einwirkungen infolge von Kranen sind in Eurocode 1 Teil 3 (EC1-3) geregelt.

7.1.2 Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-6, Kapitel 0 bis 5)

(Autor: Jörg Laumann)

Die Kapitel 0 bis 4 (Allgemeines; Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung, Werkstoffe und Dauerhaftigkeit) sind in Ihrer jetzigen Fassung sehr umfangreich und mit Dopplungen aus anderen Normenteilen versehen. Der Normtext kann hier durchaus gestrafft werden. In Kapitel 5 „Tragwerksberechnung“ zeigen sich bei der Anwendung einige Unklarheiten und daraus resultierend Schwierigkeiten. Einige Nachweismethoden sind schwierig nachvollziehbar. Ein weiterer Nachteil des EC3-6 besteht darin, dass es für den Anwender nur schwer erkennbar ist, welche Zusatzbeanspruchungen, wie lokale Radlasteinleitungen, Lastausmitten und Nachweise, für den jeweiligen Anwendungsfall erforderlich werden. Dies wird für den Anwender erst klar, wenn die gesamte Norm durchgearbeitet worden ist.

Zu den Unklarheiten für den Anwender gehört, dass der Ansatz der vertikalen Radlasten in EC1-3 anders geregelt ist als in EC3-6. Gemäß EC1-3 Absatz 2.5.2.1(2) sind sämtliche vertikalen Radlasten Q_r mit einer Ausmitte $e = 0,25 b_r$ anzusetzen (b_r = Schienenkopfbreite). Gemäß EN1993-6 ist dies nur für die Betriebsfestigkeitsnachweise erforderlich. Hier sollte eine Konsistenz zwischen beiden Normenteilen erreicht werden. Überfrachtungen, Wiederholungen und teilweise unklare Formulierungen zeigen sich insbesondere in den Kapiteln 0 bis 4. Es werden einzelne Textabschnitte aus anderen Normen zitiert, wie beispielsweise in Abschnitt 3.2.4. die Eigenschaften in Dickenrichtung mit Tabellen etc., die ausführlich in EC3-1-1 enthalten sind, siehe Bild 7.1.

Des Weiteren ist die teilweise extrem kleinteilige Gliederung eher unübersichtlich. Für die Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit wird empfohlen, dies zu reduzieren. Des Weiteren finden sich Angaben zur Dauerhaftigkeit sowohl in Abschnitt 2.1.3.3 als auch im separaten Kapitel 4 „Dauerhaftigkeit“. Hier sollten die erforderlichen Informationen zusammengefasst werden und sich in einem Abschnitt befinden.

3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung

(1) Siehe EN 1993-1-1, 3.2.4(1).

ANMERKUNG 1 – Besondere Beachtung sollte geschweißten Träger-Stützen-Verbindungen sowie angeschweißten Kopfplatten mit Zugspannung in Dickenrichtung geschenkt werden.

ANMERKUNG 2 – Der Nationale Anhang darf die maßgebende Zuordnung der Sollwerte Z_{Ed} nach EN 1993-1-10, 3.2(3) zu den Qualitätsklassen der EN 10164 angeben. Für Kranbahnen wird eine Zuordnung nach Tabelle 3.2 empfohlen.

~~Tabelle 3.2 — Stahlgütewahl nach EN 10164~~

Sollwert Z_{Ed} nach EN 1993-1-10	Sollwert Z_{Ed} nach EN 10164
≤ 10	Z 15
11 bis 20	Z 25
21 bis 30	Z 35
> 30	Z 35

Straffung der Gliederung
 3.1.2

Anmerkungen 1 und 2 sowie Tabelle 3.2 können entfallen, da bereits in EN 1993-1-1 3.2.4 enthalten.

Bild 7.1: Synopsis – Normtext mit Textdopplungen (durchgestrichen) und Erläuterungen (rot)

In Kapitel 5 ergeben sich die gleichen Schwächen, jedoch kommen hier hinsichtlich der erforderlichen und möglichen Nachweismethoden sehr aufwändige und missverständliche Formulierungen hinzu. So ist z. B. an keiner Stelle der Norm zusammenhängend und klar erkennbar, welche Spannungsanteile gleichzeitig im Vergleichsspannungsnachweis zu berücksichtigten sind. Es wird in Abschnitt 5.4.2 lediglich auf DIN-EN1993-1-1 verwiesen. Hier wären zur Klärung sicherlich ein Bild und eine Angabe der Spannungsanteile sinnvoll. Des Weiteren wird gemäß Abschnitt 5.4.3 auch die plastische Tragwerksberechnung nach EC3-1-1 Abschnitt 5.4.3 und 5.6 gestattet. Es werden aber keine Angaben gemacht, wie diese insbesondere unter Beachtung der Wölbkrafttorsion anzuwenden ist. Eine weitere Unsicherheit stellt in diesem Fall die Berücksichtigung von Zusatzspannungen infolge lokaler Radlasteinleitungen dar, zu der hier keinerlei Hinweise gegeben werden.

Lokale Spannungen im Steg infolge Radlasten auf dem Oberflansch (EC3-6, 5.7)

Die Ermittlung der lokalen Spannungen σ_z , und hier insbesondere die Ermittlung der effektiven Lastausbreitungslänge l_{eff} gemäß Abschnitt 5.7.1, hat sich im Vergleich zur nationalen Vorgängernorm DIN 4132 von 1981 [R45] extrem verkompliziert. War bisher die einfache Lastausbreitung über die Schiene und Profilgurt unter 45° sowie einer Radaufstandlänge von 5 cm möglich, muss nun eine aufwändige Berechnung in Abhängigkeit der Schienenart und -befestigung mit Ermittlung der Flächenträgheitsmomente aus Schiene und mittragendem Gurt durchgeführt werden, siehe Tab. 7.1 (auf nachfolgender Seite). Diese ist insbesondere bei aufgeschweißten Schienen eher unübersichtlich, fehleranfällig und führt im Vergleich zu DIN 4132 zu deutlich ungünstigeren Werten sowie kräftigeren Schienenschweißnähten. Schadensfälle unter Verwendung der Ansätze gemäß DIN 4132 sind jedoch nicht bekannt.

Lokale Schubspannungen (EC3-6, Abschnitt 5.7.2)

Der Zusammenhang von lokalen Spannungen σ_z und Schubspannungen $\tau_{oxz,Ed}$ nach Abschnitt 5.7.2 ist missverständlich angegeben. Auch fehlt hier ein Hinweis, dass diese lokalen Spannungsanteile sowohl beim Tragsicherheitsnachweis als auch beim Ermüdungsnachweis zu berücksichtigten sind.

Tabelle 7.1: Auszug aus EC3-6 , Tab. 5.1 Effektive Lastausbreitungslänge l_{eff}

Fall	Beschreibung	Effektive Lastausbreitungslänge l_{eff}
(a)	Kranschiene schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [I_{rf} / t_w]^{1/3}$
(b)	Kranschiene nicht schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{1/3}$
(c)	Kranschiene auf einer mind. 6mm dicken nachgiebigen Elastomer- unterlage	$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{1/3}$
$I_{f,eff}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des Flansches mit der effektiven Breite b_{eff}	
I_r	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie der Schiene	
I_{rf}	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des zusammengesetzten Querschnitts einschließlich der Schiene und des Flansches mit der effektiven Breite b_{eff}	
t_w	Stegdicke	
$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f$ aber $b_{eff} \leq b$ Dabei ist: b die Gesamtbreite des Obergurtes; b_{fr} die Breite des Schienenfußes, siehe Bild 5.2; h_r die Schienenhöhe, siehe Bild 5.1; t_f die Flanschdicke.		
ANMERKUNG Der Verschleiß der Kranschiene wird bei der Bestimmung von I_r , I_{rf} und h_r berücksichtigt, siehe 5.6.2(2) und 5.6.2(3).		

Lokale Biegespannungen im Steg infolge exzentrischer Radlasten (EC3-6, Abs. 5.7.3)

Es fehlt ein Hinweis, dass diese Anteile nur bei Ermüdungsnachweisen ab der Beanspruchungsklasse S3 anzusetzen sind. Dies ist wenig anwenderfreundlich. Des Weiteren fehlen Angaben zu den Anwendungsgrenzen der Gleichungen (5.2) und (5.3).

Lokale Biegespannungen im Untergurt infolge Radlasten (EC3-6, Abschnitt 5.8)

Die Tabellen 5.2 und 5.3 der Norm sind kaum anwenderfreundlich, da die Gleichungen für die Ermittlung der Beiwerte sehr aufwändig sind. Dies ist nicht praxistauglich und führt zur Fehleranfälligkeit der Berechnungen. Nachfolgend dargestellt ist exemplarisch Tabelle 5.2, siehe folgende Seite.

Sekundäre Biegemomente in fachwerkartigen Bauteilen (EC3-6, Abschnitt 5.9)

Die angegebenen Regelungen finden sich ebenfalls in EC3-1-9. Um Dopplungen und Widersprüche im Eurocode 3 zu vermeiden, sollte eine Kürzung des Normtextes geprüft und angestrebt werden.

Tabelle 7.2: EC3-6 Tab. 5.2 - Koeffizienten c_{xi} u. c_{yi} zur Bestimmung der Spannungen

Spannung	Parallele Flansche	Geneigte Flansche (siehe Anmerkung)
Längsbiege- spannung $\sigma_{ox,Ed}$	$c_{x0} = 0,050 - 0,580\mu + 0,148e^{3,015\mu}$	$c_{x0} = -0,981 - 1,479\mu + 1,120e^{1,322\mu}$
	$c_{x1} = 2,230 - 1,490\mu + 1,390e^{-18,33\mu}$	$c_{x1} = 1,810 - 1,150\mu + 1,060e^{-7,700\mu}$
	$c_{x2} = 0,730 - 1,580\mu + 2,910e^{-6,000\mu}$	$c_{x2} = 1,990 - 2,810\mu + 0,840e^{-4,690\mu}$
Querbiegespannung $\sigma_{oy,Ed}$	$c_{y0} = -2,110 + 1,977\mu + 0,0076 e^{6,530\mu}$	$c_{y0} = -1,096 + 1,095\mu + 0,192e^{-6,000\mu}$
	$c_{y1} = 10,108 - 7,408\mu - 10,108 e^{-1,364\mu}$	$c_{y1} = 3,965 - 4,835\mu - 3,965e^{-2,675\mu}$
	$c_{y2} = 0,0$	$c_{y2} = 0,0$
Vorzeichenkonvention: c_{xi} und c_{yi} sind positiv bei Zugspannungen an der Flanschunterseite.		

7.1.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit (EC3-6, Kapitel 6)

(Autor: Jörg Laumann)

In Kapitel 6 finden sich ebenfalls Dopplungen aus anderen Normen und Unklarheiten. So werden in Abschnitt 6.1 die kompletten Teilsicherheitsbeiwerte inklusive Tabelle und Erläuterungen, die sich ebenso in EC3-1-1 befinden, aufgeführt, siehe Bild 7.2 auf nachfolgender Seite. In Abschnitt 6.3.2 sind die Biegedrillknicknachweise geregelt. Hier fehlt für den Anwender eine klare Angabe, welche Verfahren er bei welchem System verwenden kann und welche Beanspruchungen er berücksichtigen muss. Diese Angaben sind über viele Abschnitte verstreut angegeben.

Die Hinweise in Abschnitt 6.3.2.3 „Nachweisverfahren“ sind nicht eindeutig und nicht vollständig. Es fehlt eine Angabe, wie mit den Torsionsschnittgrößen und Biegemomenten um die schwache Achse beim vereinfachten Nachweis „Druckgurt als Druckstab“ umzugehen ist.

Hinsichtlich der anzusetzenden Steganteile besteht eine Diskrepanz zwischen EC3-1-1 Abschnitt 6.3 und EC3-6 Absatz 6.3.2.3(1). Gemäß EC3-1-1 darf ein Drittel des Steges berücksichtigt werden, während gemäß EC3-6 ein Fünftel des Steges als Ansatz angegeben wird. Auch wenn dieses Verfahren in beiden Fällen deutlich auf der sicheren Seite liegt, sollten einheitliche Regelungen gefunden werden.

Es fehlt des Weiteren ein Hinweis, wie mit den lokalen Spannungen aus der Radlasteinleitung umzugehen ist. Diese wirken sich bei Berechnungen nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz geometrischer Ersatzimperfectionen teilweise ungünstig aus, z. B. bei Durchlaufträgersystemen, siehe hierzu z. B. [Laumann-2006]. Auch fehlen Angaben, wie die plastische Grenztragfähigkeit unter Beachtung der Wölbkrafttorsion zu ermitteln ist.

Rechnerischer Ansatz der Radlasten beim Biegedrillknicknachweis (EC3-6, Abs. 6.3.2.2)

Der unter Absatz 6.3.2.2 (1) angegebene Ansatz der vertikalen Radlast bei Schienen ohne elastische Unterlage im Schubmittelpunkt wirkt eher verwirrend. Hier wäre eine Literaturquelle hilfreich, da im Regelfall der Lastangriff an OK Schiene zu einer Vergrößerung der Verdrehung führt und zu einem ungünstigeren Biegedrillknicknachweis. Hinweise zum günstigeren Ansatz finden sich z. B. in [Seeßelberg, 2014a]. Der unter Absatz 6.3.2.2(2) vorgeschlagene Ansatz der vertikalen Radlasten an Kranbahnträgerobergurt (anstatt an OK Schiene) ist ebenfalls nicht ohne Weiteres nachvollziehbar.

6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

6.1 Allgemeines

(1) Die zu verwendenden Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für die verschiedenen charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeit im Teil 6 sind in Tabelle 6.1 aufgeführt.

Tabelle gammaM-Werte streichen und Verwels auf EN 1993-1-1

(1)...können EN1993-1-1 Pkt. 6.1 bzw. EN 1993-1-8 Tabelle 2.1 entnommen werden

Tabelle 6.1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchbarkeit

(a) Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Querschnitten	
Querschnittswiderstand bei ausgeprägtem Fließen einschließlich lokalem Beulen	γ_{M0}
Bauteilwiderstand bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen)	γ_{M1}
Querschnittswiderstand bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung	γ_{M2}
(b) Beanspruchbarkeit von Verbindungen	
Beanspruchbarkeit von Schrauben	
Beanspruchbarkeit von Nieten	
Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
Beanspruchbarkeit von Schweißnähten	
Beanspruchbarkeit von Blechen auf Lochleibung	γ_{M2}
Gleitwiderstand:	
– im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C)	γ_{M3}
– im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Kategorie B)	$\gamma_{M3,ser}$
Lochleibungsbeanspruchbarkeit einer Injektionsschraube	γ_{M4}
Beanspruchbarkeit von Knotenanschlüssen in Fachwerken mit Hohlprofilen	γ_{M5}
Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M6,ser}$

Bild 7.2: Synopse mit Streichung von Textdopplungen anderer Normen

Plattenbeulen (EC3-6, Abschnitt 6.6)

Hier ist zu klären, ob das Verfahren der wirksamen Querschnitte bei den ermüdungsbeanspruchten Bauteilen angewendet werden darf. Im Brückenbau gibt es hier Einschränkungen.

7.1.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (EC3-6, Kapitel 7)

(Autor: Jörg Laumann)

Die in Abschnitt 7.3 aufgeführten Verformungsbeschränkungen sind insbesondere für Horizontalverschiebungen teilweise extrem konservativ und führen im Hallenbau mit leichtem Kranbetrieb zu unwirtschaftlichen Bemessungen.

Zu beachten ist, dass die Grenzwerte für horizontale Verformungen im EC3-6 Tabelle 7.1 Empfehlungen sind, die mit dem Bauherren für jedes Projekt vereinbart werden können. Der nationale Anhang beschränkt die Empfehlungen für Deutschland jedoch auf sehr kleine Verformungen.

7.1.5 Verbindungen und Kranschienen (EC3-6, Kapitel 8)

(Autor: Peter Lieberwirth)

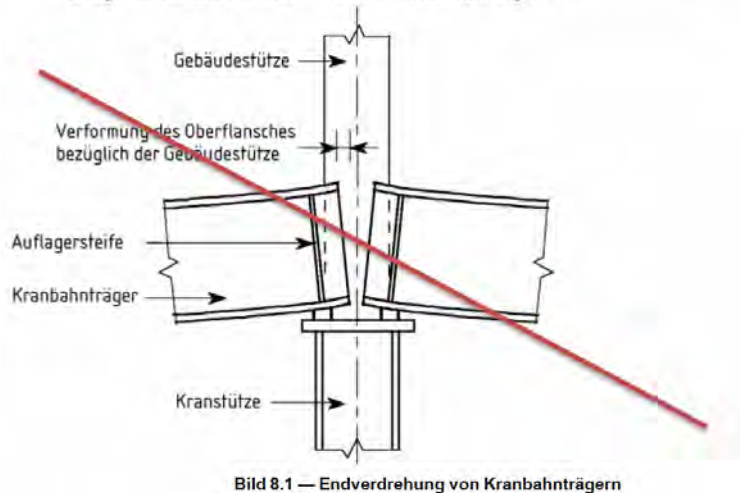
Der Abschnitt enthält inhaltliche Überfrachtungen. Des Weiteren sind bei einigen wesentlichen Punkten inhaltliche Klarstellungen notwendig, die nachfolgend exemplarisch erläutert werden. Zur ausführlichen Darstellung siehe [Laumann et al, 2015b].

Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen (EC3-6, Abschnitt 8.1)

Die Annahme einer linear proportionalen Schnittkraftverteilung bedeutet, dass die T-Stummel-Modelle nach EC3-1-8 nicht zur Anwendung empfohlen werden. Hierzu ist eine Klärung erforderlich.

8.3 Horizontalverbindungen

- (1) Die Verbindungen zur Übertragung der Seitenlasten vom Oberflansch des Kranbahnträgers zum lastabtragenden Tragwerk sollten die nachfolgend aufgeführten Verformungen ermöglichen:
- die durch Endverdrehung des Kranbahnträgers infolge vertikaler Belastung verursachten Verformungen, siehe Bild 8.1;
 - die durch die Endverdrehung des Oberflansches des Kranbahnträgers infolge Seitenlasten verursachten Verschiebungen, siehe Bild 8.2;
 - die durch die Auflagersetzungen und vertikalen Stauchungen des Kranbahnträgers und der Auflager einschließlich Verschleiß entstehenden Verformungen.



Kürzung
Dies gehört in die Konstruktionsplanung bzw. Lehrbuch und ist nicht in der Norm erforderlich

Bild 7.3: Synopse mit Streichung von lehrbuchartigem Text (links), Kommentar (rechts, rot)

Schweißverbindungen (EC3-6, Abschnitt 8.2)

Unter Berücksichtigung der großen Relevanz dieses Abschnitts für die Ermüdungssicherheit von Kranbahnen ist zu klären, warum als „hohe Ermüdungsbeanspruchung“ nur die Beanspruchungsklassen S7 bis S9 eingestuft werden. Nach DIN 4132 galten entsprechende Regelungen für die Beanspruchungsgruppen B5 (entspricht ungefähr S5) und B6 (entspricht ungefähr S7).

Man sollte sich verdeutlichen, dass eine Einstufung in B5 bereits einem ausgesprochen schweren Kranbetrieb entspricht (z. B. Gießkrane). Ermüdungsschäden bei angeschweißten Bauteilen \geq B5 sind in der Praxis bekannt. Daher wird dringend empfohlen, die Regelung der DIN 4132 zu übernehmen.

Horizontalverbindungen (EC3-6, Abschnitt 8.3)

Die konstruktiven Hinweise und Darstellungen können in der Norm entfallen, zumal diese Angaben nicht vollständig sein können, siehe Bild 7.3. Hierzu wird empfohlen, auf die Fachliteratur zu verweisen, z. B. [Seeßelberg-2014a].

Kranschienen (EC3-6, Abschnitt 8.4)

Es fehlt die grundsätzliche Aussage, dass Schienen und deren Befestigung alle auftretenden Kräfte aus dem Kranbetrieb aufnehmen und in den Kranbahnträger sicher übertragen müssen.

7.1.6 Ermüdungsnachweis (EC3-6, Kapitel 9)

(Autor: Peter Lieberwirth)

Dieser Abschnitt ist für die Kranbahnträgerbemessung elementar und deshalb unmissverständlich mit Bezug auf EC3-1-9 zu regeln. Für den Anwender verwirrende Formulierungen sind zu korrigieren bzw. bedürfen inhaltlicher Klarstellungen. Dabei ist zu beachten, dass sich die

Nachweisführung in einigen Punkten gegenüber DIN 4132 geändert hat – auch die „Erfahrungswerte“ aus der Bemessungspraxis sollten in das neue Konzept einordenbar sein.

Es ist anzustreben, die Bezeichnungskonvention im EC3-6 konsistent als „Beanspruchungsklasse S“ in Abgrenzung zu den „Beanspruchungsgruppen B“ nach DIN 4132 zu führen.

Anforderungen an den Ermüdungsnachweis (EC3-6, Abschnitt 9.1)

Es bedarf einer einfach verständlichen Formulierung für den möglichen Entfall des Ermüdungsnachweises.

Anforderungen an den Ermüdungsnachweis (EC3-6, Abschnitt 9.2)

Es ist wünschenswert, die Teilsicherheiten mit zwei klaren Formulierungen anzugeben.

Spannungsspektren infolge Ermüdungsbelastung (EC3-6, Abschnitt 9.3)

Es gibt nach EC3-1-9 zwei Möglichkeiten, die Einwirkungen für den Ermüdungsnachweis von Kranbahnträgern zu erfassen:

Stufe 1 (Ausnahme):

Bei umfassenden Informationen zum Betriebsregime der Krane, die sich im Laufe der Lebensdauer voraussichtlich nicht ändern (z. B. technologische Kopplung eines Gießkranes an einen Hochofen) kann ein genaues Lastspektrum aufgestellt werden.

Stufe 2 (Regelfall):

Die Einstufung erfolgt in eine Kranklassifizierung nach EN 1991-3 – dann Abschnitt 9.3.2 anzuwenden.

Abschnitt 9.3.2 ist auf das Wesentliche zu reduzieren. In Abschnitt 9.3.3 ist eine inhaltliche Klärung erforderlich, da der NA die Berücksichtigung der Radlastexzentrizitäten beim Ermüdungsnachweis ab dem Normkollektiv S_3 vorschreibt (S_3 liegt etwas unterhalb von B4 nach DIN 4132 und stellt die Untergrenze des „schwereren“ Kranbetriebes dar – der Eurocode ist damit geringfügig konservativer als die DIN).

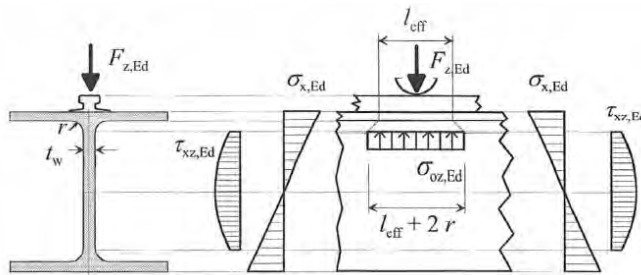
Spannungsspektren infolge Ermüdungsbelastung (EC3-6, Abschnitt 9.4)

Der Abschnitt setzt vom Anwender das Verständnis der Schadensakkumulationshypothese voraus und bedarf in den Formulierungen einiger Klarstellungen, um Fehlanwendungen zu vermeiden.

Der Abschnitt 9.4.2 ist vor allem bemessungsrelevant, wenn zusätzlich zu einem Kran mit hoher Beanspruchungsklasse weitere Krane auf derselben Kranbahnanlage hinzukommen.

Die Schadensakkumulation der Raddruckspannungswechsel $\Delta\sigma_{OZ}$ sind explizit nachzuweisen, d. h. der Ausdruck ΣD_i ist analog zu den Längs- und Schubspannungen zu bilden – und wird z. B. für die Bemessung der Schweißnaht Steg/Gurt bei mehreren Kranen gegenüber einem Kran bemessungswirksam (D_{dup} ist hier untergeordnet, da die Radlasten nicht ansteigen).

Zur Quantifizierung des „erheblichen Zusammenwirkens“ mehrerer Krane fehlen in der Norm konkrete Orientierungswerte für den Anwender. DIN 4132 stellt hier einen Bezug zu den gemeinsamen Lastspielen her (dies ist eine in der Bemessungspraxis umsetzbare Regel). Hinsichtlich der λ_i - Werte sind analoge Abstufungen wünschenswert.



$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{oxz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{oxz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

Bild 7.4: Darstellung der lokalen und globalen Spannungsanteile [Seeßelberg, 2014b]

7.1.7 Anhang A

Das Verfahren ist (unabhängig von der Kranbahnnutzung) für Träger mit vergleichbaren Einwirkungen und Lagerungsbedingungen anwendbar und sollte deshalb nach EC3-1-1 Abschnitt 6.3 verschoben werden.

7.2 Lösungsvorschläge

7.2.1 Grundlagen und Tragwerksberechnung (EC3-6, Kapitel 0 bis 5)

(Autor: Jörg Laumann)

Die Kürzungen und Klärungen zu den einzelnen Absätzen in allen Kapiteln können dem separaten Dokument entnommen werden. Kürzungen können beispielsweise durch die konsequente Streichung von Dopplungen erzielt werden, z. B. die Eigenschaften in Dickenrichtung mit Tabellen etc., die ausführlich in EC3-1-1 enthalten sind.

Eine klare Gliederung kann durch das Verschieben der zusammengehörigen Themen in einen gemeinsamen Abschnitt erreicht werden, z. B. durch das Verschieben aller Angaben zur Dauerhaftigkeit in das Kapitel 4. Auch sollte die Unterteilung der Gliederung reduziert werden, indem nicht einzelne Begriffserklärungen einen Unterpunkt ergeben.

Zu Beginn der Berechnungsmethoden in Abschnitt 5.4 der Norm sollte zur Klarstellung ein Bild und eine zusammenhängende Darstellung der zu berücksichtigenden Spannungsanteile eingefügt werden, wie in Bild 7.4 dargestellt.

Für die plastische Tragwerksberechnung nach 5.4.3 sind entweder Literaturhinweise z. B. [Seeßelberg, 2014a], [Kindmann, 2002] oder [Laumann, 2006] anzugeben oder zusätzliche Bedingungen zu entwickeln.

Lokale Spannungen im Steg infolge Radlasten auf dem Oberflansch (EC3-6, Abschn. 5.7)

Für die Ermittlung der lokalen Spannungen σ_z und hier insbesondere für die Ermittlung der effektiven Lastausbreitungslänge l_{eff} gemäß Abschnitt 5.7.1 sollte die Berechnung nach DIN 4132 ergänzt werden, da diese deutlich einfacher in der Handhabung ist und günstigere Ergebnisse liefert, Schadensfälle mit dieser Methode sind nicht bekannt.

Vorschlag für effektive Lastausbreitungslänge gemäß DIN 4132 [R45]:

$$l_{eff} = 2 \cdot (h_{\text{schiene}} + t_f) + 5 \text{ cm}$$

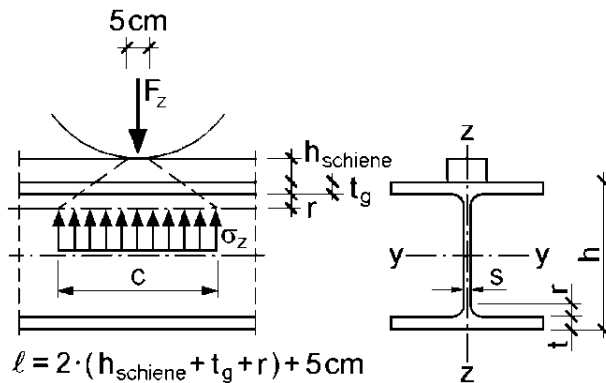


Bild 7.5: Vorschlag zur Ermittlung der Lastausbreitung unter lokalen Radlasten [Laumann, 2006] bzw. [R45]

Alternativ kann in Tab. 5.1 für aufgeschweißte Schienen, Fall (a) folgende Näherung verwendet werden, die unterhalb der Bedingung in EC3-6 bleibt. Vergleichsrechnungen zeigen, dass die Ergebnisse für übliche Anwendungen auf der sicheren Seite liegen, siehe Bild 7.6.

Vorschlag:

Näherung für aufgeschweißte Schienen mit Rechteckquerschnitt

$$l_{eff} = 1,5 (t_f + h_r) + 4 \text{ cm}$$

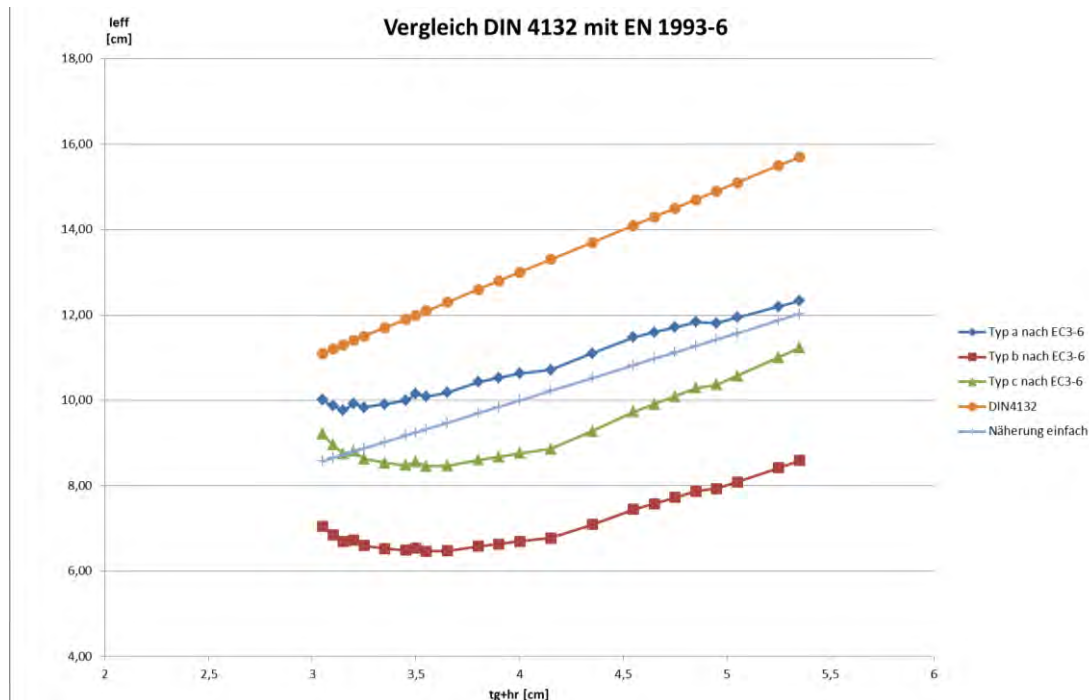


Bild 7.6: Vergleich l_{eff} für Profile der HEA Reihe, Schiene aufgeschweißte 30x50 mm

Berechnungsbeispiel Kranbahnträger

Um den deutlich unterschiedlichen Rechenaufwand nach EC3-6 und entsprechend den praxistauglicheren Vereinfachungsvorschlägen zu veranschaulichen, wird ein zweifeldriger Kranbahnträger mit Querschnitt HEB 300 und aufgeschweißter Schiene 50x30 sowie nachfolgend dargestellten Randbedingungen untersucht:

- Aufgrund der 25 % Abnutzung wird eine Schienenhöhe von 30 mm berücksichtigt.
- Träger wird beansprucht durch Brückenkrane, Hubklasse HC2, Beanspruchungsklasse S3.
- Die Schiene ist schubstarr mit dem Träger verbunden.
- Maximale vertikale Radlast $R_1 = R_2 = 75 \text{ kN}$

Das Beispiel ist angelehnt an [Lohse et al, 2015].

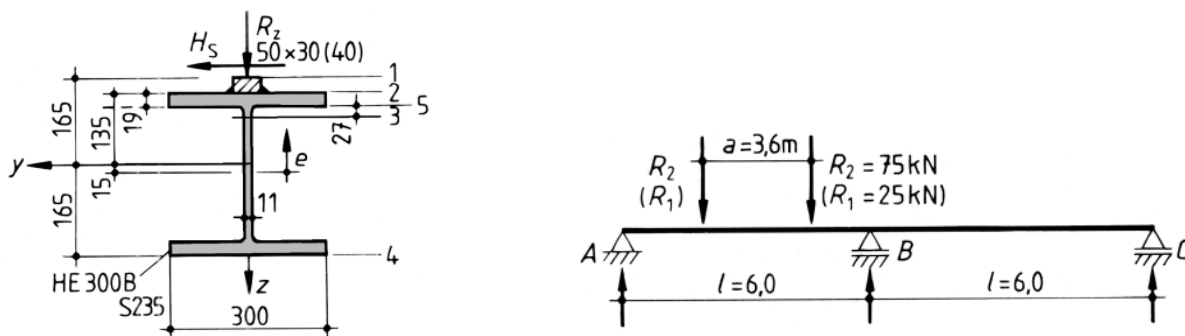


Bild 7.7: Kranbahnträgerquerschnitt und statisches System

Berechnung gemäß aktuellem Stand EC3-6

Berechnung gemäß DIN 4132 bzw. mit Vereinfachungsvorschlag

Vergleich der Ermittlung der Schwingbeiwerte

Nach DIN EN 1991-3, Tabelle 2.4; 2.5 und 2.6 sind die folgenden Schwingbeiwerte für die verschiedenen Lastanteile zu berücksichtigen:

$\varphi_1 = 1,1$ für Eigengewicht des Krans

$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_2 = 1,10 + 0,34 \cdot \frac{7}{60} = 1,22$
für die Hublast

$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3) = 1,0$
für die Hublast (plötzliches Loslassen)

$\varphi_4 = 1,0$
für Eigengewicht u. Hublast Lastgruppe 4-6

$\varphi_5 = 1,5$ für die Antriebskräfte

$\varphi_6 = 1,5$ für die Prüfkräfte

$\varphi_7 = 1,25 + 0,7(0,5 - 0,5) = 1,25$
für die Pufferkräfte

Nach DIN 4132 [R45] wird nur ein pauschaler Schwingbeiwert berücksichtigt:

$\varphi = 1,2$

für Hubklasse H2

für die maximalen vertikalen Radlasten

Berechnung gemäß aktuellem Stand EC3-6

Berechnung gemäß DIN 4132 bzw. mit Vereinfachungsvorschlag

Vergleich der Ermittlung der Lastausbreitungslänge l_{eff} für Lasteinleitungsspannungen

Gemäß EC3-6, Abs. 5.7.1, Tabelle 5.1 folgt für Fall a) „Kranschiene schubstarr am Flansch befestigt“, die Lastausbreitungslänge zu

$$l_{eff} = 3,25[I_{rf}/t_w]^{1/3}$$

Dabei setzt sich das Flächenträgheitsmoment des Obergurtes I_{rf} aus einem Teil des Profilgurtes und des Schienenquerschnitts zusammen.

Hierzu wird die effektive Breite b_{eff} benötigt mit:

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f = 5 + 3 + 1,9 = 9,9 \text{ cm}$$

Mit der Exzentrizität e des Schwerpunktes bezogen auf Oberkante Kranschiene kann das Flächenträgheitsmoment I_{rf} berechnet werden zu:

$$e = \frac{(9,9 \cdot 1,9) \cdot (1,9/2 + 3) + 15 \cdot 1,5}{(9,9 \cdot 1,9) + 15} = 2,863 \text{ cm}$$

$$I_{rf} = 9,9 \cdot 1,9^3/12 + 5 \cdot 3^3/12 + (9,9 \cdot 1,9) \cdot (3 + 1,9/2 - 2,863)^2 + 15 \cdot (2,863 - 1,5)^2 = 67 \text{ cm}^4$$

$$l_{eff} = 3,25[67/1,1]^{1/3} = 12,8 \text{ cm}$$

Die Lastausbreitungslänge darf bei Walzprofilen um den Ausrundungsradius r verlängert werden bis OK Steg. Damit ergibt sich die Lastausbreitungslänge nach EC3-6 zu:

$$\text{ges } l_{eff} = 12,8 + 2 \cdot r = 12,8 + 2 \cdot 2,7$$

$$\text{ges } l_{eff(EC3-6)} = 18,20 \text{ cm}$$

Wenn gemäß Vorschlag nach DIN 4132 [R45] ermittelt wird, ergibt sich l_{eff} direkt:

$$l_{eff} = 2 \cdot (h_{Schiene} + t_f) + 5 \text{ cm} = 2 \cdot (3 + 1,9) + 5 = 14,8 \text{ cm}$$

Zusätzlich darf auch nach DIN 4132 eine Lastausbreitung bei Walzprofilen durch die Ausrundungsradien berücksichtigt werden:

$$\text{ges } l_{eff(DIN4132)} = 14,8 + 2 \cdot 2,7 = 20,2 \text{ cm}$$

Mit dem o. g. alternativen Näherungsvorschlag ergibt sich:

$$\text{ges } l_{eff} = 1,5 \cdot (h_{Schiene} + t_f) + 4 \text{ cm} + 2r$$

$$\text{ges } l_{eff(vereinf.)} = 11,35 + 2 \cdot 2,7 = 16,75 \text{ cm}$$

Zur exzentrischen Laststellung

Aufgrund der Beanspruchungsgruppe S3 ist keine exzentrische Lasteinleitung zu berücksichtigen. Hier fehlt jedoch eine Klarstellung zwischen EC1-3, wo pauschal immer der exzentrische Lastansatz gefordert wird, und EC3-6, wonach dies nur für Ermüdungsnachweise und gemäß Abschnitt 9.3.3 erst ab S4 empfohlen wird.

Es ist für Beanspruchungsgruppe S3 keine Lastexzentrizität anzusetzen.

Fazit aus den Berechnungsergebnissen:

Die Berücksichtigung der zahlreichen Schwingbeiwerte für die verschiedenen Lasten nach EC3-6 führt zu erhöhtem Rechenaufwand und damit verbunden erhöhter Fehleranfälligkeit. Daher sollte im Sinne der Praxistauglichkeit eine Reduzierung auf möglichst wenige, im Idealfall einen, Schwingbeiwert erfolgen.

Nach DIN 4132 ergeben sich in diesem Berechnungsbeispiel für g_{eff} ca. 10 % größere Werte für die Lastausbreitungslänge als nach aktuellem EC3-6. Da Schadensfälle auf Basis der DIN 4132 nicht bekannt sind, wird dies als unbedenklich eingestuft. Alternativ könnte ein erhöhter Teilsicherheitsbeiwert für die lokale Radlast verwendet werden.

Die Berechnung mit dem vereinfachten Näherungsverfahren ergibt im Vergleich zur Berechnung nach EC3-6 ein etwas kleineres g_{eff} um ca. 9 %. Sie liegt damit auf der sicheren Seite. Obgleich die Ausnutzung geringer ist, bietet sie den großen Vorteil des verringerten Berechnungsaufwandes.

Lokale Biegespannungen im Untergurt infolge Radlasten (EC3-6, Abschnitt 5.8)

Die Tabelle 5.2 der Norm, siehe zuvor Abschnitt 7.1.2, sollte durch die nachfolgende deutlich vereinfachte Tabelle ersetzt und zusätzlich mit einem Literaturhinweis ergänzt werden. Ein Bezug auf die genauen Gleichungen, die in der Norm enthalten ist, sollte beibehalten werden. Alternativ zur vereinfachten Tabelle ist die Darstellung der Werte in Diagrammen möglich.

Zu Beginn von Abschnitt 5.7.3 sollte ergänzt werden, dass die Anwendung nur im Ermüdungsnachweis und ab Beanspruchungsklasse S3 erforderlich ist. Abschnitt 5.9 sollte komplett gestrichen bzw. in EC3-1-9 integriert werden.

Tabelle 7.3: Vorschlag für Tabelle 5.2 — Koeffizienten c_{xi} und c_{yi} zur Bestimmung der Spannungen an den Stellen 0, 1 und 2 (Quelle: Ingenieurbüro Laumann)

μ	Parallelfanschprofile (z. B. IPE)					Profile mit geneigten Flanschen (z. B. I)				
	$C_{x,0}$	$C_{x,1}$	$C_{x,2}$	$C_{y,0}$	$C_{y,1}$	$C_{x,0}$	$C_{x,1}$	$C_{x,2}$	$C_{y,0}$	$C_{y,1}$
0,10	0,192	2,303	2,169	-1,898	0,548	0,149	2,186	2,235	-0,881	0,447
0,15	0,196	2,095	1,676	-1,793	0,759	0,163	1,971	1,984	-0,854	0,585
0,20	0,204	1,968	1,290	-1,687	0,932	0,182	1,807	1,757	-0,819	0,676
0,25	0,219	1,872	0,984	-1,577	1,069	0,208	1,677	1,548	-0,779	0,725
0,30	0,242	1,789	0,737	-1,463	1,172	0,240	1,570	1,353	-0,736	0,737
0,35	0,272	1,711	0,533	-1,343	1,244	0,280	1,479	1,169	-0,689	0,718
0,40	0,312	1,635	0,362	-1,216	1,287	0,328	1,399	0,995	-0,641	0,671

7.2.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit (EC3-6, Kapitel 6)

(Autor: Jörg Laumann)

Die einzelnen Änderungsvorschläge können dem separaten Dokument entnommen werden. In Abschnitt 6.3.2.3 sollte folgende Übersicht zu den Nachweisverfahren ergänzt werden:

(1) Der Biegedrillknicknachweis eines Kranbahnträgers kann nach einer der folgenden Methoden durchgeführt werden:

- für Einfeldträger vereinfacht als Nachweis des Druckgurtes als Druckstab nach (2);

- für Einfeldträger mit dem Verfahren nach Anhang A;
- durch eine Berechnung nach der Biegetorsionstheorie II. Ordnung unter Berücksichtigung geometrischer Ersatzimperfektionen und lokaler Radlasteinleitungen.

Des Weiteren sollte ein Literaturverweis für den Nachweis *Druckgurt als Druckstab* eingefügt werden mit dem Bezug auf [Seeßelberg, 2014a]. Zur Vereinheitlichung zwischen EN1993-1-1 und EC3-6 sollte in Absatz 6.3.2.3(1) der Steganteil auf ein Drittel festgelegt werden. Des Weiteren sollte das im Anhang A befindliche Verfahren in diesen Abschnitt verschoben werden oder in EC3-1-1 Abschnitt 6.3 integriert werden.

7.2.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (EC3-6, Kapitel 7)

(Autor: Jörg Laumann)

Die Verformungsbeschränkungen gemäß Abschnitt 7.3 sind sehr konservativ. Hier sollte eine Unterteilung in Abhängigkeit des Kranbetriebes erfolgen. Die Empfehlungen aus NA2 sollte in die Norm integriert werden.

7.2.4 Verbindungen und Kranschienen (EC3-6, Kapitel 8)

(Autor: Peter Lieberwirth)

Für Kapitel 8 des EC3-6 werden einige Kürzungen des Normtextes vorgeschlagen, z. B. in Abschnitt 8.3 aufgrund lehrbuchartigen Inhalts. Zur Klarstellung sind in anderen Abschnitten Neuformulierungen und Ergänzungen notwendig. Die Lösungsvorschläge werden ausführlich dargestellt und begründet in [Laumann et al, 2015b].

7.2.5 Ermüdungsnachweis (EC3-6, Kapitel 9)

(Autor: Peter Lieberwirth)

Die Lösungsvorschläge werden in [Laumann et al, 2015b] ausführlich dargestellt und begründet.

Bei der Berechnung von D_i (vgl. Abschnitt 9.4.2) fehlt ein Σ -Zeichen vor den Spannungsausdrücken, da bei entsprechender Konstellation (z. B. zwei auseinanderliegende Radgruppen auf einem Einfeldträger) der Kran „i“ auch aufzusummierende Schadensanteile D_i liefern kann.

$$D_i = \sum \left(\left[\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E2,i}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E2,i}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \right]^5 \right)$$

Dieser Sachverhalt war in Beiblatt 1 zu DIN 4132 für die Anwendung verständlicher geregelt. Alternativ zur Änderung der Formel könnte auch ein entsprechender verbaler Zusatz wie folgt eingefügt werden.

Neuvorschlag:

Treten innerhalb der Überfahrt eines Kranes „i“ mit auseinander liegenden Radgruppen mehrere Spannungsspitzen auf, sind diese innerhalb der Schädigung D_i entsprechend ihrer Wirkung aufzusummieren.

8 Formelzeichen und Symbole im Eurocode 3

(Autor: Ines Prokop)

8.1 Bestandsanalyse

Sämtliche Formelzeichen der wichtigsten Teile des Eurocodes 3 (Teil 1-1, Teil 1-5, Teil 1-8, Teil 1-9 und Teil 6) wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens analysiert und in einem Dokument zusammengestellt, siehe [Schilling, 2014]. Die 59seitige Tabelle verdeutlicht anschaulich, welche Vielzahl von Formelzeichen sich mit dem umfangreichen Eurocode 3 entwickelt hat.

Ein Großteil der Formelzeichen des Eurocode 3 wird im Grundlagendokument Teil 1-1 im Abschnitt 1.6 aufgelistet und erläutert. Entgegen einer üblichen alphabetischen Abfolge entspricht die Reihenfolge der Formelzeichen der Reihenfolge ihres Auftretens im Normtext. Dies und die kapitelweise Zusammenfassung zu Blöcken erschwert die Handhabung als Glossar und ist wenig anwenderfreundlich.

Die Analyse ergibt ähnliche Ergebnisse wie bei der Projektgruppe 2 für den EC2-1-1. Wie in EC2-1-1 ist die Liste der Formelzeichen auch bei EC3-1-1 in Abschnitt 1.6 unvollständig. Es existiert eine Vielzahl Formelzeichen, für die in der Norm verschiedene Definitionen verwendet werden, worauf in der Anmerkung in der Norm direkt hingewiesen wird. Exemplarisch wird dies für die Symbole α und φ in Tabelle 8.1 und 8.2 dargestellt.

Tabelle 8.1: Beispiel für Mehrfachbelegung von α , Auszug aus [Schilling, 2014]

Formelzeichen	Bedeutung/Erläuterung	Norm	Abschnitt/ Absatz
α	Wärmeausdehnungskoeffizient	EC3-1-1	3.2.6(1)
	Imperfektionsbeiwert	EC3-1-1	5.3.2(11) 6.3.1.2(1)
	Anteil eines Querschnittsteils unter Druckbeanspruchung	EC3-1-1	Tab. 5.2
	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen	EC3-1-1	6.2.9.1(6)
	Winkel zwischen den Schwerachsen von Gitterstäben und Gurtstäben	EC3-1-1	6.4.1(4)
	Verhältnis der Beulfeldlänge a zur Beulfeldbreite b	EC3-1-5	A.1(2)
	Lasterhöhungsfaktor	EC3-1-5	C.7(1)
	Beiwert zur Ermittlung der Schubfläche eines Gurtstabs	EC3-1-8	1.5(3)
	Vergrößerungsfaktor für die plastische Biegetragfähigkeit des angeschlossenen Bauteils	EC3-1-8	6.2.3(5)
	Faktor zur Ermittlung der wirksamen Länge $\ell_{\text{eff,nc}}$ für eine Schraubenreihe neben Stützenstegsteifen bzw. Trägerflanschen	EC3-1-8	Bild 6.11

Der griechische Buchstabe α wird im Eurocode 3 mit verschiedenen Indizes noch mit weiteren 28 Bedeutungen verwendet.

Tabelle 8.2: Beispiel für Mehrfachbelegung von φ , Auszug aus [Schilling, 2014]

Formelzeichen	Bedeutung/Erläuterung	Norm	Abschnitt
φ	Winkel zwischen Tragwerksebenen bei räumlichen Anschlüssen	EC3-1-8	1.5(3)
	<i>Winkel der Stoßflächen in einem Kontaktstoß</i>	EC3-1-8/NA	Bild NA.2
	Schwingbeiwert (in Übereinstimmung mit EN 1991-3)	EC3-6/NA	NCI zu 2.3.1

Es ist keine einheitliche Logik erkennbar, an welcher Stelle der Norm die verschiedenen Formelzeichen erläutert werden:

- Viele Formelzeichen werden in der EN 1993-1-1, Abschnitt 1.6 erläutert und in verschiedenen Abschnitten der Norm angewendet;
- einige wenige Formelzeichen werden ausschließlich in Abschnitt 1.6 erläutert, ohne im übrigen Eurocode 3 Anwendung zu finden;
- einige Formelzeichen werden in Bildern oder im Fließtext der Norm verwendet, jedoch fehlt eine Legende, vgl. *Kursivtext* in Tabelle 8.1 (*Erläuterung vom Autor*);
- einige Formelzeichen werden sowohl im Abschnitt 1.6, als auch im Haupttext, also doppelt erläutert;
- viele Formelzeichen werden nur in den jeweiligen Abschnitten der einzelnen Eurocode-Teile dort erläutert, wo sie verwendet werden.

Die mehrfache Wiederholung von Definitionen im Haupttext verlängert die Norm unnötig und führt in einigen Fällen sogar zu Ungenauigkeiten bzw. zu Uneindeutigkeiten.

8.2 Lösungsvorschläge

Für die Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit wird Folgendes vorgeschlagen.

Alle Symbole, die mehr als einmal im Haupttext auftauchen, sollen konzentriert in Abschnitt 1.6 von Teil 1-1 erläutert werden. Dadurch wird der Abschnitt 1.6 zu einer nützlichen Referenz. Sich wiederholende Definitionen können dann im Haupttext entfernt werden und nur noch dort verbleiben, wo es Abweichungen zur allgemeinen Definition in Abschnitt 1.6 gibt bzw. wo weitere Informationen gegeben werden. Dies entspricht den Empfehlungen der DIN 820-2 [R52], wonach die Wiederholung von Definitionen möglichst vermieden werden soll. Ohne Informationsverlust kann der Haupttext gekürzt werden. Ein weiterer Vorteil ist das Reduzieren der Verweistiefe. Gleichzeitig werden Ungenauigkeiten und Inkonsistenzen aus sich wiederholenden Definitionen vermieden.

Bei der Überarbeitung soll außerdem die Verwendung des gleichen Formelzeichens für unterschiedliche Bedeutungen weitestgehend vermieden werden, um die Konsistenz und Eindeutigkeit des Dokuments zu verbessern. Dies kann z. B. durch Indizes an mehrfach belegten Symbolen, siehe Beispiel in Tabelle 8.1, geschehen. Wo die Bezeichnungen historisch gewachsen sind oder in den Fällen, wo Bezüge zu anderen Normen der Grund für die Doppelbelegung sind, wird die Einführung von Indizes schwierig sein und Kompromisse erfordern.

Mit Hilfe der PG3-Zusammenstellung soll vermieden werden, durch Änderungsvorschläge bei der Bearbeitung des Haupttextes weitere Doppelbelegungen oder Inkonsistenzen zu erzeugen. Zu diesem Zweck wurde die PG3-Zusammenstellung der Formelzeichen als Arbeitsdokument dem DIN-Gremium NA 005-08-16 AA (SpA zu CEN/TC 250/SC 3) zur Verfügung gestellt.

9 Auswertung der Nationalen Anhänge

(Autoren: Sivo Schilling, Juljia Ruga)

9.1 Bestandsanalyse

9.1.1 Einführung

Der Eurocode 3 besteht aus 20 Teilen, die jeweils mit dem zugehörigen Nationalen Anhang anzuwenden sind. In Deutschland wurden die Nationalen Anhänge zum EC3-1-1, EC3-1-5 und insbesondere EC3-1-8 dazu genutzt, bewährte und den Stand der Technik repräsentierende Regelungen aus den nationalen Normen DIN 18800-1 [R7], DIN 18800-2 [R8] und DIN 18800-7 [R9] auch bei Anwendung des Eurocode 3 weiterhin zur Verfügung zu haben. Ähnlich wurden in anderen CEN-Mitgliedsländern die Nationalen Anhänge dazu genutzt, das nationale Sicherheitsniveau und nationale Sonderregelungen beizubehalten. Dies widerspricht dem Ziel eines einheitlichen Eurocode 3 für den Stahlbau.

Die Nationalen Anhänge der verschiedenen CEN-Mitglieder zu einzelnen Teilen des Eurocode 3 wurden mit dem Ziel ausgewertet, die Anzahl der NDP (National festzulegende Parameter - National Determined Parameters) zu reduzieren und dadurch eine Vereinfachung und weitere Harmonisierung zu erreichen, ohne das Grundgerüst und die bestehenden Bemessungsformate ändern zu müssen.

Die Auswertung der Nationalen Anhänge für den Eurocode 3 entspricht der von der Projektgruppe 2 benutzten Methodik und Darstellung bei der Auswertung des Nationalen Anhang für EN 1992-1-1 [R44], siehe [Ignatiadis, 2013] und [Fingerloos, 2013].⁷

9.1.2 Struktur der Nationalen Anhänge zum Eurocode 3

Die nationalen Anhänge beinhalten zwei Arten von Informationen. Das sind zum einen die Nationalen Festlegungen (NDP), auf die an den entsprechenden Stellen in den einzelnen Teilen des Eurocode 3 durch „Anmerkung“ hingewiesen wird. Zum anderen gibt es ergänzende nicht widersprechende Angaben (NCI) zur Anwendung des Eurocode 3, die nationale Sonderregelungen darstellen. Dies können z. B. Anwendungsregeln für nicht im Eurocode 3 enthaltene Fälle oder Verweise auf Zulassungen sein. Einige Hintergrundinformationen zu den deutschen nationalen Anhängen [R2], [R4], [R6] finden sich z. B. in [Kuhlmann, 2012a], [Kuhlmann et al, 2012b] und [Ungermann, 2013].

Im EC3-1-1 sind für 25 Regelungen nationale Festlegungen (NDP) vorgesehen, weitere 15 NDP finden sich im EC3-1-8 und nur 6 NDP im EC3-1-8, obgleich er etwa den doppelten Umfang von Teil 1-1 bzw. Teil 1-5 aufweist. Bei den NDP handelt es sich um Einzelwerte, um Gruppen von Werten, um Tabellen, um Verweise auf Produktnormen oder um Verfahrensalternativen. Im EC3 werden für diese Parameter Empfehlungen gegeben, die in die Nationalen Anhänge der CEN-Mitglieder entweder übernommen, ergänzt oder abgeändert wurden. Es wurden die Nationalen Anhänge für EN 1993-1-1 ([R10] bis [R21]), für EN 1993-1-5 ([R22] bis [R32]) und für EN 1993-1-8 ([R33] bis [R43]) von 12 Ländern analysiert [Ruga, 2013a], [Ruga, 2013b], [Ruga, 2013c].

⁷ Verwendung der Länderkennzeichen gemäß ISO 3166-1: AT – Österreich; BE – Belgien, BG – Bulgarien, CY – Zypern, CZ – Tschechische Republik, DE – Deutschland, DK – Dänemark, ES – Spanien, FI – Finnland, FR – Frankreich, IT – Italien, LU – Luxemburg, LT – Litauen, PL – Polen, SE – Schweden, UK – Großbritannien

Im Vergleich zu anderen CEN-Mitgliedern wurden im deutschen Nationalen Anhang [R2] deutlich mehr der in EN 1993-1-1 gegebenen Empfehlungen unverändert oder mit lediglich modifizierten Anwendungsgrenzen übernommen (siehe Bild 9.1). In einigen Ländern wurde stärker eingegriffen, so ist z. B. der Abschnitt zum Ansatz globaler Imperfektionen affin zur maßgebenden Eigenfigur in Luxemburg, Frankreich, Finnland und Polen außer Kraft gesetzt. Eine ähnliche Tendenz kann für den deutschen NA zu EN 1993-1-5 [R4] festgestellt werden (siehe Bild 9.2). Wesentlich anders stellt sich die Situation für EN 1993-1-8 dar, wo in den deutschen Nationalen Anhang nur 2 von 6 gegebenen Empfehlungen übernommen wurden, was jedoch nicht bedeutet, dass dieser Teil des Eurocode 3 in Deutschland weniger akzeptiert ist als in anderen CEN-Mitgliedsländern, da mit diesen NDP die Materialauswahl und Vorgaben für die Montage geregelt werden, aber das Bemessungskonzept davon unberührt bleibt (siehe Bild 9.3).

9.1.3 Vergleich und Analyse der NDP

Um Möglichkeiten der Vereinheitlichung der NDP abzuschätzen und Schwerpunkte für die Überarbeitung von Eurocode 3 zu erkennen, wurden die NDP in verschiedene Kategorien eingeteilt. In die Kategorie A wurden diejenigen NDP eingeordnet, bei denen alle berücksichtigten CEN-Mitglieder die in EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 bzw. die in EN 1993-1-8 getroffenen Empfehlungen unverändert übernommen haben. Dass ist z. B. beim Mindestwert der Zähigkeit für druckbeanspruchte Bauteile des Hochbaus der Fall. Des Weiteren lässt sich eine Reihe von NDP erkennen, bei denen in einzelnen Ländern nur zwei oder drei verschiedene Werte zur Anwendung kommen, so dass eine Vereinheitlichung durch Klassenbildung möglich wäre (Kategorie B). So ist beispielsweise der Modifikationsbeiwert f entweder nach EN 1993-1-1, Gleichung (6.58) zu berechnen oder mit dem Wert 1,0 anzuwenden. In die Kategorie C fallen solche NDP, bei denen nur wenige CEN-Mitglieder von den Empfehlungen abweichen und somit ein großes Vereinheitlichungspotential besteht, siehe Beispiel in Tabelle 9.1.

Bei den NDP der Kategorie D treten größere Unterschiede auf, so dass ein größerer Diskussionsbedarf gegeben ist, siehe Beispiel in Tabelle 9.2. Insbesondere für die NDP der Kategorie C und D sind weitere Untersuchungen im Hinblick auf die Hintergründe für die Abweichungen erforderlich. Darüber hinaus muss mit Parameterstudien oder Vergleichsrechnungen festgestellt werden, wie groß der Unterschied hinsichtlich der Endergebnisse (z. B. Bauteilabmessungen, Anzahl und Dimension von Verbindungsmitteln) tatsächlich ist. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

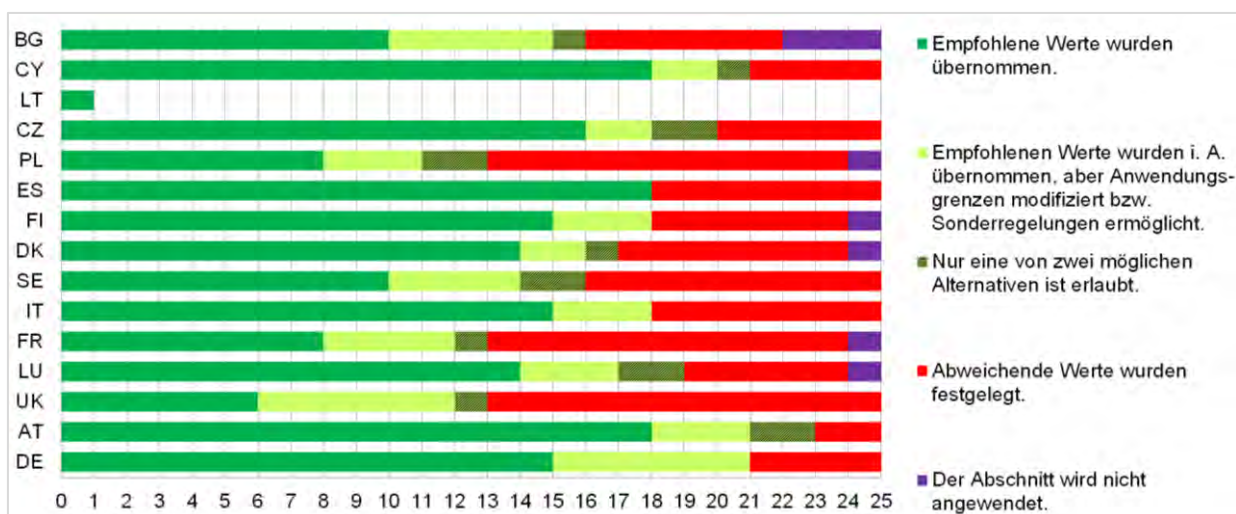


Bild 9.1: Vergleich der Nationalen Festlegungen (NDP) mit Empfehlungen in EN 1993-1-1

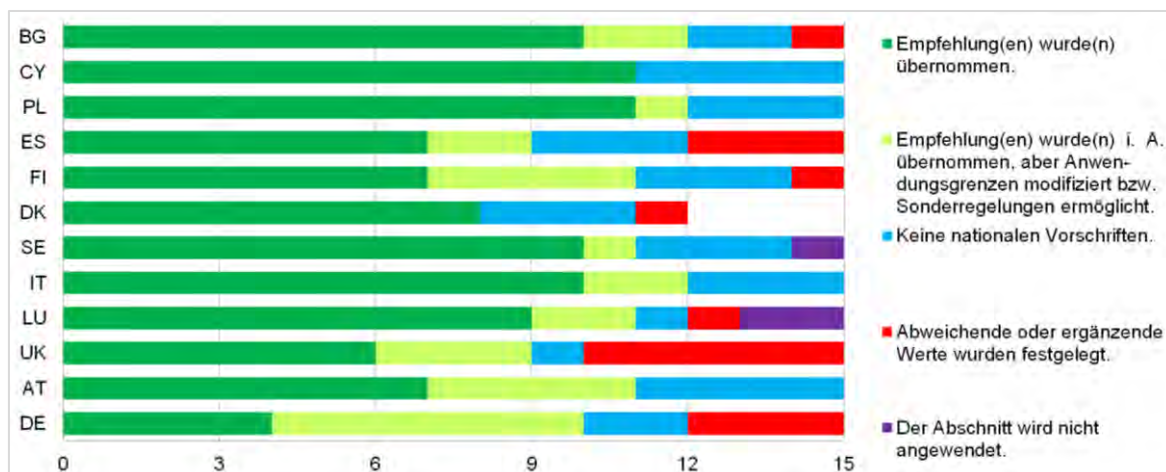


Bild 9.2: Vergleich der Nationalen Festlegungen (NDP) mit Empfehlungen in EN 1993-1-5



Bild 9.3: Vergleich der Nationalen Festlegungen (NDP) mit Empfehlungen in EN 1993-1-8

Tabelle 9.1: Beispiel für einen NDP der Kategorie C (hohes Vereinheitlichungspotential)

Norm	EN 1993-1-1
Parameter	k_c
Beschreibung	Korrekturbeiwert zur Erfassung der Momentenverteilung bei der Berechnung des Modifikationsbeiwertes f
Empfehlung im EC3	nach Tabelle 6.6
Festlegungen in den nationalen Anhängen	
DE, AT, LU, FR, IT, SE, ES, CZ	Es gilt die Empfehlung.
UK	$k_c = 1/\sqrt{C_1}$ $C_1 = \frac{M_{cr} \text{ für die gegebene Momentenverteilung}}{M_{cr} \text{ für eine konstante Momentenverteilung}}$
DK, FI	nicht anzuwenden, weil f mit 1,0 festgelegt ist.
PL	$k_c = \sqrt{C_{mLT}}$; C_{mLT} nach Tabelle B.3

Tabelle 9.2: Beispiel für NDP der Kategorie D (mittleres Vereinheitlichungspotential)

Norm	EN 1993-1-8
Gegenstand	Vorspannung von Schraubenverbindungen
Empfehlung im EC3	Wird die Vorspannung nicht für den Gleitwiderstand eingesetzt, sondern aus anderen Gründen für die Ausführung oder als Qualitätsmaßnahme (z. B. für die Dauerhaftigkeit) gefordert, dann kann die Höhe der Vorspannung im Nationalen Anhang festgelegt werden.
Festlegungen in den nationalen Anhängen	
DE	Für die Vorspannanforderung für die Kategorien B und C mit der Vorspannkraft $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$ und für die Kategorie E mit der vollen Vorspannkraft ist das kombinierte Vorspannverfahren nach DIN EN 1090-2 anzuwenden. Für die Vorspannung als Qualitätssicherungsmaßnahme und für nicht voll vorgespannte Verbindungen der Kategorie E darf eine Vorspannkraft von bis zu $F_{p,C}^* = 0,7 f_{yb} A_s$ angesetzt werden. Diese kann mit den Vorspannverfahren nach Anhang A aufgebracht werden. Für die Sicherung der Garnitur gegenüber Lockern reicht in der Regel eine Vorspannung von 50 % von $F_{p,C}^*$ aus.
AT	Es gibt keine weitere nationale Festlegung.
UK	Wenn die Vorspannung nicht explizit in der Bemessung angesetzt wird, dann besteht keine spezielle Vorspannanforderung.
LU	Aus den Ausführungsunterlagen sollte eindeutig hervorgehen, ob die Vorspannung für die Bemessung oder aus Gründen für die Ausführung erforderlich ist. Im letzteren Fall wird eine Vorspannung gleich $0,5 F_{p,C}$ ($F_{p,C}$ nach Glg. (3.7)) empfohlen, um eine Überlastung der Schraube zu vermeiden.
FR	Wird die Vorspannung nicht für den Gleitwiderstand eingesetzt, sondern aus anderen Gründen für die Ausführung oder als Qualitätsmaßnahme gefordert, dann sind die Vorspannanforderungen in den Ausführungsunterlagen anzugeben. Eine reduzierte Vorspannung sollte bei Bauteilen, die durch Ermüdung oder Erdbeben beansprucht werden, nicht verwendet werden. Sie kann beispielsweise als Korrosionsschutzmaßnahme oder zur Verformungsbegrenzung oder zur Sicherung gegen Lockern angewendet werden, wenn Schrauben nach 3.1.2 verwendet werden.
IT	Wird die Vorspannung nicht für den Gleitwiderstand eingesetzt, sondern aus anderen Gründen für die Ausführung oder als Qualitätsmaßnahme gefordert, dann sind die Schrauben gemäß EN 1090-2, Abschnitt 8.3 anzuziehen.
SE	Die Vorspannkraft sollte $0,7 f_{ub} A_s$ betragen.
DK	Das Vorspannen von Schrauben zur Berücksichtigung anderer Aspekte als Beanspruchbarkeit und Steifigkeit sollte, falls erforderlich, für jeden Einzelfall gesondert festgelegt werden.
FI	In diesem Fall sollte die Vorspannkraft $0,7 f_{ub} A_s$ betragen und die Verbindung zumindest wie eine nichtvorgespannte Verbindung kontrolliert werden.
ES	Es besteht keine minimale Vorspannanforderung, außer wenn es für die Gebrauchstauglichkeit erforderlich sein sollte. In diesem Fall ist das in den Ausführungsunterlagen kenntlich zu machen.

Fortsetzung Tabelle 9.2: Beispiel für NDP der Kategorie D (mittleres Vereinheitlichungspotential)

PL	Zur Erhöhung der Sicherheit gegen Lockern und der Steifigkeit von Scher-/Lochleibungsverbindungen der Kategorie A mit Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 darf eine Vorspannung von $0,5 f_{ub} A_s$ angesetzt werden. Für zugbeanspruchte Verbindungen der Kategorie D, die Stoßbelastungen oder Erschütterungen ausgesetzt sind, ist die Verwendung von Schrauben der Festigkeitsklassen 6.8, 8.8 oder 10.9 nicht zu empfehlen.
CZ	Wird die Vorspannung nicht für den Gleitwiderstand eingesetzt, kann ein handfestes Anziehen der Muttern ohne Kontrolle der Vorspannung als ausreichend angesehen werden.

Bei einigen NDP ist eine Harmonisierung nur schwer möglich. Das betrifft insbesondere NDP für EN 1993-1-1, in denen die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für Hochbauten geregelt sind. Mit Ausnahme von Deutschland, Österreich und Luxemburg enthalten die Nationalen Anhänge zu EN 1993-1-1 aller anderen CEN-Mitglieder vermutlich deren bisherige nationale Regelungen. In Tabelle 9.3 sind alle NDP zu EN 1993-1-1, in Tabelle 9.4 zu EN 1993-1-5 und in Tabelle 9.5 zu EN 1993-1-8 erfasst und entsprechend den ausgewerteten Nationalen Anhängen in die fünf oben genannten Kategorien eingeordnet worden.

Tabelle 9.3: Analyse der NDP zu EN 1993-1-1

Nr.	Abschnitt	Parameter, empfohlene Werte	DE	AT	UK	LU	FR	IT	SE	DK	FI	ES	PL	CZ	LT	CY	BG	Bewertung
1	2.3.1(1)	Einwirkungen, siehe Regeln in EN1991	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
2	3.1(2)	Stahlsorten, gemäß Tabelle 3.1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
3	3.2.1(1)	f_y, f_u gem. Tab. 3.1 oder gem. Produktnormen	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
4	3.2.2(1)	$f_u/f_y \geq 1,10; \epsilon_u \geq 15\%; \epsilon_u \geq 15\epsilon_y$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
5	3.2.3(1)P	niedrigsten Betriebstemperaturen, gemäß NA	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	E
6	3.2.3(3)B	$\alpha_{Ed} = 0,25 f_y(t)$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
7	3.2.4(1)	Z_{ed} gemäß Tabelle 3.2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
8	5.2.1(3)	$\alpha_{cr}, a) \geq 10, \text{ elast. NW } b) \geq 15, \text{ plast. NW}$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
9	5.2.2(8)	Effekte aus Theorie II. Ordnung, Methode c	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
10	5.3.2(3)	e_o/L gemäß Tabelle 5.1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	D
11	5.3.2(11)	Imperfektionen für die Tragwerksberechnung	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	D
12	5.3.4(3)	$k = 0,5$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
13	6.1(1)	γ_{M1} gemäß EN 1993-2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
14	6.1(1)B	γ_{M1} für Hochbauten	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
15	6.3.2.2(2)	α_{LT} gemäß Tabelle 6.3	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
16	6.3.2.3(1)	$\lambda_{LT,0} = 0,4; \beta = 0,75$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
17	6.3.2.3(2)	f, k_c , gemäß Tabelle 6.6	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
18	6.3.2.4(1)B	$\lambda_{c0} = \lambda_{LT,0} + 0,1$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
19	6.3.2.4(2)B	$k_{fi} = 1,1$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
20	6.3.3.(5)	Interaktionsfaktor (Methode 1 oder Methode 2)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	B
21	6.3.4(1)	Allg. Verfahren f. Knick- u. Biegedrillknick-NW	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
22	7.2.1(1)B	Vertikale Durchbiegung, gemäß EN 1990	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
23	7.2.2(1)B	Horizontale Abweichung, gemäß EN 1990	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
24	7.2.3(1)B	Dynamische Effekte, gemäß EN 1990	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
25	BB.1.3(3)B	L_{cr} Bauteile mit Hohlprofilen, $L_{cr} = 0,75 L$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	D

Legende:		Empfohlene Werte wurden übernommen.
		Empfohlene Werte wurden i. A. übernommen, aber Anwendungsgrenzen modifiziert bzw. Sonderregelungen ermöglicht.
Bewertung		A: Vereinheitlichung durch Festschreiben des Wertes möglich
		B: Vereinheitlichung durch Einführung von Klassen möglich
		C: hohes Vereinheitlichungspotential
		D: mittleres Vereinheitlichungspotential (feste Werte o. Klassen)
		E: Vereinheitlichung sehr schwierig
		Der Abschnitt wird nicht angewendet.
		Der Abschnitt ist informativ.
		Der Abschnitt wird im NA nicht erwähnt.

Tabelle 9.4: Analyse der NDP zu EN 1993-1-5

Nr.	Abschnitt	Parameter, Empfehlungen	DE	AT	UK	LU	IT	SE	DK	FI	ES	PL	CY	BG	Bewertung
1	2.2(5)	$\rho_{lim} = 0,5$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
2	3.3(1)	Die Methode in Anmerkung 3 sollte angewendet werden	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	C
3	4.3(6)	$\varphi_n = 2,0$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
4	5.1(2)	η	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	D
5	6.4(2)	k_F	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
6	8(2)	weitere Informationen zum flanschinduzierten Stegblechbeulen	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	C
7	9.1(1)	weitere Anforderungen an Steifen und Detailausbildung	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	B
8	9.2.1(9)	$\theta = 6,0$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
9	10(1)	Beschränkung für Anwendung d. Methode d. reduz. Spannungen	Red	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Blue	Green	Green	D
10	10(5)	Anwendung der Gleichungen (10.4) und (10.5)	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	D
11	C.2(1)	Bedingungen f. Berechnungen m. Finite-Element-Methode (FEM)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
12	C.5(2)	FEM-Berechnungen, Ansatz von Imperfektionen	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
13	C.8(1)	FEM-Berechnungen, Kriterien für den Grenzzustand	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
14	C.9(3)	FEM-Berechnungen, Teilsicherheitsbeiwerte	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	E
15	D.2.2(2)	$\tau_{cr,t}; \chi_{c,t}$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C















Legende:		Empfehlung(en) wurde(n) übernommen.
		Empfehlung(en) wurde(n) i. A. übernommen, aber Anwendungsgrenzen modifiziert bzw. Sonderregelungen ermöglicht.
Bewertung		
A: Vereinheitlichung durch Festschreiben des Wertes möglich		Keine nationalen Vorschriften.
B: Vereinheitlichung durch Einführung von Klassen möglich		Abweichende oder ergänzende Werte wurden festgelegt.
C: hohes Vereinheitlichungspotential		Der Abschnitt wird nicht angewendet.
D: mittleres Vereinheitlichungspotential (feste Werte o. Klassen)		Der Abschnitt ist informativ.
E: Vereinheitlichung sehr schwierig		Der Abschnitt wird im NA nicht erwähnt.

Tabelle 9.5: Analyse der NDP zu EN 1993-1-8

Nr.	Abschnitt	Parameter, Empfehlungen	DE	AT	UK	LU	FR	IT	SE	DK	FI	ES	PL	CZ	BE	Bewertung
1	1.2(6)	Niete	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	E
2	2.2(2)	γ_M für Verbindungen	Light Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	C
3	3.1.1(3)	Schraubenfestigkeitsklassen nach Tabelle 3.1	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	B
4	3.4.2(1)	Höhe der Vorspannkraft gemäß NA	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	D
5	5.2.1(2)	Weitere Hinweise zur Klassifizierung von Anschlüssen	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	A
6	6.2.7.2(9)	$F_{tr,Rd}; F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \cdot h_t/h_x$	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A

Legende:		Empfohlene Werte wurden übernommen.
		Empfohlene Werte wurden i. A. übernommen, aber Anwendungsgrenzen modifiziert bzw. Sonderregelungen ermöglicht.
Bewertung		
A: Vereinheitlichung durch Festschreiben des Wertes möglich		Nur eine von zwei möglichen Alternativen ist erlaubt.
B: Vereinheitlichung durch Einführung von Klassen möglich		Abweichende Werte wurden festgelegt.
C: hohes Vereinheitlichungspotential		Der Abschnitt wird nicht angewendet.
D: mittleres Vereinheitlichungspotential (feste Werte o. Klassen)		Der Abschnitt ist informativ.
E: Vereinheitlichung sehr schwierig		Der Abschnitt wird im NA nicht erwähnt.

Das daraus resultierende Vereinheitlichungspotential ist in den Bild 9.5 bis 9.7 dargestellt.

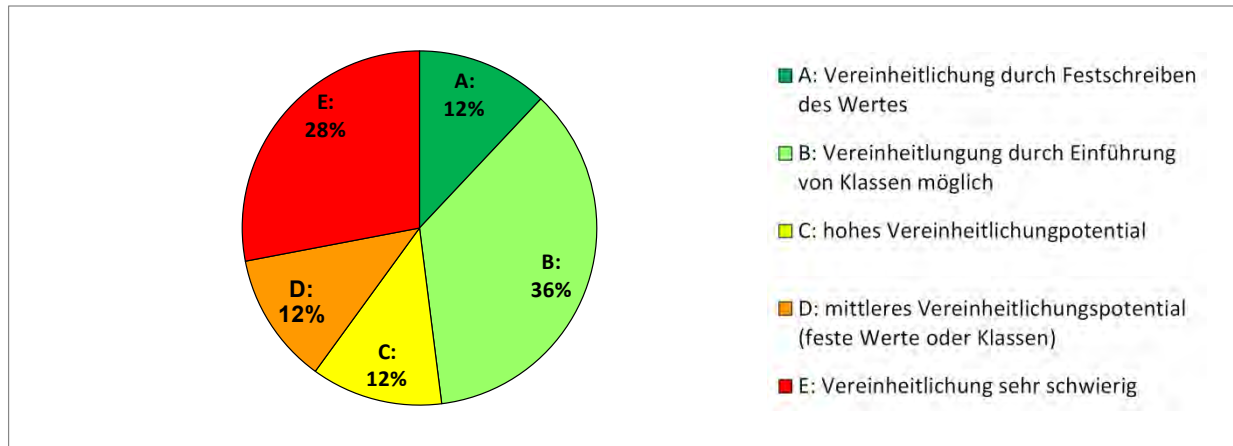


Bild 9.5: Vereinheitlichungspotential der NDP zu EN 1993-1-1 (14 Länder ausgewertet)

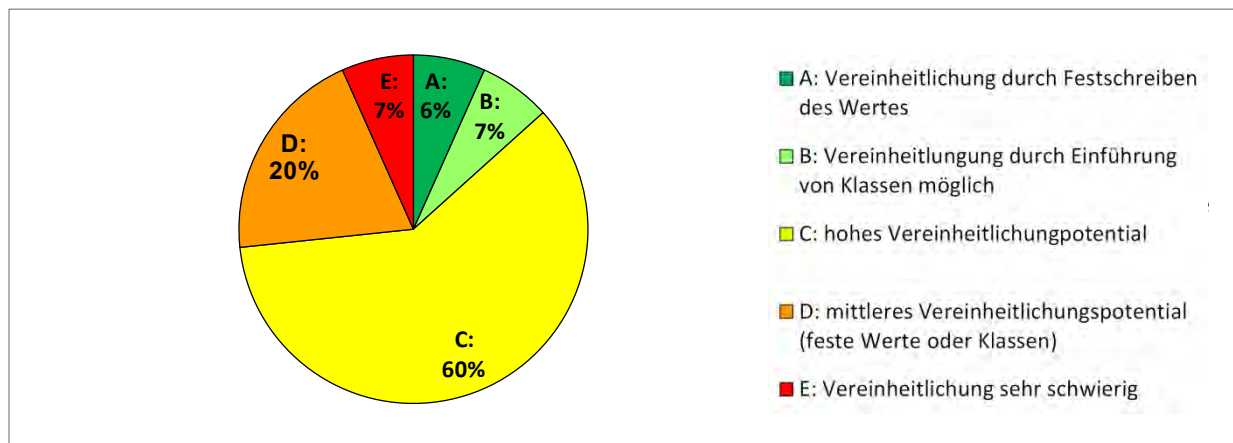


Bild 9.6: Vereinheitlichungspotential der NDP zu EN 1993-1-5 (12 Länder ausgewertet)

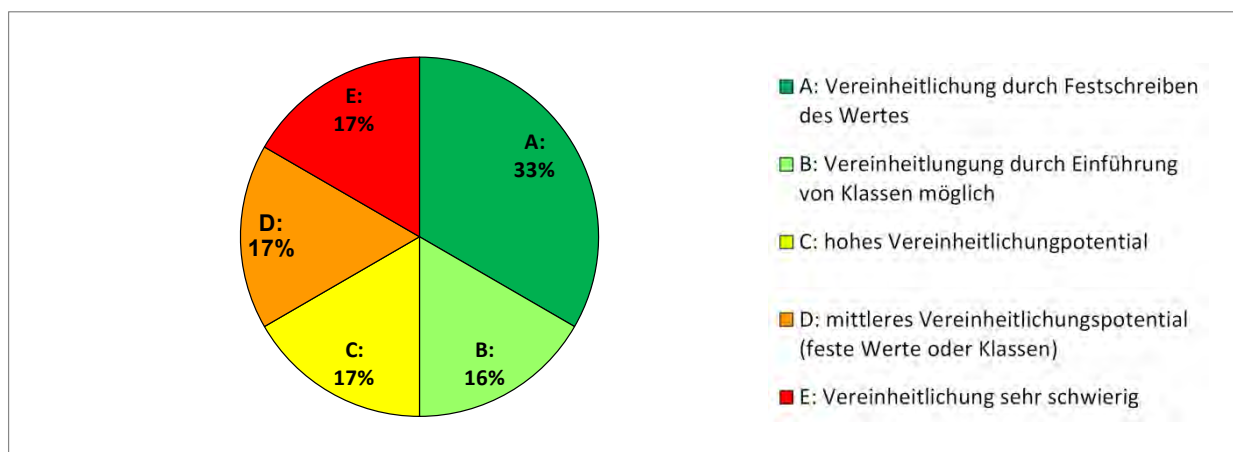


Bild 9.7: Vereinheitlichungspotential der NDP zu EN 1993-1-8 (12 Länder ausgewertet)

9.2 Lösungsvorschläge

Um die Anzahl der NDP und damit auch den Umfang von Eurocode 3 und der zugehörigen Nationalen Anhänge zu reduzieren, gibt es mehrere Möglichkeiten. Bei Parametern der Kategorie A kann die Empfehlung in der Norm fixiert werden. Falls es sich dabei aber um Teilsicherheitsbeiwerte handelt, kann es ggf. aus formellen Gründen erforderlich sein, trotzdem eine Öffnungsklausel in EN-1993-1-x beizubehalten. Eine Einführung von Klassen wäre für Parameter der Kategorie B möglich.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass durch Überarbeitung oder Straffung entsprechender Abschnitte NDP entfallen, z. B. wenn alternative oder selten angewendete Nachweisformate entfallen.

Wegen der Vielzahl an Parametern und der zahlreichen Querverweise zwischen den einzelnen Teilen des Eurocode 3 ist es nicht auszuschließen, dass vergleichbare Einflussfaktoren bei verschiedenen CEN-Mitgliedern an unterschiedlichen Stellen berücksichtigt werden. Deshalb können einzelne NDP beim Versuch der Unifizierung auch nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, sondern sind im Hinblick auf das Endergebnis zu bewerten. Im Ergebnis dieser Betrachtung kann es möglich sein, dass mehrere NDP ohne Einfluss auf das Endergebnis zusammengefasst werden können.

Bei der Überarbeitung ist darauf zu achten, dass die Empfehlungen für die verbleibenden NDP in sich konsistent sind, d. h. die Anwendung der Empfehlungen führt zu Ergebnissen, die auf der sicheren Seite liegen, und eine Mischung unterschiedlicher nationaler Nachweismethoden unterbleibt. Auch sind die Auswirkungen auf andere, (noch) nicht in der Überarbeitung befindliche Teile des Eurocode 3 zu berücksichtigen.

Bei der Überarbeitung kann es sich ggf. als zweckmäßig erweisen, neue NDP einzuführen, um den Umfang der Nationalen Anhänge durch den Wegfall z.T. sehr umfangreicher NCI zu reduzieren.

Für konkrete Änderungsvorschläge auf der Grundlage der oben genannten Ansätze sind eine weitergehende Auswertung mit Recherchen zu den Hintergründen der nationalen Regelungen, Parameterstudien und Vergleichsrechnungen erforderlich. Zu diesem Zweck wurde die Analyse der Nationalen Anhänge an den NABau Spiegelausschuss zum SC 3 weitergeleitet.

10 Hintergrundberichte für den Eurocode 3

(Autor: Volker Hüller, Ines Prokop)

10.1 Dokumente im Joint Research Centre in Ispra

Für die Erarbeitung der Eurocodes wurden in den vergangenen Jahren die technischen Hintergründe, die zur Entscheidung einzelner Details im Regelwerk geführt haben, in Form von Forschungsberichten aktenkundig gemacht. Diese Forschungsberichte und zusätzliche erläuternde Papiere wurden im Auftrag der europäischen Kommission beim Joint Research Centre (JRC) in Ispra (Italien) gesammelt.⁸

Das JRC ist eine Großforschungseinrichtung der europäischen Kommission und unterstützt die europäische Politik durch technisch wissenschaftliche Dienstleistungen. Der für die Eurocodes zuständige Bereich ist dem JRS-Standort in Ispra zugordnet. In Ispra betreut ein Forschungsbereich, der sich um das Bauwesen kümmert, in einem kleinen Arbeitsbereich die erwähnten Eurocode-Hintergrundberichte.⁹ Dort arbeiten Personen aus verschiedenen Mitgliedsländern der europäischen Union eng zusammen. Die ausgearbeiteten Dokumente und die Hintergrundberichte zum Eurocode sind alle in Englisch verfügbar und unter der Internetadresse <https://ec.europa.eu/jrc/en/search/site/eurocode> recherchierbar. Die Konzentration der neueren Dokumente für die Erarbeitung der Eurocodes im JRC hat den Vorteil, dass die Recherche der Hintergrundberichte für alle Eurocodes an einer Stelle möglich ist.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die JRC-Dokumente bezüglich ihrer Relevanz für den Eurocode 3 gesichtet. Aus der Vielzahl der Hintergrundberichte für die Eurocodes wurden die für den Eurocode 3 wichtigen Hintergrundberichte herausgefiltert und daraus eine Dokumentensammlung zusammengestellt und kommentiert. Für den Eurocode 3 bedeutet dies, dass mit der ausgearbeiteten Unterlage alle Hintergrundberichte des Eurocode 3 dem Spiegelausschuss in Deutschland für die weiteren Arbeiten zur Verfügung stehen.

10.2 Grundlagendokumente für die Vornormen

Die Hintergründe der Vornormen der Eurocodes dagegen wurden von den verschiedenen Experten veröffentlicht bzw. in Berichte gefasst und gesammelt. Ein Teil der Berichte ist Bestandteil von Forschungsvorhaben an Hochschulen und Universitäten. Daher können die Berichte, die den Vornormen zugrunde lagen, nur mit großem Aufwand eruiert und zugänglich gemacht werden. Die Recherche der Grundlagendokumente für die Vornormen des Eurocode 3 ist daher noch nicht abgeschlossen. Wenn es gelingt, einzelne oder größere Strukturen dieser Dokumente zugänglich machen zu können, werden auch diese dem deutschen Spiegelausschuss für den Eurocode 3 zur Verfügung gestellt.

⁸ Website des JRC unter: www.jrc.ec.europa.eu.

⁹ Das JRC ist dem EU-Kommissar für Bildung und Kultur, Jugend und Sport zugeordnet. Mit ca. 2.800 Mitarbeitern und einem Jahresetat von ca. 350 Mio. Euro ist das Joint Research Centre eine Großforschungseinrichtung, deren Ursprung die Nuklearforschung war. Mittlerweile ist die Forschungseinrichtung überwiegend in nicht-nuklearen Bereichen aktiv und ähnelt insofern den Forschungszentren Jülich und Karlsruhe. Die Einrichtungen des JRC sind auf mehrere Standorte und Mitgliedsländer verteilt. Stammsitz ist bei der europäischen Kommission in Brüssel. Normalerweise ist in Ispra das Institut für Umwelt und Nachhaltigkeit (IES), das Institut für Gesundheit und Verbraucherschutz (IHCP), das Institut für Schutz und Sicherheit des Bürgers (IPSC) beheimatet. Hieraus lässt sich entnehmen, dass die Arbeiten des Joint Research Centre, welches sowohl in Deutschland, Belgien, den Niederlanden als auch Italien und Spanien Niederlassungen hat, sehr vielfältig sind.

11 Ausführung von Stahltragwerken - EN 1090-2

11.1 Bestandsanalyse

11.1.1 Umfang, Struktur und Lesbarkeit der Norm

(Autor: Herbert Schmidt)

Umfang

Normen für die Fertigung und Errichtung von Stahltragwerken gibt es in Deutschland streng genommen erst seit etwa Mitte des 20. Jahrhunderts. Vorher wurden die Regeln für die Stahlbauausführung von den großen „Stahlbauanstalten“ in eigener Verantwortung für ihre Mitarbeiter aufgestellt. 1983 wurde in der Bundesrepublik erstmals eine eigenständige Norm DIN 18800-7 „Stahlbauten – Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen“ herausgegeben, worin auf 11 Seiten die verstreuten Einzelregelungen zusammengefasst wurden. Parallel dazu gab es allerdings in der DDR ab 1975 die 9-teilige TGL-Reihe 13510 „Ausführung von Stahltragwerken“, deren Regelungsumfang schon deutlich größer war als in der BRD. Im wiedervereinigten Deutschland erschien im Jahre 2002 eine völlig überarbeitete Ausgabe der DIN 18800-7 unter dem Titel „Stahlbauten – Ausführung und Herstellerqualifikation“. Sie war 45 Seiten lang, hat sich – nach anfänglichen Akzeptanzproblemen – in der Praxis bewährt und ist für die heutige Generation erfahrener deutscher Stahlbaupraktiker quasi das Maß aller Dinge, mit dem die EN 1090-2 verglichen wird.

Diese erschien erstmals im Juli 2008. In Form der deutschen Version DIN EN 1090-2:2011-10 ist sie zusammen mit den Eurocodes seit Juli 2012 zunächst mit Übergangsregelungen und seit Juli 2014 endgültig bauaufsichtlich als „Technische Baubestimmung“ eingeführt und hat damit die DIN 18800-7 abgelöst. Europaweit gelten nunmehr verbindlich die einheitlichen Regeln der EN 1090-2 für die Ausführung von Stahltragwerken. Nationale Anhänge wie bei den Eurocodes gibt es nicht.

EN 1090-2 ist insgesamt 206 Seiten lang, wovon 20 Seiten auf informative Anhänge entfallen. Der normative Regelungsumfang hat also gegenüber DIN 18800-7 vordergründig auf das Vierfache zugenommen! Sucht man nach den Ursachen für diese unverhältnismäßig erscheinende „Aufblähung“, so ist als Erstes festzuhalten, dass der sachlich-inhaltliche Umfang überhaupt nicht zugenommen hat. Im Gegenteil: Kapitel 13 „Herstellerqualifikation“ von DIN 18800-7 muss aus dem Vergleich heraus gelassen werden, da inhaltlich jetzt in die harmonisierte Produktnorm EN 1090-1 übergegangen. Im Übrigen sind die sachlichen Inhalte der 12 Kapitel beider Normen identisch – kein Zufall, sondern bei der Erarbeitung der neuen DIN 18800-7 Ende der 1990er Jahre bewusst als Anpassung an die 1998 erschienene europäische Vornorm ENV 1090 so gewählt. In Tabelle 11.1 werden die Kapitel einzeln hinsichtlich ihres gewachsenen Umfangs analysiert.

Tabelle 11.1: Umfang von DIN 18800-7 und EN 1090-2 im Vergleich

Kapitel im Haupttext (+ normative Anhänge)		Anzahl Seiten ca.		Bemerkungen zum gewachsenen Umfang
Nr.	Inhalt	DIN 18800-7	EN 1090-2	
0	Vorwort, Inhaltsverz., Literaturverz.	4,5	10,5	unkritisch
1	Anwendungsbereich	0,2	0,5	unkritisch
2	Normative Verweisungen	5,5	9	unvermeidbar wegen Normenflut
3	Begriffe	1	2	unkritisch

Fortsetzung Tabelle 11.1: Umfang von DIN 18800-7 und EN 1090-2 im Vergleich

Kapitel im Haupttext (+ normative Anhänge)		Anzahl Seiten ca.		Bemerkungen zum gewachsenen Umfang
Nr.	Inhalt	DIN 18800-7	EN 1090-2	
5	Werkstoffe / Konstruktionsmaterialien	4,5	9,5	relativ unkritisch
6	Fertigung / Vorbereit., Zusammenbau	1,5	10	Haupttext 6,5-fach → zu hinterfragen
7	Schweißen	4	15	Haupttext 5-fach → zu hinterfragen
8 (+ G, H, J)	Schrauben- und Nietverbindungen / Mechanisches Verbinden	8	11,5 (+12,5)	Haupttext unkritisch, Anhänge sind zu hinterfragen
9	Montage	1	8	Haupttext 8-fach → zu hinterfragen
10 (+F)	Korrosionsschutzmaßnahmen / Oberflächenbehandlung	2	3,5 (+5,5)	insgesamt 4,5-fach , Vermischung der Inhalte → beides ist zu hinterfragen
11 (+D)	Geometrische Toleranzen	1,5	3,5 (+52)	Haupttext relativ unkritisch, aber: Anhang D sprengt alle Grenzen
12(+M)	Prüfungen / Kontrolle, Prüfung, Korrektur	4	14 (+2)	insgesamt 4-fach , → zu hinterfragen
Summe		38,5	99 (+82)	

Die Analyse in Tabelle 11-1 lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Umfangszunahme des Haupttextes ist besonders ausgeprägt in denjenigen Kapiteln, die zu einem wesentlichen Anteil handwerkliche und fertigungsplanerische Tätigkeiten beschreiben (6-Fertigung, 7-Schweißen, 9-Montage, 10-Korrosionsschutzmaßnahmen).
- Eine unverhältnismäßig große Umfangszunahme findet sich auch bei den Kontrollen und Prüfungen (Kapitel 12).
- 45 % des normativen Regelungsumfangs finden sich in Anhängen. Dabei ist Anhang D (Tabellen der geometrischen Toleranzen) mit 52 Seiten (= 29 % des normativen Gesamtregelungsumfangs) der absolute Spitzenreiter.

Makrostruktur

Wie bereits erwähnt, ist die Kapiteleinteilung 1 bis 12 identisch mit derjenigen in DIN 18800-7. Sie ist sachlich schlüssig und nicht zu kritisieren. Zu kritisieren ist dagegen, dass sich fast die Hälfte des normativen Regelungsumfangs in den 12 (!) Anhängen findet. Anhänge waren in deutschen Normen des Konstruktiven Ingenieurbaus weitgehend unbekannt. Sie passten nicht in die traditionelle deutsche Vorstellung, dass eine Norm das „Normale“ in möglichst knapper Form regeln, aber im Grundsatz für Fachleute geschrieben sein soll. Gemäß dieser Vorstellung gehören Erläuterungen, Hintergrundinformationen und aufbereitete Hilfsmittel wie Formeln, Tabellen und Diagramme in getrennte Publikationen, da sie nicht „regelungsbedürftig“ sind, oft sogar „Lehrbuchwissen“ darstellen.

Es hat sich aber herausgestellt, dass das in der internationalen Normung nicht durchzuhalten ist: So genannte *informative* Anhänge gehören heute in zunehmender Anzahl zu bautechnischen ISO- und EN-Normen (z. B. auch zu den Eurocodes). Das erklärt sich aus den oft sehr unterschiedlichen Technik- und Bautraditionen in den verschiedenen Ländern, für die die Normen einheitlich gelten sollen. Informative Anhänge stellen sicher, dass man bei der Umsetzung der normativen Regeln von gleichen Voraussetzungen ausgeht, dass man quasi die „gleiche Techniksprache spricht“. Vor diesem Hintergrund muss man die informativen Anhänge als legitimes Werkzeug zur erfolgreichen internationalen Vereinheitlichung der Normung akzeptieren.

Anders verhält es sich mit *normativen* Anhängen. Sie sind aus Sicht des Autors eine normungstechnische Unsitte und höchstens für umfangreiche normative Tabellen (Beispiel: Anhang D in EN 1090-2) oder für in sich geschlossene normative Verfahrensanweisungen (Beispiel: Anhänge G und H in EN 1090-2) „zähneknirschend“ zu vertreten. In beiden Fällen würde der Verständnisfluss im Haupttext gestört, wenn man das umfangreiche Regelungsmaterial dort einbauen würde.

Das gegenteilige Beispiel ist Anhang F in EN 1090-2: Der dort behandelte Korrosionsschutz stellt einen so grundlegenden Aspekt für die Ausführung von Stahlbauten dar, dass er ohne jeden Zweifel in den Haupttext gehört – es sei denn, man würde ihn als „informativ“ einstufen, was aber nicht richtig wäre. Besonders misslungen ist darüber hinaus, dass die Oberflächenvorbereitung für Beschichtungen und Überzüge sowohl in diesem Anhang F als auch im Kapitel 10 des Haupttextes angesprochen wird. Diese thematische Doppelgleisigkeit wurde bereits im Beuth-Kommentar [*Schmidt et al, 2012*] als erheblicher struktureller Mangel von EN 1090-2 kritisiert.

Mikrostruktur

Die Mikrostruktur der EN 1090-2 hat aus Sicht des Autors drei kleinere Mängel:

- Der Haupttext enthält keine Absatznummern (xy) wie z. B. die Normenreihe DIN 18800 und auch die Eurocodes. Dadurch wird sowohl das Verständnis als auch die Zitierbarkeit innerhalb und außerhalb der Norm erschwert. Andererseits findet sich an etlichen Stellen eine übertriebene Dezimal-Substrukturierung in Unterunterabschnitte W.X.Y.Z (mit teilweise nur einem einzigen Satz), die durch eine sachlich zusammenfassende Absatznummerierung überflüssig würde.
- An einigen Stellen wird die inhaltliche Strukturierung (z. B. zeitliche Abfolge der einzelnen Tätigkeiten) nicht konsequent durchgehalten, was ebenfalls das Verständnis erschwert.
- Empfehlungen / Erläuterungen / Hinweise werden oft nicht sauber erkennbar von wirklich normativen, d. h. verbindlichen Regeln abgesetzt. Erstere sollten zunächst hinsichtlich ihrer Notwendigkeit kritisch hinterfragt werden, gehören aber, sofern sie denn als notwendig erachtet werden, grundsätzlich in eine Anmerkung.

Lesbarkeit

Die meisten Regeln, Anforderungen und Anweisungen der EN 1090-2 sind ausreichend verständlich formuliert. Es gibt aber eine Reihe von Ausnahmen, wobei sich aus Sicht des Autors drei verbesserbare Aspekte benennen lassen:

- Ein für einen Sachverhalt einmal gewählter Begriff wird nicht konsequent durchgehalten. Das kommt zum Teil schon im englischsprachigen Urtext vor. Zum Teil ist es eine Folge der Übersetzung. Beispiel: „Inspection plan“ (= „Kontrollplan“ oder = „Prüfplan“) oder „inspection and test plan“ (= „Kontroll- und Prüfplan“ oder = „Kontroll- und Prüfunterlagen“). Vermutung: Es ist stets dasselbe gemeint.
- Schwer verständliche Formulierungen (teilweise schon im Englischen). Beispiel: „Plug welds shall be made only on slot welds after the fillet welding in the slot has been checked as satisfactory“ = „Lochnähte dürfen nur an Schlitznähten gemacht werden, bei denen die Kehlnähte im Schlitz mit zufriedenstellendem Ergebnis überprüft worden sind“.
- Verunglückte Übersetzungen. Beispiel: „Mechanical resistance and stability“ = „statische Tragfähigkeit und Standsicherheit“ (suggeriert fälschlicherweise, dass Ermüdung infolge dynamischer Beanspruchungen ausgeschlossen ist).

11.1.2 Defizite in der EN 1090-2 aus Sicht der Stahlbauindustrie

(Autoren: Gregor Machura, Volker Hüller)

Ausgangslage

Die Strukturen im Stahl- und Metallbau in Europa sind in den verschiedenen Ländern historisch gewachsen und haben sich ungleich entwickelt. In engem Zusammenhang damit sind die Schwerpunkte in der Ausbildung in der Metall- und Stahlbauindustrie unterschiedlich gelagert. Daraus ergibt sich in Europa eine inhomogene Einhaltung wie auch Auslegung der Hersteller-norm EN 1090-2:2008+A1:2011.

Ziel und Vorgehensweise

Ziel ist es, nach der Einführung der EN 1090-2 und den ersten Erfahrungen in der Anwendung und Umsetzung der Norm die offenen Punkte von der deutschen Stahlbauindustrie auf der europäischen Plattform einzubringen und zu erläutern. Es ist angestrebt, die Lücken in Formulierungen und fehlende Regeln in der zukünftigen Ausgabe der EN 1090-2 zu ergänzen.

Die Lösungsvorschläge sind als Basis für die Diskussion in der Working Group WG02 des CEN/TC 135 ausgearbeitet worden. Die Autoren haben die Lösungsvorschläge mit Vertretern aus dem NA 005-08-14 AA (Arbeitsausschuss Stahlbauten, Herstellung, SpA zu CEN/TC 135 und ISO/TC 167) entwickelt und diskutiert sowie im zweiten Schritt in die WG02 eingebracht.¹⁰ Die Ergebnisse sind im Entwurf prEN 1090-2 im Juni 2015 veröffentlicht worden. Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern aller Voraussicht nach von Juni 2015 bis Oktober 2015 zur Umfrage vorgelegt. Der geplante Beginn der offiziellen Umfrage ist am 18.06.2015 und endet am 18.10.2015.

Überschneidungen zwischen EN 1090-2 und DIN EN 1993-1-8

Neben den Regelungen der EN 1090-2 enthält auch der nationale Anhang zur DIN EN 1993-1-8/ NA:2010-12 Ausführungsregelungen für deutsche Industrie. Teilweise überschneiden sich die Regelungen beider Normen.

Tabelle 11.2 Ergänzungen EN 1090-2:2008+A1:2011 und DIN EN 1993-1-8/ NA:2010-12

EN 1090-2:2008+A1:2011 Kapitel mit normativen Anhängen		DIN EN 1993-1-8/ NA:2010-12	Bemerkung
0	Vorwort, Einleitung	- Keine Vorgaben	keine
1	Anwendungsbereich	- Keine Vorgaben	keine
2	Normative Verweisungen	- Keine Vorgaben	keine
3	Begriffe	- Keine Vorgaben	keine
4	Ausführungsunterlagen und Dokumentation	- Keine Vorgaben	keine
5	Konstruktionsmaterialien	- NCI Anhang NA.B - NA.B.1 bis NA.B.3	keine

¹⁰ Zu den Beteiligten Personen gehören Mitglieder des BFS und DSTV; Herr Detlef Ulbrich vom DIBt, Refereat 136; Herr Jörg Mährlein von der Gesellschaft für Schweißtechnik International sowie die Herren Mark Huckshold und Patrik Düren-Rost vom Industrieverband Feuerverzinken e. V.

Fortsetzung Tabelle 11.2 Ergänzungen EN 1090-2:2008+A1:2011 und DIN EN 1993-1-8/ NA:2010-12

EN 1090-2:2008+A1:2011 Kapitel mit normativen Anhängen		DIN EN 1993-1-8/ NA:2010-12	Bemerkung
6	Vorbereitung und Zusammenbau	- NCI Stumpfstoß von Querschnittsteilen verschiedener Dicken - NCI Geschweißte Endanschlüsse - zusätzlicher Gurtplatten - NCI Gurtplattenstöße	NCI ist zu hinterfragen
7	Schweißen	- NCI zu 4.5.2 Grenzwert für Kehlnahtdicken - NCI Anhang NA.B - NCI NA.B.1 und NA.B.4	NCI ist zu hinterfragen
8 mit Anhang G, H u. J	Mechanisches Verbinden	- NCI zu Abschnitt 3.1.1 Verzinkte Schrauben - NDP zu 3.1.1(3) Anmerkung - NDP zu 3.4.2(1) Anmerkung - NCI NA.A.1 bis NA.A.4 und NA.B.5	keine
9	Montage	- Keine Vorgaben	keine
10 mit Anhang F	Oberflächenbehandlung und Korrosionsschutz	- NCI zu Abschnitt 3.1.1 - Verzinkte Schrauben	NCI ist zu hinterfragen
11 mit Anhang D	Geometrische Toleranzen	- Keine Vorgaben	keine
12 mit Anhang M*	Kontrolle, Prüfung und Korrekturmaßnahmen	- Keine Vorgaben	keine

Die Analyse in Tabelle 2 lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Die zusätzlichen Regeln und Anforderungen an die Hersteller und die Ausführung von Stahltragwerken können in zwei Kategorien aufgeteilt werden.

1. Konstruktive Ausführungsvorgaben
2. Einschränkung der Ausführungsmöglichkeiten

Es gibt für beide Kategorien sowohl positive als auch negative Argumente. Wobei die Konstruktive Ausführungsvorgaben sehr kritisch beobachtet werden sollten.

11.2 Lösungsvorschläge

11.2.1 Verbesserung von Umfang, Struktur und Lesbarkeit der Norm

(Autor: Herbert Schmidt)

Reduzierung des Umfangs

Der Umfang des Haupttextes ließe sich nur dann erheblich reduzieren, wenn man – der deutschen Normungstradition folgend – handwerkliche, fertigungsplanerische und kontrollierende bzw. prüfende Tätigkeiten nicht bis ins letzte Detail beschreiben, sondern der Verantwortung der entsprechend ausgebildeten Facharbeiter, Techniker bzw. Meister überlassen würde. Das ist aber europäisch nicht durchsetzbar und wohl angesichts der sehr unterschiedlichen Bau- und Ausbildungstraditionen der Länder letztlich auch nicht sinnvoll. Fazit: Der „abstoßende“ Umfang der EN 1090-2 ist zu einem großen Teil der Preis für europäisch einheitliche Ausführungsregeln!

Eine gewisse Umfangsreduzierung des Haupttextes lässt sich aber dennoch durch zweierlei Maßnahmen erreichen:

- Weglassen (nach sorgfältiger Prüfung) von wirklich überflüssigen Statements, z. B. vom Typ „Wenn ein Bauteil die Anforderungen nicht erfüllt, ist es ein nichtkonformes Bauteil“.
- Ausgliederung von detaillierten Anweisungslisten, die strukturell ohnehin als informativ einzustufen sind (siehe weiter unten) in informative Anhänge. Das bietet sich besonders ausgeprägt in Kapitel 9 „Montage“ an.

Die Länge der vom Autor erstellten Lesefassung seiner Änderungsvorschläge für die Kapitel 3 bis 12 beträgt – bei etwa gleichem Layout und unter Berücksichtigung der zukünftig in die EN 1090-4 auszugliedernden Regeln für dünnwandige Profilbleche – immerhin nur etwa 70% der ursprünglichen Länge.

Der Umfang der normativen Anhänge ließe sich reduzieren, wenn man die Definition „normativ“ strenger handhaben würde. Danach wären aus der Sicht des Autors die jetzigen Anhänge A und M nur informativ (siehe weiter unten). Da außerdem Anhang F in den Haupttext integriert werden sollte (siehe ebenfalls weiter unten) und der für die „Aufblähung“ des normativen Regelungsumfangs der EN 1090-2 allein zu 29 % verantwortliche Anhang D (vgl. 11.1.1) inzwischen schon vom europäischen Arbeitsausschuss CEN/TC 135 durch Zusammenfassung der grundlegenden und ergänzenden Toleranzen zu jeweils nur einer Tabelle pro Merkmalgruppe von 52 auf 39 Seiten reduziert wurde, würde der Umfang der normativen Anhänge von jetzt 82 Seiten auf 48 Seiten abnehmen. Weniger ist wohl nicht möglich – es sei denn, man würde den Detaillierungsgrad wesentlich reduzieren, was aber aus den oben genannten Gründen europäisch nicht durchsetzbar ist.

Beim Umfang der informativen Anhänge ist bereits beim jetzigen Überarbeitungsstatus der prEN 1090-2 eine Zunahme festzustellen. Das ist aber nach Meinung des Autors kein Problem, wenn man sie gemeinsam nach den normativen Anhängen anordnet (siehe weiter unten).

Verbesserung der Makrostruktur

Aus der Analyse der Makrostruktur der EN 1090-2 lassen sich folgende Verbesserungsmöglichkeiten ableiten:

- Die Anzahl der normativen Anhänge sollte auf das unbedingt Notwendige beschränkt werden. Von den derzeit als normativ eingestuft (und zukünftig nicht entfallenden) Anhängen sollten nach Auffassung des Autors als informativ eingestuft werden:

- Anhang A „Zusatzangaben ... Anforderungen“. Begründung: Die Tabellen enthalten keine eigenständige, gegenüber dem Haupttext neue normative Information, sondern stellen lediglich – übrigens sehr hilfreiche und lobenswerte – Checklisten von Punkten dar, die sämtlich im Haupttext angesprochen werden (und dort natürlich normativ sind).
- Anhang M „Sequentielles ... Verbindungsmitteln“. Begründung: Es gibt keine vernünftige Begründung dafür, eine so spezielle, hochtheoretisch hergeleitete und zu falscher Anwendung verleitende Stichprobenauswahlmethode normativ vorzuschreiben.
- Die Reihenfolge der normativen und informativen Anhänge sollte derart umgeordnet werden, dass erst alle normativen Anhänge kommen und dann die informativen Anhänge folgen. Das erleichtert es dem Anwender, zu erkennen, ab wo er die (unvermeidbar zahlreichen und langen, vgl. weiter oben) Texte nicht unbedingt lesen muss.
- Kapitel 10 und Anhang F sollten zu einem Kapitel „Oberflächenbehandlung und Korrosionsschutz“ im Haupttext zusammengefasst werden. Als Gliederung wird vorgeschlagen:
 - 10.1 Allgemeines
 - 10.2 Oberflächenbehandlung – allgemein
 - 10.3 Korrosionsschutzplanung
 - 10.4 Oberflächenvorbereitung für Korrosionsschutzsysteme
 - 10.5 Passive Korrosionsschutzverfahren
 - 10.6 Kontrolle und Überprüfung von Korrosionsschutzarbeiten

Verbesserung der Mikrostruktur

Verbesserungsmöglichkeiten der Mikrostruktur folgen unmittelbar aus den in 11.1.1 identifizierten Mängeln:

- Der gesamte Haupttext sollte mithilfe von Absatznummern (xy) besser durchstrukturiert werden. Dabei müssen, wo angebracht, auch mehrere sachlich zusammengehörige Textabsätze zusammengefasst werden. Zusätzlich bietet sich dadurch an etlichen Stellen die Möglichkeit, auf übertriebene Dezimal-Substrukturierung zu verzichten. Das macht das Inhaltsverzeichnis etwas übersichtlicher.
- Die inhaltliche Strukturierung sollte an einigen Stellen verbessert werden.
Beispiel: In Kapitel 9 „Montage“ könnte die vom Ansatz her vernünftige Reihenfolge „Baustelleneinrichtung - Montageplanung - Vermessung - Auflagerungen - konkrete Ausführungsarbeiten“ begrifflich und sachlich noch konsequenter eingehalten werden.
- Sätze oder Textstücke mit empfehlendem, erläuterndem bzw. hinweisendem Charakter sollten konsequent als Anmerkung formuliert werden. Die wirklich normativen Regeln müssen sprachlich klar erkennbar sein, d. h. mit „muss“, „darf“, „darf nicht“ usw. formuliert werden.

Verbesserung der Lesbarkeit

Nach Überzeugung des Autors ist es möglich, die Lesbarkeit der Normtexte in EN 1090-2 an vielen Stellen deutlich zu verbessern. Das erfordert ein sorgfältiges und kritisch abwägendes Durcharbeiten der Texte, wobei vor allem die drei in 11.1.1 identifizierten Aspekte berücksichtigt werden müssten. Bei der Übersetzung sind auch noch Klarstellungen dadurch möglich, dass man neben der rein sprachlichen Übersetzung die unterschiedlichen „Ingenieurterminologien“ beachtet. Beispiel: Die „*coating methods*“ sind im Englischen der Oberbegriff für „*painting*“, „*metal spraying*“ und „*galvanizing*“, was in sich logisch ist. Würde man „*painting*“ sprachlich korrekt mit „Anstreichen“ übersetzen (früher ein durchaus geläufiger Begriff im deutschen Korrosionsschutz), so gäbe es kein Problem. Da aber diese Art von organischem Korrosions-

schutz in Deutschland nur noch „Beschichtung“ genannt werden darf, andererseits die korrekte Übersetzung von „*coating*“ ebenfalls „Beschichtung“ ist, gibt es ein unnötiges Verständnisproblem.

Ein eher formaler, aber die Lesbarkeit der Texte ebenfalls verbessernder Vorschlag wäre, für die Dezimalstruktur der Normtexte eine logische Bezeichnungshierarchie einzuführen, anstatt alles mit „Abschnitt“ zu bezeichnen, egal ob 15 Seiten oder 15 Zeilen lang: X → Kapitel, X.1 → Abschnitt, X.1.2 → Unterabschnitt, X.1.2.4 → Unterunterabschnitt, (YZ) → Absatz.

Zusammenfassung

Der Autor hat in einer ausführlichen Synopse die in 11.1.1 allgemein formulierten Erkenntnisse der Bestandsanalyse und das in 11.2.1 skizzierte Verbesserungspotential für den Haupttext und Anhang F in konkrete Verbesserungsvorschläge umgesetzt. Dabei wurde der fachliche Inhalt bewusst nicht (bzw. nur an wenigen Stellen) kritisiert. Auch der Regelungsumfang wurde – obwohl in etlichen Bereichen aus deutscher traditioneller Sicht viel zu detailliert – nur behutsam reduziert (Gründe dafür vgl. 11.1.1/Umfang). Wiederholt wurde auf entsprechende kritische Anmerkungen im Beuth-Kommentar [*Schmidt et al, 2012*] zurückgegriffen.

Aus der Synopse [*Schmidt, 2015a*] hat der Autor eine Lesefassung der gemäß seinen Verbesserungsvorschlägen modifizierten Kapitel 3 bis 12 (mit integriertem Anhang F) der EN 1090-2 erstellt, vgl. [*Schmidt, 2015b*]. Absehbare Änderungen im derzeitigen englischsprachigen Überarbeitungsstand des Arbeitsausschusses CEN/TV 135 sind im Großen und Ganzen berücksichtigt.

11.2.2 Verbesserung der EN 1090-2 aus Sicht der Stahlbauindustrie

(Autoren: Gregor Machura, Volker Hüller)

Ausgehend von den Diskussionen der Stahlbauunternehmen über die Probleme bei der Anwendung der DIN EN 1090-2 [R51] wurden Verbesserungsvorschläge erarbeitet. Eine ausführliche Übersicht der Vorschläge ist nachzulesen im Dokument [*BFS, 2015*].

Es gibt drei Gruppen von Verbesserungsvorschlägen, die sich wie folgt klassifizieren lassen:

1. Modifikation der bestehenden Anforderungen, um die Anforderungen an die Ausführung von Stahltragwerken eindeutiger zu definieren,
2. Optionen für den Anwender, um stahlbauseitig Fertigungsparameter zu qualifizieren und
3. Möglichkeiten für den Anwender, die Optionen aus den Anwendungsregelwerken für den Stahlbaubereich aus der Produktnorm EN 1090-2 umzusetzen.

Von den Verbesserungsvorschlägen werden nachfolgend beispielhaft wesentliche Punkte zusammengefasst dargestellt.

Konstruktionsmaterialien (EN 1090-2, Kapitel 5)

Die Tabelle 1 sollte angepasst werden. Die Verweise auf die EN 10025-1 und EN 10340 sind aufgrund der Überarbeitung der Normen auf die Vorgaben der BauPVO nicht aktuell. Die Anforderungen an die Prüfbescheinigungen für metallische Erzeugnisse sind in die Tabelle 1 ohne datierte Verweise auf die Tabellen in EN 10025-1 und EN 10340 zu definieren.

Im Abschnitt 5.6.9 sollten die Anforderungen nicht in Bezug auf die Scheiben formuliert werden, stattdessen müsste die Verbindungsmittel-Garnitur als Bezug angesetzt werden.

Vorbereitung und Zusammenbau (EN 1090-2, Kapitel 6)

Im Abschnitt 6.4.4 ist die Anforderung an die Härte der thermisch geschnittenen Oberflächen festgelegt. Es fehlen aber die Prüfmethode und die Vorgaben für die Dokumentation der Parameter. Dem Hersteller muss eine Option als informative Anlage angeboten werden, Details siehe CPQR „Cutting Procedure Qualification Record“.

Im Abschnitt 6.5 fehlen bei den Anforderungen und Empfehlungen zum Warmumformen, Kaltumformen und Flammrichten von Stählen die Informationen zu nichtrostenden Stahlsorten. Es wird empfohlen, die Informationen aus der „Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung“ Z-30.3-6 vom 22. April 2014 „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen zu übernehmen.

Im Abschnitt 6.5.4 sind die Anforderungen zum Kaltumformen und zum Glühen enthalten. Die Vorgaben für die nichtrostenden Stähle entsprechen nicht dem Stand der Technik. Für die Vorgaben wird folgender Neuvorschlag gemacht:

Bei anderen nichtrostenden Stählen und Dicken müssen, die zu formenden Mindestinnenbiegeradien r wie folgt sein: $r = (4,2 - A_5/10) t$ für auf 42 begrenzte Werte von A_5 , wobei t die Blechdicke oder der Stabdurchmesser ist. Die A_5 sind aus EN 10088 zu entnehmen.

Bei geglühten nichtrostenden Stählen bis zu einer Dicke oder einem Durchmesser von 3 mm müssen die Mindestinnenbiegeradien r wie folgt sein:

- 1) $r = 0$ für die austenitischen Stahlsorten;
- 2) $r = t$ für die austenitisch-ferritische und ferritische Stahlsorten; wobei t die Materialdicke oder der Stabdurchmesser ist.

Schweißen (EN 1090-2, Kapitel 7)

Gemäß Abschnitt 7.4 ist der Prüfer für die Durchführung der Schweißprüfung zu benennen. Verbesserungsvorschlag: Die Schweißaufsicht darf benannt werden für die Qualifizierung des eigenen Schweißpersonals nach DIN EN ISO 6906-1 und DIN EN ISO 14732.

Im Kapitel 7 fehlen die Vorgaben für das Schweißen von Betonstahl mit Bauteilen. Es wird empfohlen, die DIN EN ISO 17660 Teil 1 und Teil 2 mit aufzunehmen und die Kompetenzanforderungen an die Schweißaufsicht vorzugeben.

Oberflächenbehandlung und Korrosionsschutz (EN 1090-2, Kapitel 10 und Anhang F)

Grundsätzlich ist das Kapitel 10 und der Anhang F zu überarbeiten. Die Inhalte sind sehr konfus für den Anwender. In Kapitel 10 sollten nur die Vorgaben für die Oberflächenbehandlung stehen (vor den Korrosionsschutzarbeiten). Im Anhang F sind die gesamte Breite des Korrosionsschutzes und die Anforderungen zu beschreiben. Die offenen Punkte und Defizite aus den folgenden Normen sollten ergänzt werden:

- DIN EN ISO 12944 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme
- DIN EN ISO 1461 „Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute Zinküberzüge (Stückverzinken)
- DIN EN 2063 „Thermisches Spritzen“

12 Warmgewalzte Baustähle - EN 10025

(Autoren: Gregor Machura, Volker Hüller)

12.1 Bestandsanalyse

Ausgangslage

Mit der Einführung der EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) ab dem 1. Juli 2013 gilt die Verordnung (EU) Nr. 305/2011. Es werden alle Normen, die einen ZA-Anhang haben, überarbeitet. Die Grundlage des ZA-Anhangs ist die EG-Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG). Somit müssen die harmonisierten Normen auf die Anforderungen der EU-BauPVO angepasst werden.

Ziel und Vorgehensweise

Ziel ist es, bei der Überarbeitung der Normreihe EN 10025 Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 1 bis Teil 6 und den Erfahrungen in der Anwendung und Umsetzung der Normen, die offenen Punkte von der deutschen Industrie auf der europäischen Plattform zu erläutern und zu diskutieren.

Defizite in der EN 10025

Auf Grundlage von Untersuchungen bei Schadensfällen sind die Vorgaben aus der Norm und die Bestelloptionen genauer zu definieren. Die Definition der möglichen Lieferzustände ist nicht eindeutig.

Ein weiterer Überarbeitungsgrund ist, dass in der Norm EN 10025 Teil 1 die Bestelloptionen aufgenommen sind. Die Norm EN 10025 Teil 1 ist eine harmonisierte Norm mit ZA Anhang und sollte nur die Beschreibung der WPK des Herstellers und die Leistungsmerkmale des Bauproduktes beinhalten.

12.2 Lösungsvorschläge

Somit ist es erforderlich, dass die Definitionen/Begriffe in der Norm eindeutig beschrieben sind, damit eine Abgrenzung für den Besteller der Grundwerkstoffe/Konstruktionsmaterialien gegeben ist.

1. normalisierendes Walzen
2. wie gewalzt (konventionelles Warmwalzen)
3. thermomechanisches Walzen

Des Weiteren ist es erforderlich, in der Norm EN 10025 Teil 1 das Kapitel 5 zu streichen und die Bestelloptionen in den jeweiligen technischen Lieferbedingungen EN 10025 Teil 2 bis Teil 6 zu definieren.

13 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde ein Beitrag zur pränormativen Forschung im Vorfeld der praxisgerechten Überarbeitung und Weiterentwicklung des Eurocode 3 (EC3) geleistet.

Die Projektgruppe hat von den 20 Teilen des Eurocodes 3 die sechs Teile untersucht, die für die Ingenieure in der Planung und Ausführung die größte Relevanz und den größten Verbesserungsbedarf haben. Dies sind der Teil 1-1 (Bemessungsregeln für den Hochbau – „Grundnorm“), Teil 1-8 (Anschlüsse), Teil 1-5 (Plattenförmige Bauteile), Teil 1-9 (Ermüdung), Teil 1-2 (Heißbemessung) und Teil 6 (Kranbahnen). In engem Zusammenhang damit steht die EN 1090-2 (Ausführung von Stahltragwerken), die in die Untersuchungen einbezogen wurde.

Alle Forschungsarbeiten folgten dem Grundsatz, dass im ersten Schritt die Schwachstellen und Überregulierungen des Eurocode 3 ähnlich einer „Anamnese“ zusammengetragen wurden. Die damit in Verbindung stehenden Formelzeichen von EC3-1-1, EC3-1-5, EC3-1-8, EC3-1-9 und EC3-6) wurden eruiert, zusammengefasst und in Bezug auf Dopplungen und Widersprüche analysiert.

Danach wurde im zweiten Schritt geprüft, inwieweit die Defizite der Norm in der Ingenieur- und Baupraxis zu Problemen führen („Diagnose“). Im dritten Schritt wurden im Sinne einer „Therapie“ Lösungsvorschläge erarbeitet, um die Praxistauglichkeit der Eurocodes zu verbessern. Die Normvorschläge mit vereinfachten Bemessungsansätzen, insbesondere zum Teil 1-5, wurden durch umfangreiche Sensitivitätsanalysen und Vergleichsberechnungen validiert. Unabhängige Ingenieurbüros prüften die von der Projektgruppe erarbeiteten neuen Normvorschläge hinsichtlich ihrer Lesbarkeit, Verständlichkeit und praktikablen Handhabung für die Bemessung.

Bei vielen der durchgearbeiteten Teile des Eurocode 3 ist eine Straffung der Texte möglich. Die Verständlichkeit und Handhabung kann durch Umstrukturierungen wesentlich verbessert werden, insbesondere bei Teil 1-1, Abschnitt 6.2 und 6.3 und bei Teil 1-2. Es wird dringend empfohlen, prinzipiell die Normtexte der Eurocodes und die Reihenfolge der Verfahren so umzuordnen, dass Abgrenzungskriterien und vereinfachte Regelungen an den Anfang gestellt werden, gefolgt von komplexeren Nachweisen. Nur so können die Eurocodes dem Anspruch gerecht werden, ein gutes Handwerkszeug für die Ingenieure und nicht primär Spiegel der Wissenschaft mit neuesten Forschungsergebnissen zu sein.

Grundsätzlich sollte bei allen Eurocodes die Reihenfolge der normativen und informativen Anhänge derart umgeordnet werden, dass an erster Stelle alle *normativen* Anhänge stehen und danach die *informativen* Anhänge folgen. Dies erleichtert es dem Anwender, zu erkennen, welche informativen Texte nicht zwingend berücksichtigt werden müssen.

Die Untersuchungen zeigen, dass eine Vielzahl der unklaren deutschen Formulierungen des Eurocode 3 in der teilweise nicht fachlich korrekten deutschen Übersetzung aus der englischen Originalfassung begründet ist. Daher ist es umso wichtiger, für die neue Generation der Eurocodes ein außerordentlich kompetentes auf das Bauingenieurwesen spezialisiertes Übersetzungsbüro für die Übersetzung der englischen Originaltexte ins Deutsche zu beauftragen.

Für einige Teile des Eurocode 3 besteht weiterer Forschungsbedarf und in wenigen Fällen der Bedarf nach ergänzenden Regelungen:

Forschungsbedarf zum EC3-1-1:

In Abschnitt 5.3.3 der Norm werden die Imperfektionsansätze für die Bemessung aussteifender Systeme geregelt. Dabei ist immer nur eine einwellige Vorkrümmung als Vorverformung anzusetzen. Unter bestimmten Voraussetzungen ist der Ansatz mehrwelliger Vorkrümmungen sinnvoller. Hier besteht gewisser Forschungsbedarf und Konkretisierungsbedarf im Eurocode.

In Abschnitt 6.3 gibt es Lücken in der möglichen Anwendung bei der Überprüfung von biege-drillknickgefährdeten Systemen mit Berechnungen nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion. Es fehlt eine sinnvolle Beziehung zwischen den anzusetzenden Imperfektionen und den Nachweisen der Querschnittstragfähigkeit nach Abschnitt 6.2. Hier wären ergänzende Regelungen hilfreich.

Grundlagendokumente für die Vornormen zum EC3:

Weiterer Forschungsbedarf besteht bezüglich der schwierigen noch nicht abgeschlossenen Recherche der Grundlagendokumente für die Vornormen des Eurocode 3. Sinnvoll wäre hier eine zentrale Datenbank der relevanten Forschungsberichte.

Systematic Review

Im Gegensatz zu den meisten anderen Eurocodes wurde bislang für den Eurocode 3 der Systematic Review (systematische Überprüfung) erst für drei von zwanzig Teilen abgeschlossen. Die PRB-Ergebnisse werden in die noch ausstehende systematische Überprüfungen der anderen EC3-Teile einfließen.

Weiterer zukünftiger Forschungsbedarf ist abzusehen, wenn im Rahmen der systematischen Überprüfung und bei der Überarbeitung des EC3 bis zur Fertigstellung der EC3-Entwürfe Änderungs- und Verbesserungsvorschläge aus anderen CEN-Mitgliedsländern eingehen und diskutiert werden. Es wird außerordentlich wichtig sein, diese Vorschläge unter den Aspekten Praxis- und Anwendertauglichkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu begutachten und mit den PRB-Vorschlägen zu vergleichen. Ggf. werden sich daraus neue Forschungsthemen ergeben, die bislang noch nicht absehbar sind.

Damit es zukünftig großen und auch kleineren Ingenieurbüros möglich ist, in allen Fachbereichen tätig zu sein, sind praxistaugliche Bemessungsnormen für die Ingenieure unabdingbar.

Literatur

- [Al Shamaa, 2013] Al Shamaa, D., Geißler, K.: *Verallgemeinerte Berücksichtigung der Dauerfestigkeit im Ermüdungsfestigkeitsnachweis mittels Lebensdauerlinien*. In: Stahlbau 82 (2013), H. 2, S. 87–96.
- [ARGEBAU, 2014] *Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau* (Muster-Industriebau-Richtlinie – MIndBauRL – Stand Juli 2014). www.is-argebau.de. Zugriff am 27.03.2015.
- [bauforumstahl, 2011] bauforumstahl e.V. (Hg.): *Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3*. Berlin: 2011. Ernst & Sohn.
- [BCSA/SCI-2014] BCSA/SCI-Connections Group: *Joints in Steel Construction – Simple Joints to Eurocode 3*. Publication SCI P 358. British Constructional Steelwork Association and Steel Construction Institute: 2014.
- [Bubner et al, 2014a] Bubner, A.; Kempkes, M.: *Kommentarfassung DIN EN 1993-1-8, Kapitel 1 bis 4*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0120, zu PRB-3.4 (2013) und PRB-3.5 (2013), 07.06.2014).
- [Bubner et al, 2014b] Bubner, A.; Kempkes, M.: *Kommentarfassung DIN EN 1993-1-8, Anhang A und B (vormals Kapitel 5 und 6)*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0121, zu PRB-3.4 (2013) und PRB-3.5 (2013), 10.06.2014).
- [Bubner et al, 2014c] Bubner, A.; Kempkes, M.: *Kommentarfassung DIN EN 1993-1-8, Anhang B und C (vormals Kapitel 6 und 7)*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0122, zu PRB-3.4 (2013) und PRB-3.5 (2013), 12.06.2014).
- [DIBt, 1995] Deutsches Institut für Bautechnik: *Anpassungsrichtlinie Stahlbau*. In: Mitteilungen des DIBt 07/1995.
- [DIBt, 2001] Deutsches Institut für Bautechnik: *Anpassungsrichtlinie Stahlbau*. Mit Änderung und Ergänzung Dezember 2001. In: Mitteilungen des DIBt 2001.
- [Fingerloos, 2013] Fingerloos, F.: *Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormen durch pränormative Arbeit – Teilantrag 2: Betonbau, Zwischenbericht 2012-2013*. Berlin: 2013.
- [Geißler et al, 2015] Geißler, K., Bartzsch, M.: *Forschungsbericht 2.2 – Vereinfachungsvorschläge zum EC3-1-5 – Sensitivitätsanalysen*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0152, zu PRB-3.4(2014) 30.01.2015).
- [Haibach, 2006] Haibach, E.: *Betriebsfestigkeit: Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung*. Berlin: Springer 2006.
- [Heyde, 2014] Heyde, S.: *Prüfung auf Praxistauglichkeit und Vereinfachungsvorschläge für die DIN EN 1993-1-1. Synopse zum Systematic Review*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0139, zu PRB-3.15(2014), Dokument NA005-08-16AA_N1605).
- [Heyde, 2015] Heyde, S.: *Übersetzungsfehler DIN EN 1993-1-1*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0173, zu PRB-3.15 (2014)).
- [Ignatiadis, 2013] Ignatiadis, A.: *NDP-Collection EN1992-1-1*. Berlin: 2013. (unveröffentlichter PRB-Forschungsbericht).

- [IIW, 2008] International Institute of Welding(Hg.): IIW Dokument IIW-1823-07. RECOMMENDATIONS FOR FATIGUE DESIGN OF WELDED JOINTS AND COMPONENTS. December 2008.
- [Kindmann, 2002] Kindmann, R., Frickel, J.: *Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele*. Berlin: Ernst & Sohn. 2002.
- [Kindmann, 2004] Kindmann, R., Laumann, J.: *KSTAB, Finite Element Programm mit 2-achsiger Biegung, Normalkraft und Wölbkrafttorsion*, Version 06/2004, Lehrstuhl für Stahl- und Verbundbau Ruhr-Universität Bochum.
- [Kindmann, 2008] Kindmann, R.: *Stahlbau. Teil 2 - Stabilität und Theorie II. Ordnung*. 4. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn 2008.
- [Kindmann et al, 2012a] Kindmann, R., Ludwig, C.: *Zur Tragfähigkeit von Stabquerschnitten nach DIN EN 1993-1-1 Teil (1)*. In: Stahlbau 81 (2012), Heft 4, S. 257-264.
- [Kindmann et al, 2012b] Kindmann, R., Ludwig, C.: *Zur Tragfähigkeit von Stabquerschnitten nach DIN EN 1993-1-1 Teil (2)*. In: Stahlbau 81 (2012), (2012), Heft 5, S. 353-357.
- [Klähne et al, 2015] Klähne, T.; Kubieniec, G.: *Erprobung der Praxistauglichkeit der von der PG3 erarbeiteten Vorschläge zur DIN EN 1993-1-1 und DIN EN 1993-1-5 durch Vergleichsrechnungen*. Klähne Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH. Berlin. (unveröffentlichter Bericht vom 31.03.2015).
- [Krahwinkel-2001] Krahwinkel, M.: *Zur Beanspruchung stabilisierender Konstruktionen im Stahlbau*. Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 4. Nr. 166. Düsseldorf: VDI Verlag 2001.
- [Krahwinkel, 2014] Krahwinkel, M.: *Bauaufsichtliche Einführung des Eurocode 3. Ein Erfahrungsbericht aus der Baupraxis*. In: Beratende Ingenieure, Heft 3/4-2013 (43.Jg.), S. 50-53.
- [Kuhlmann, 2004] Kuhlmann, U.: *Stahlbau-Skript. Teil V Kranbahnen*. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf 2004.
- [Kuhlmann, 2007] Kuhlmann, U., Euler M.: *Kranbahnträger - Wirtschaftliche Bemessung und Konstruktion robuster Radlasteinleitungen*. DASt-Forschungsbericht 5/2007. Deutscher Ausschuss für Stahlbau DASt: 2008 (IGF Nr. 14173).
- [Kuhlmann et al, 2008] Kuhlmann, U.; Rölle, L.: *Duktilitätskriterieren für typisierte Striplattenverbindungen*, Schlussbericht, DASt-Forschungsvorhaben im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“, AiF-Forschungsvorhaben 14627, 2008
- [Kuhlmann, 2012a] Kuhlmann, U., Zizza, A.: *Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. In: Kuhlmann, U. (Hg.): Stahlbau-Kalender 2012, Ernst & Sohn, 2012, S. 1-78.
- [Kuhlmann et al, 2012b] Kuhlmann, U., Zizza, A., Braun, B.: *Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Plattenförmige Bauteile*. In: Kuhlmann, U. (Hg.): Stahlbau-Kalender 2012, Ernst & Sohn, 2012, S. 79-134.
- [Kühn et al, 2015] Kühn, B.; Geißler, K.: *Analyse der DIN EN 1993 Teil 1-9 und Vereinfachungsvorschläge*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0166a, zu PRB-3.8(2014) und PRB-3.9(2014))
- [Kuscher, 2010] Kuscher, G: *Was bedeutet bei unlegierten Stählen nach DIN EN 10025-2 der Lieferzustand +AR?*. In: GSI SLV Hannover. News. Ausgabe 03/2010, S. 3.
- [Laumann, 2003] Laumann, J. : *RUBSTAHL-Bericht 1-2003, Geometrische Ersatzimperfektionen beim Biegedrillknicken von Kragträgern*. Ruhr-Universität Bochum 2003.

- [Laumann, 2006] Laumann, J.: *Wirtschaftliche Bemessung von Kranbahnträgern unter Berücksichtigung örtlicher Spannungen infolge Radlasteinleitung*. In: Stahlbau 75 (2006), Heft 12, S. 1004-1012.
- [Laumann, 2013] Laumann, J.: *Berechnung von Aussteifungsverbänden*. Skriptenreihe FH-Aachen, Band 17.
- [Laumann, 2014a] Laumann, J., Geißler, K.: *Eurocode 3 – Stahlbau. Vorschläge für eine praxistaugliche Norm*. Arbeitstagung der Praxisinitiative Normung PiN von VBI und BVPI. Frankfurt/Berlin: 2014 (unveröffentlichtes Manuskript).
- [Laumann, 2014b] Laumann, J.: *Vereinfachungsvorschläge für DIN EN 1993 Teil 1-1*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0119, zu PRB-3.6(2013)).
- [Laumann, 2015a] Laumann, J.: *Vereinfachungsvorschläge mit zugehöriger Sensitivitätsanalyse für DIN EN 1993-1-1*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0153a, zu PRB-3.2(2014)).
- [Laumann et al, 2015b] Laumann, J., Lieberwirth P.: *Prüfung auf Praxistauglichkeit und Vereinfachungsvorschläge für die DIN EN 1993-6*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0169, zu PRB-3.10(2014); PRB-3.14(2014); PRB-3.15(2014) u. PRB-3.16(2014)).
- [Laumann et al, 2015c] Laumann, J., Hörenbaum, C., Ummenhofer, T.: *Prüfung auf Praxistauglichkeit und Vereinfachungsvorschläge für die DIN EN 1993-1-2*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0174, PRB-3.17(2014) u. PRB-3.18(2014);).
- [Laumann, 2015d] Laumann, J., Kindmann, R.: *K-Stab für Eurocode 3, Finite-Elemente-Programm für zweiachsige Biegung mit Normalkraft und Wölbkrafttorsion*. FH-Aachen Vers.01.2015.
- [Lindner, 1998] Lindner, J.: *Stahlbauten. Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4*. 3. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn 1998.
- [Lindner, 2009] Lindner, J., Heyde, S.: *Schlanke Stabtragwerke*. In: Kuhlmann, U. (Hg.): *Stahlbau-Kalender 2009*. Berlin: Ernst & Sohn. 2009, S. 277-375.
- [Lohse et al, 2015] Lohse, W.; Laumann, J.; Wolf, C.: *Stahlbau 2*. 21. vollst. akt. u. überarb. Aufl. Springer/Vieweg 2015 (in Vorbereitung)
- [Meister, 2002a] Meister, J. Reichwald, J.: *Überlegungen zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Kranbahnen und Kranbahnunterstützungen (Teil 1)*. In: Stahlbau 71 (2002), Heft 3, S. 212-220.
- [Meister, 2002b] Meister, J. Reichwald, J.: *Überlegungen zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Kranbahnen und Kranbahnunterstützungen (Teil 2)*. In: Stahlbau 71 (2002) Heft 4, S. 263-270.
- [Mensinger, 2009] Mensinger, M., Stadler, M.: *Aktualisierte Diagramme zur Bemessung von Stahlkonstruktionen für den Brandfall nach Eurocode 3*. In: Stahlbau 78 (2009), Heft 4, Ernst & Sohn, S. 253-258.
- [Naumes et al, 2014a] Naumes, J., Geißler, K., Bartzsch, M.: *Vereinfachtes Verfahren für den Beulnachweis bei Ausnutzung plastischer Querschnittsreserven durch Einführung einer „wirksamen Blechdicke“*. In: Stahlbau 83 (2014), Heft 8, S. 564-574.
- [Naumes et al, 2014b] Naumes, J., Geißler, K., Bartzsch, M.: *EC3-1-5 – Vereinfachungsvorschläge mit zugehörigen Sensitivitätsanalysen und Vergleichsrechnungen* - Forschungsbericht. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0097 vom 18.02.2014, zu PRB-3.1(2014) und PRB-3.2(2014)).

- [Naumes et al, 2015a] Naumes, J., Geißler, K., Bartzsch, M.: *Lesefassung zum Änderungsvorschlag für den Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0098d vom 30.01.2015, zu PRB-3.1(2014) und PRB-3.2(2014)).
- [Naumes, 2015b] Naumes, J.: *Forschungsbericht 2.1 – Vereinfachungsvorschläge zum EC3-1-5 – Sensitivitätsanalysen*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0151 vom 30.01.2015, zu PRB-3.3(2014)).
- [Naumes-2015c] Naumes, J.: *Forschungsbericht 2.3 – Vereinfachungsvorschläge zum EC3-1-5 – Sensitivitätsanalysen*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0168 vom 20.02.2015, zu PRB-3.3(2014)).
- [Petersen, 1982] Petersen, C.: *Statik und Stabilität der Baukonstruktionen*, 2. Aufl. Braunschweig: Vieweg 1982.
- [Petersen, 1993] Petersen, C.: *Stahlbau*, 3. Aufl. Braunschweig: Vieweg 1993
- [Renner, 2014] Renner, A.; Lange, J.: *Versuche zur Zug-Abscher-Interaktionstragwirkung von Schrauben*. In: *Stahlbau* 83 (2014), S. 265-272
- [Ruga, 2013a] Ruga, J., Schilling, S.: *NDP-Collection EN1993-1-1*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin 2013. (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0049).
- [Ruga, 2013b] Ruga, J., Schilling, S.: *NDP-Collection EN1993-1-5*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin 2013. (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0053).
- [Ruga, 2013c] Ruga, J., Schilling, S.: *NDP-Collection EN1993-1-8*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin 2013. (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0050)
- [Schaumann et al, 2014] Schaumann, P.; Tabeling, F.; Weisheim, W.: *Erwärmungsverhalten dämmschichtbildender Brandschutzsysteme im Stahlbau*. In: *Stahlbau* 83 (2014), S. 646–651.
- [Schilling, 2012] Schilling, S.: *Übergang von Nationalen Normen zu Eurocodes*. BauPlaner SPECIAL – Stahlbau. In: *Deutsches Ingenieurblatt*, Heft 7/8 2012, S. 3-4.
- [Schilling, 2013] Schilling, S.: *Stahlbaunormen – Anwendung der DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. In: Kuhlmann, U. (Hg.): *Stahlbau-Kalender 2013*, Ernst & Sohn, 2013, S. 193-245.
- [Schilling, 2014] Schilling, S.: *Analyse der Formelzeichen im Eurocode 3*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2014 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0093 vom 21.02.2014).
- [Schmidt, 2008] Schmidt, B.: *Zum Tragverhalten von geschraubten, momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit vier Schrauben in jeder Schraubenreihe*. Diss. TU Dortmund. 2008.
- [Schmidt et al, 2012] Schmidt, H.; Zwätz, R.; Bär, L.; Kathage, K.; Hüller, V.; Kammel, Ch.; Volz, M.: *Ausführung von Stahlbauten – Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2*. Berlin: Beuth/Ernst & Sohn 2012.
- [Schmidt, 2015a] Schmidt, H.: *Prüfung auf Praxistauglichkeit und Vereinfachungsvorschläge für die DIN EN 1090-2. Synopsis*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0171, zu PRB-3.7(2014)).

- [Schmidt, 2015b] Schmidt, H.: *Prüfung auf Praxistauglichkeit und Vereinfachungsvorschläge für die DIN EN 1090-2. Lesefassung der Änderungsvorschläge*. Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB). Berlin: 2015 (unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. PRB-PG3_0172, zu PRB-3.7(2014)).
- [Schütz et al, 2015] Schütz, K. G.; Taffertshofer, R.; Schmidmeier, M.: *Anwendung und Bewertung des Änderungsvorschlages der PRB zur DIN EN 1993-1-5*. Dr. Schütz Ingenieure. Kempten. (unveröffentlichter Bericht vom 27.03.2015).
- [Sedlacek et al, 2008] Sedlacek, G.; Feldmann, M.; Naumes, J.; Müller, Ch.; Kuhlmann, U.; Braun, B.; Mensinger, M; Ndogmo, J.: *Entwicklung und Aufbereitung wirtschaftlicher Bemessungsregeln für Stahl- und Verbundträger mit schlanken Stegblechen im Hoch- und Brückenbau*. Deutscher Ausschuss für Stahlbau DASt, Forschungsbericht 1/2008, Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2008.
- [Seeßelberg, 2002] Seeßelberg, C.: *Zur wirtschaftlichen Bemessung von Walzprofil-Kranbahnträgern für Laufkrane*. In: Stahlbau 71 (2002), S. 661-669.
- [Seeßelberg, 2014a] Seeßelberg, C.: *Kranbahnen. Bemessung und konstruktive Gestaltung*. 4. Aufl. Berlin: Bauwerk 2014.
- [Seeßelberg, 2014b] Seeßelberg, C.: *Kranbahnen nach DIN 4132 und DIN 18800*. In: Schneider, K.-J.: *Bautabellen für Ingenieure*. 21. Aufl. Düsseldorf : Werner 2014.
- [Stangenberg, 2007] Stangenberg, H.; Sedlacek, G.; Müller, C.: *Die neuen Biegedrillknicknachweise nach Eurocode 3*. In: Univ. Bochum (Hg.). *Festschrift Rolf Kindmann*. Aachen: Shaker 2007, S. 175-191.
- [Stroetmann, 2012a] Stroetmann, R., Lohse, W.: *Stahlbau*. In: Vismann, U. (Hg.). *Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln*. 34. Aufl. Vieweg+Teubner 2012, S. 777-1019.
- [Stroetmann, 2012b] Stroetmann, R.: *Tragwerksbemessung im Hochbau nach DIN EN 1993. Stahl- und Verbundbau, Bemessung und Konstruktion nach den Eurocodes*. Tagungsbeitrag. In: *Tagungsband. Dresdner Stahlbaufachtagung 2012*. TU Dresden.
- [Tschemmernegg et al, 1997] Tschemmernegg, F.; Huber, G.; Huter, M.; Rubin, D.: *Komponentenmethode und Komponentenversuche zur Entwicklung von Baukonstruktionen in Mischbauweise*. In: Stahlbau 66 (1997), S. 624-638.
- [Taras, 2014] Taras, A.: *Neue Entwicklungen zur Querschnittsbemessung und den Stabilitätsnachweisen auf der Grundlage der EN 1993-1-1*. In: *Dresdner Stahlbaufachtagung 2014*. TU Dresden
- [Ungermann et al, 2005] Ungermann, D.; Weynand, K.; Jaspert, J.-P.; Schmidt, B.: *Momenten tragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen*. In: *Stahlbau-Kalender 2005*. Hg.: Kuhlmann, U., Berlin: Ernst & Sohn 2005, S. 599-670.
- [Ungermann et al, 2009] Ungermann, D.; Feldmann, M.; Oberegge, O.: *Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momenten tragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf Grundlage der prEN 1993-1-8: 2003*. DASt Forschungsbericht 3/2009 (AiF-Forschungsvorhaben 15059). Düsseldorf:, Stahlbau Verlags- und Service GmbH 2009.
- [Ungermann, 2013] Ungermann, D., Schneider, S.: *Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen*. In: Kuhlmann, U. (Hg.): *Stahlbau-Kalender 2013*, Ernst & Sohn, 2013, S. 1-124.
- [Wagenknecht, 2009] Wagenknecht, G.: *Stahlbau-Praxis, 1. Tragwerksplanung - Grundlagen*, 3. Aufl. Berlin: Bauwerk 2009.
- [Weynand et al, 1997] Weynand, K.; Feldmann, M.; Sedlacek, G.: *Nachgiebige Anschlüsse im Stahlbau: Modell nach Eurocode 3*. Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. In: Stahlbau 66 (1997), S. 770-781.

[Zehfuß, 2005] J. Zehfuß, D. Hosser: *Vereinfachtes Naturbrandmodell für die Brandschutz-technische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken*. In: Bauphysik 27 (2005), Heft 2, S. 79-86.

Normen und Regelwerke

- [R1] Eurocode 3 Teil 1-1: DIN EN 1993-1-1:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [R2] DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [R3] Eurocode 3 Teil 1-5: DIN EN 1993-1-5:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009
- [R4] DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile
- [R5] Eurocode 3 Teil 1-8: DIN EN 1993-1-8:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009
- [R6] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
- [R7] DIN 18800-1:2008-11: Stahlbauten, Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- [R8] DIN 18800-2:2008-11: Stahlbauten, Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- [R9] DIN 18800-7:2008-11: Stahlbauten, Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation
- [R10] ÖNORM B 1993-1-1 Draft 2007-02-01 (Nationaler Anhang Österreichs (AT))
- [R11] BS EN 1993-1-1:2005/NA:2008-12 (Nationaler Anhang Großbritanniens (UK))
- [R12] EN 1993-1-1:2005/aprANL (Nationaler Anhang Luxemburgs (LU))
- [R13] NF EN 1993-1-1/NA Mai 2007 (Nationaler Anhang Frankreichs (FR))
- [R14] UNI-EN 1993-1-1 Appendice Nazionale (24/10/2010) (Nationaler Anhang Italiens (IT))
- [R15] Swedish National Board of Housing, Building and Planning (www.boverket.se): BFS 2011:10 EKS 8 Section E Chapter 3.1.1 (Nationale Anwendungsregeln Schwedens (SE))
- [R16] DS/EN 1993-1-1 DK NA:2010 (Nationaler Anhang Dänemarks (DK))
- [R17] Finnish National Annex to Standard SFS-EN 1993-1-1 (Nationaler Anhang Finnlands (FI))
- [R18] Anejo Nacional AN/UNE-EN 1993-1-1 (Febrero 2013) (Nationaler Anhang Spaniens (ES))
- [R19] PN-EN 1993-1-1:2006/NA:2010-09 (Nationaler Anhang Polens (PL))
- [R20] CSN EN 1993-1-1 NA ed. A: 2007 (Nationaler Anhang Tschechiens (CZ))
- [R21] LST EN 1993-1-1:2005/NA:2011/P:2011 LT (Nationaler Anhang Litauens (LT))
- [R22] ÖNORM B 1993-1-5:2008-05-01 (Nationaler Anhang Österreichs (AU))
- [R23] BS EN 1993-1-5:2006/NA:2008-05 (Nationaler Anhang Großbritanniens))
- [R24] EN 1993-1-5:2006/aprANL (Nationaler Anhang Luxemburgs (LU))
- [R25] UNI-EN 1993-1-5:2007 Appendice Nazionale (Nationaler Anhang Italiens (IT))

- [R26] Swedish National Board of Housing, Building and Planning (www.boverket.se): BFS 2011:10 EKS 8 Section E Chapter 3.1.5 (Nationale Anwendungsregeln Schwedens) (SE))
- [R27] DS/EN 1993-1-5 DK NA:2007 (Nationaler Anhang Dänemarks) (DK))
- [R28] Finnish National Annex to Standard SFS-EN 1993-1-5 (Nationaler Anhang Finnlands) (FI))
- [R29] Anejo Nacional AN/UNE-EN 1993-1-5 (Febrero 2013) (Nationaler Anhang Spaniens) (ES))
- [R30] PN-EN 1993-1-5:2008/NA:2010-09 (Nationaler Anhang Polens) (PL))
- [R31] CYS EN 1993-1-5:2006/NA:2010 (Nationaler Anhang Zyperns) (CY))
- [R32] БДC EN 1993-1-5:2007/NA:2011 (Nationaler Anhang Bulgariens) (BG))
- [R33] ÖNORM B 1993-1-8 Draft 2006-10-01 (Nationaler Anhang Österreichs) (AU))
- [R34] BS EN 1993-1-8:2005/NA:2008-12 (Nationaler Anhang Großbritanniens))
- [R35] EN 1993-1-8:2005/aprANL (Nationaler Anhang Luxemburgs) (LU))
- [R36] NF EN 1993-1-8/NA Juillet 2007 (Nationaler Anhang Frankreichs) (FR))
- [R37] UNI-EN 1993-1-8 Appendice Nazionale (24/10/2010) (Nationaler Anhang Italiens) (IT))
- [R38] Swedish National Board of Housing, Building and Planning (www.boverket.se): BFS 2011:10 EKS 8 Section E Chapter 3.1.8 (Nationale Anwendungsregeln Schwedens) (SE))
- [R39] DS/EN 1993-1-8 DK NA:2007 (Nationaler Anhang Dänemarks) (DK))
- [R40] Finnish National Annex to Standard SFS-EN 1993-1-8 (Nationaler Anhang Finnlands) (FI))
- [R41] Anejo Nacional AN/UNE-EN 1993-1-8 (Febrero 2013) (Nationaler Anhang Spaniens) (ES))
- [R42] PN-EN 1993-1-8:2006/NA:2010-09 (Nationaler Anhang Polens) (PL))
- [R43] CSN EN 1993-1-8 NA ed. A: 2007 (Nationaler Anhang Tschechiens) (CZ))
- [R44] Eurocode 2 Teil 1-1: DIN EN 1992-1-1:2011-01: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton – und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [R45] DIN 4132 (02.81): Kranbahnen, Stahltragwerke. Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung
- [R46] Eurocode 9 Teil 1-1: DIN EN 1999-1-1:2010-05: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln.
- [R47] Eurocode 3 Teil 1-3: DIN EN 1993-1-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche.
- [R48] Eurocode 3 Teil 1-2: EN 1993-1-2: 2010-10: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [R49] EN 1993-1-2N/A (10.2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [R50] DIN 4102-4 (03.94): Brandverhalten von Baustoffen
- [R51] EN 1090-2:2008+A1:2011: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken.

- [R52] DIN 820-2:2012-12: Normungsarbeit – Teil 2: Gestaltung von Dokumenten (ISO/IEC-Direktiven – Teil 2:2011, modifiziert) Dreisprachige Fassung CEN-CENELEC-Geschäftsordnung - Teil 3:2011
- [R53] DIN EN 1990/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung