

Ulrike Kuhlmann (Hrsg.)

Stahlbau-Kalender 2023

Schwerpunkte: Werkstoffe; Verbindungen

- aktueller Stand der Stahlbau-Regelwerke
- Anwendung nichtrostender Stähle
- Wiederverwendbarkeit von Stahlbauteilen
- Hintergründe und Erläuterungen zu den Regelungen der zukünftigen zweiten Eurocode-Generation

Dieser Jahrgang hat mit "Werkstoffe" und "Verbindungen" zwei Schwerpunkte, die zusammenwirken und bei optimaler Auswahl wirtschaftliche und nachhaltige Stahlbauwerke ermöglichen. Außerdem werden die kommenden Änderungen der zweiten Eurocode-Generation vorgestellt und erläutert.



4/2023 · 858 Seiten · 419 Abbildungen · 268 Tabellen

Hardcover

ISBN 978-3-433-03387-6 € 159* Fortsetzungspreis € 139*

eBundle (Print + ePDF)

ISBN 978-3-433-03388-3 € 194*

Fortsetzungspreis eBundle

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

€ 169*

Tel. +49 (0)30 47031-236 Fax +49 (0)30 47031-240

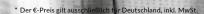
marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3387

Datum/Unterschrift

BESTELLEN

+49(0)30 470 31-236 marketing@ernst-und-sohn.de www.ernst-und-sohn.de/3387





ÜBER DAS BUCH

Der Stahlbau-Kalender 2023 widmet sich mit "Werkstoffe" und "Verbindungen" zwei Schwerpunkten, die zusammenwirken, denn die Auswahl der Stahlsorten und die Wahl der Verbindungen sind für wirtschaftliche und nachhaltige Entwürfe und Konstruktionen essentiell.

Der Stahlbau-Kalender dokumentiert verlässlich und aus erster Hand den aktuellen Stand der Stahlbau-Regelwerke. In diesem Sinne werden, neben der Aktualisierung des Kommentars zu Eurocode 3 Teil 1-8 "Bemessungsregeln von Anschlüssen", vor dem Hintergrund der Entwicklung der zweiten Eurocode-Generation die wesentlichen strukturellen und technischen Änderungen vorgestellt und erläutert.

Neben dem klassischen Baustahl werden die nichtrostenden Stähle betrachtet, die z.B. bei Außenbauteilen wie Fassadenkonstruktionen, aber auch in anderen Fällen, den Ausschlag für Projekte in Stahlbauweise geben.

Wie immer bewegen sich alle Kapitel nahe an der Ingenieurpraxis und enthalten zahlreiche Beispiele. Das Buch ist ein Wegweiser für die richtige Berechnung und Konstruktion im gesamten Stahlbau mit neuen Themen in jeder Ausgabe. Herausragende Autoren aus der Industrie, aus Ingenieurbüros und aus der Forschung vermitteln Grundlagen und geben praktische Hinweise.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03387-6	Stahlbau-Kalender 2023	€ 159*
		Fortsetzungspreis	€ 159*
	978-3-433-03388-3	Stahlbau-Kalender 2023 (eBundle)	€ 194*
		Fortsetzungspreis eBundle	€ 169*

Privat	Geschaftlich			
Firma, Abteilung		UST-ID Nr.		
Name, Vorname		Telefon	Fax	
Straße, Nr.				
PLZ/Ort/Land		E-Mail		

Vorwort

Der Stahlbau-Kalender 2023 setzt sehr bewusst auf die Hilfestellung im Umgang mit der neuen Eurocode-Generation. Die neuen Entwürfe von Eurocode 3 Teil 1-4, 1-8, 1-9, 1-10 und 1-13, sind auszugsweise in deutscher Übersetzung wiedergegeben, wobei die Änderungen gegenüber den gültigen Fassungen hervorgehoben und erläutert werden. Die zugrunde liegenden aktuellen Forschungsergebnisse, aber auch praxisnahe Beispiele werden hierbei wiedergegeben. Diese Teile von Eurocode 3 behandeln hauptsächlich den Werkstoff Stahl und seine besonderen Eigenschaften, wie zum Beispiel nichtrostende Stähle in Teil 1-4 oder die Materialzähigkeit in Teil 1-10. Diese Kommentierungen bilden den Werkstoffschwerpunkt im diesjährigen Kalender, zusammen mit dem Beitrag "Wiederverwendung im Stahl- und Metallleichtbau", worin die Einordnung und Bewertung der Werkstoffe eine sehr große Rolle spielen. Daneben gibt es als zweiten Themenblock das Thema Verbindungen. Dazu gehört natürlich der Teil 1-8 zur Bemessung von Anschlüssen, aber auch der Teil 1-9 mit dem Thema Ermüdung wird von den Eigenschaften der Verbindungen dominiert. Hinsichtlich des Regalbaus soll im Regelwerk eine Lücke zwischen konventionellem Stahlbau und kaltgeformten Bauteilen geschlossen werden, z.T. mit Rückgriff auf das Komponentenmodell für Anschlüsse. Schließlich werden Klebverbindungen für den Glas- und Fassadenbau behandelt. Damit bietet der Kalender einen hervorragenden Überblick zu den Schwerpunktthemen Werkstoffe und Verbindungen.

Mit dem erneuten Abdruck der Grundnorm DIN EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Bemessung von Anschlüssen mit Nationalem Anhang sowie ergänzenden, an den jeweiligen Stellen eingearbeiteten Kommentaren und Erläuterungen von Dieter Ungermann, Technische Universität Dortmund, und Stephan Schneider, construct.ING - Büro für Bauwesen wird den Anwender:innen eine verlässliche Basis für die tägliche Arbeit gegeben. Diese regelmäßige Überarbeitung ermöglicht es, auf aktuell entstandene Fragen oder Klärungsbedarf bzw. neue Erkenntnisse einzugehen. Inzwischen liegt der Entwurf von EN 1993-1-8 der zweiten Generation vor und wird hier auszugweise abgedruckt und kommentiert. Damit wird ein direkter Vergleich neuer und bisheriger Regelungen ermöglicht.

Karsten Kathage und Christoph Ortmann, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin erläutern in ihrem Beitrag Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Stahlbau die zur Zeit der Beitragsbearbeitung noch aktuelle Version MVV TB 2021/1 im Hinblick auf den Stahlbau. Die überarbeitete Version MVV TB 2022/1 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen ist für Mitte 2023 vorgesehen. Zusätzlich werden die aktuellen Normen und Richtlinien für den

Stahlbau aufgelistet und eine Zusammenstellung der für den Stahl- und Verbundbau relevanten Bescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt (Stand: Oktober 2022) gegeben.

Über Träger mit großen Stegöffnungen nach der neuen EN 1993-1-13, EN 1993-1-2, EN 1994-1-1 und EN 1994-1-2 berichten François Hanus, Louis-Guy Cajot, ArcelorMittal, Daniel Pak, Universität Siegen und Antoine Glorieux, ArcelorMittal. Lochstegträger sind im Stahl- und Verbundbau immer häufiger anzutreffen, allerdings berücksichtigen die aktuellen Eurocodes den Einfluss der Stegöffnungen auf die Bemessung dieser Träger bisher nicht implizit. Während sich bisherige Regelungen für Träger mit großen Stegöffnungen meist auf nationale Regelungen und Firmen-Software bezogen haben, bot die Erstellung der zweiten Generation der Eurocodes den perfekten Zeitpunkt, um harmonisierte Regeln für die Bemessung dieser Träger zu erarbeiten. Im Beitrag werden die Inhalte dieser neuen normativen Regelungen dargestellt und kommentiert. Enthalten sind auch eine technische Beschreibung der spezifischen Versagensarten sowie Bemessungskonzepte für Umgebungstemperatur und für den Brandfall. Ebenso werden detaillierte Bemessungsbeispiele in Übereinstimmung mit den zukünftigen Teilen des Eurocodes vorgestellt.

Im Beitrag Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-4:2022 geben Natalie Stranghöner, Universität Duisburg-Essen, Nancy Baddoo, Francisco Meza, The Steel Construction Institute (Ascot, Berkshire, UK), Detlef Ulbrich, ibvm Verbindungen im Metallbau (Fredersdorf) sowie Christoph Abraham und Dominik Jungbluth, Universität Duisburg-Essen einen aktuellen Überblick über die Bemessung und Ausführung von Konstruktionen aus nichtrostendem Stahl im Allgemeinen und im Besonderen mit den neuen Regelungen in prEN 1993-1-4:2022. Diese wurden für den Beitrag in Auszügen in die deutsche Sprache übersetzt und kommentiert, sodass die Praxis sie besser nachvollziehen kann. Zunächst gibt es eine Einführung in die mechanischen Eigenschaften der nichtrostenden Stähle. Es folgen Erläuterungen zur Tragwerksberechnung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Des Weiteren wird die Bemessung von Verbindungen aus nichtrostendem Stahl vorgestellt. Zuletzt liegt der Fokus auf der Ausführung von Tragwerken aus nichtrostendem Stahl nach DIN EN 1090-2.

Das Kapitel Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-8:2022 von Thomas Ummenhofer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Oliver Fleischer, Kompetenzzentrum Rohre und Hohlprofile (KoRoH GmbH), Diba Kopic, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Primož Može, University of Ljubljana erläutert, auch anhand einer auszugsweisen deutschen Übersetzung des englischen Normentextes, die wesentlichen Änderungen, die im Rahmen der Weiterentwicklung des Eu-

rocode 3, Teil 1-8 entstanden sind. Mit der Überarbeitung ging u. a. eine gründliche Umstrukturierung einher, die die Norm übersichtlicher macht, Stähle bis einschließlich S700 einbezieht und eine Klarstellung und Korrektur vieler Regelungen umfasst. Die von allen europäischen Partnern einstimmig im Dezember 2022 beschlossene Version wird im Oktober 2023 dem "Formal Vote", also der offiziellen Abstimmung, unterworfen. Wenn diese erfolgreich verläuft, stehen zusammen mit der Grundnorm prEN1993-1-1, die den Formal Vote schon bestanden hat, die für den allgemeinen Stahlhochbau wesentlichen Teile zur Verfügung, sodass diese zusammen mit entsprechenden Nationalen Anhängen alsbald eingeführt werden können.

Mathias Euler, Elena Sidorov, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Marion Rauch, Hochschule Kaiserslautern, Markus Knobloch, Ruhr-Universität Bochum, Ulrike Kuhlmann, Universität Stuttgart, Stefanie Röscher, Ruhr-Universität Bochum und Lisa-Marie Gölz, Universität Stuttgart stellen in ihrem Beitrag Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-9:2022 erstmals eine deutsche Übersetzung des Norm-Entwurfs vor und kommentieren diesen für die Bemessung von ermüdungsbeanspruchten Bauwerken wie Brücken, Maste und Kranbahnen wesentlichen Normenteil des Eurocode 3 an den wichtigsten Stellen. Damit wird dem interessierten Fachpublikum im deutschsprachigen Raum eine erste Auseinandersetzung mit den geplanten Änderungen gegenüber DIN EN 1993-1-9:2010 ermöglicht und eine fachöffentliche Diskussion angeregt. Hinweise, Anregungen, kritische Kommentare sowie Empfehlungen zur deutschen Übersetzung des Norm-Entwurfs prEN 1993-1-9:2022 und zu diesem Beitrag sind daher von den Autor:innen ausdrücklich erwünscht, um bei der Überarbeitung der Eurocodes die Bemessungsregeln noch besser den Anforderungen und Belangen der Praxis anzupassen.

Im Kapitel Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-10:2022 von Bertram Kühn, Technische Hochschule Mittelhessen, Markus Feldmann, Sandro Citarelli, RWTH Aachen, Susanne Höhler, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Mike Tibolt, ArcelorMittal und Luis Borges, Structurame sarl werden alle wesentlichen Veränderungen des in der Vorstufe zur Schlussabstimmung, der CEN Enquiry oder CEN-Abfrage, befindlichen Normenentwurfs auszugsweise ins Deutsche übertragen und eingehend erläutert. Während im Tieflagenbereich bereits bruchmechanische Bemessungsansätze vorliegen, mit denen sprödes Versagen sicher ausgeschlossen werden kann, fehlt in den aktuellen europäischen Stahlbaunormen ein durchgängiges Konzept zur Bewertung der Zähigkeit in der Hochlage. Zähigkeitsanforderungen werden üblicherweise durch bruchmechanische Ansätze erfasst, die allerdings bei ausgedehnten plastischen Verformungen an ihre Grenzen gelangen. Hierzu wurden schädigungsmechanische Ansätze entwickelt, die gegenüber der Bruchmechanik den wesentlichen Vorteil haben, keine Initialschädigung vorauszusetzen und überdies duktiles Bauteilverhalten

sowohl unter monotonen als auch unter niedrigzyklischen Beanspruchungen gut abzubilden. Die sich aus solchen Betrachtungen ergebenden Anforderungen an die Werkstoffzähigkeit wurden in neue normative Regelungen überführt. Die genannten grundlegenden Neuerungen und weiteren Änderungen, die das Anwendungsfeld der vereinfachten Werkstoffauswahl mithilfe von Tabellenwerten deutlich erweitern, werden in diesem Beitrag auch anhand mehrerer Fallbeispiele betrachtet.

Ein Überblick über die Umsetzung von Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft wird durch den Beitrag Wiederverwendung im Stahl- und Metallleichtbau von Markus Feldmann, Helen Bartsch, Markus Kuhnhenne, RWTH Aachen und Raban Siebers, bauforumstahl e. V. gegeben. Dabei wird auf den Stand der Forschung und Normung in Bezug auf die Wiederverwendung von Baustahl eingegangen. Dazu werden die in dem Forschungsprojekt "PROGRESS – PROvisions for Greater REuse of Steel Structures" durchgeführten Untersuchungen zur Ökobilanzierung des zerstörungsfreien Rückbaus von Stahlbaukonstruktionen sowie aktuelle Entwicklungen im Stahlbau ausführlich erläutert. Die Ergebnisse des PROGRESS-Projekts bilden eine gute Basis für zukünftige Untersuchungen zur Weiterentwicklung und Etablierung der Kreislaufwirtschaft im Stahlbau und Metallleichtbau. Basierend auf den bestehenden Erkenntnissen zur Wiederverwendung von Stahlbauteilen in Forschung und Normung kann zukünftig ein ganzheitliches Handlungskonzept vorgeschlagen und die Wiederverwendung zukunftsfest gemacht werden.

In Regallagern kommen sehr viele gleiche Stahlbauteile und Verbindungen zum Einsatz, individuell konzipiert und auf die oftmals eigene Produktion der Regalhersteller abgestimmt. Kleine Änderungen und Optimierungen der Regalkonstruktion haben oft große Wirkungen. In ihrem Kapitel zu Verbindungen im Regalbau erläutern Bettina Brune, Stephan Schneider und Dieter Ungermann, Technische Universität Dortmund die Besonderheiten der Regalstrukturen und ihrer Verbindungstechniken. Im Vergleich zum konventionellen Stahlbau ist die Regalbauweise so spezifisch, dass eine vollständige normative Bemessung weder auf der Basis der Grundnormen DIN EN 1993-1-1 "Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau" noch mithilfe der Spezialnorm DIN EN 1993-1-3 "Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche" möglich ist. In der Konsequenz muss bei der Planung von Regalstrukturen im Regelfall auf eine versuchsgestützte Bemessung zurückgegriffen werden. An dieser Stelle setzt der Beitrag an. Es werden die Ausführungs- und Konstruktionspraxis der Regalanschlüsse analysiert, relevante Regelwerke und technische Empfehlungen zusammengefasst und im Abgleich mit Eurocode 3 bewertet. Die Darstellung neuer Forschungsergebnisse zu Schubsteifigkeiten von Ständerrahmen im Regalbau auf der Basis eines "Komponentenmodells", das eine zuverlässige theoretische Einschätzung des Trag- und Verformungsverhaltens von konventionellen Ständerrahmen in Abhängigkeit der eingesetzten Verbindungstechniken erlaubt, rundet den Beitrag ab.

Mit dem Thema Tragende Klebverbindungen im Glasund Fassadenbau beschäftigen sich Christian Schuler, Martien Teich und Paul Müller. Hochschule München. Der Prozess der Herstellung von tragenden Klebverbindungen muss durch eine umfangreiche Qualitätssicherung begleitet werden, da bereits kleine unplanmäßige Abweichungen im Herstellprozess unter Umständen große Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion in der späteren Anwendung besitzen. Der Aufwand des Qualitätssicherungsprozesses ist vergleichbar mit der Herstellung von geschweißten Konstruktionen im Stahlbau. Vor diesem Hintergrund vermittelt der Beitrag grundlegendes Wissen zum Fügeverfahren Kleben im Glas- und Fassadenbau und dessen Anwendung. Zudem wird ein Überblick über aktuelle Forschungsarbeiten und bereits realisierte Praxisprojekte gegeben. Ergänzt werden die Ausführungen durch die Vorstellung relevanter normativer Dokumente und eine Einordnung bzw. Betrachtung geklebter Verbindung aus baurechtlicher Sicht.

Ich darf mich im Namen des Verlags Ernst & Sohn bei allen Autor:innen ganz herzlich für ihre qualitativ hochwertige Arbeit bedanken. Den Mitarbeiter:innen des Verlags und im Institut danke ich besonders für ihren großen Einsatz, der trotz aller Schwierigkeiten ein pünktliches Erscheinen des Kalenders möglich macht. Am Freitag, 30. Juni 2023 wird der diesjährige Stahlbau-Kalender-Tag in der FILharmonie in Filderstadt stattfinden, also wie im vergangenen Jahr wieder in Präsenz in einem besonders schönen Rahmen. Dazu möchten wir alle Interessierten ganz herzlich einladen. Es lohnt sich, da die Autor:innen dieser Ausgabe nicht nur zu ihren Themen vortragen, sondern auch für Diskussionen persönlich zur Verfügung stehen werden.

Stuttgart, Februar 2023 Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Inhaltsübersicht

Stahlbaunormen
 DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen 1
 Dieter Ungermann und Stephan Schneider

- Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB),
 Normen und Bescheide im Stahlbau 123
 Karsten Kathage und Christoph Ortmann
- Träger mit großen Stegöffnungen nach der neuen EN 1993-1-13, EN 1993-1-2, EN 1994-1-1 und EN 1994-1-2 247 Francois Hanus, Louis-Guy Cajot, Daniel Pak und Antoine Glorieux
- 4 Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-4:2022 299 Natalie Stranghöner, Nancy Baddoo, Francisco Meza, Detlef Ulbrich, Christoph Abraham und Dominik Jungbluth
- 5 Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-8:2022 391 Thomas Ummenhofer, Oliver Fleischer, Diba Kopic und Primož Može
- 6 Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-9:2022 473 Mathias Euler, Marion Rauch, Markus Knobloch, Ulrike Kuhlmann, Elena Sidorov, Stefanie Röscher und Lisa-Marie Gölz
- 7 Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-10:2022 601 Bertram Kühn, Markus Feldmann, Sandro Citarelli, Susanne Höhler, Mike Tibolt und Luis Borges
- 8 Wiederverwendung im Stahl- und Metallleichtbau 651 Markus Feldmann, Helen Bartsch, Markus Kuhnhenne und Raban Siebers
- Verbindungen im Regalbau 685
 Bettina Brune, Stephan Schneider und Dieter Ungermann
- 10 Tragende Klebverbindungen im Glas- und Fassadenbau 781 Christian Schuler, Martien Teich und Paul Müller

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XXI

1 Stahlbaunormen

DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen 1 Dieter Ungermann und Stephan Schneider

Eurocode Stahlbaut Anschlüss Nationale Hintergru Status un Nationale Verbindu harmonis	ng zum Abdruck von DIN EN 1993-1-8 5 23: Bemessung und Konstruktion von ten – Teil 1-8: Bemessung von sen 5 25: Vorwort 5 26: Hod des Eurocode-Programms 5 27: d Gültigkeitsbereich der Eurocodes 6 29: Fassungen der Eurocodes 6 20: ng zwischen den Eurocodes und den ierten Technischen Spezifikationen für ukte (EN und ETAZ) 7	2.4 2.5 2.6 2.7 3 3.1	Beanspruchbarkeit von Verbindungen 15 Annahmen für die Berechnung 15 Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbelastung, Belastung mit Schwingungen oder mit Lastumkehr 15 Exzentrizitäten in Knotenpunkten 15 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen 16 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben 16 Allgemeines 16
Nationale	er Anhang zu EN 1993-1-8 7	3.1.2	Vorgespannte Schrauben 17
1	Allgemeines 7	3.1.2	Niete 17
1.1	Anwendungsbereich 7	3.3	Ankerschrauben 17
1.1	Normative Verweisungen 7	3.4	Kategorien von
1.2.1	Bezugsnormengruppe 1: Schweißgeeignete	3.4	Schraubenverbindungen 17
1,2,1	Baustähle 7	3.4.1	Scherverbindungen 17
1.2.2	Bezugsnormengruppe 2: Toleranzen, Maße	3.4.2	Zugverbindungen 19
1.2.2	und technische Lieferbedingungen 8	3.4.2	Rand- und Lochabstände für Schrauben
1.2.3	Bezugsnormengruppe 3: Hohlprofile 8	3.3	und Niete 19
1.2.4	Bezugsnormengruppe 4: Schrauben,	3.6	Tragfähigkeiten einzelner
1,2,7	Muttern und Unterlegscheiben 8	5.0	Verbindungsmittel 20
1.2.5	Bezugsnormengruppe 5:	3.6.1	Schrauben und Niete 20
1.2.3	Schweißzusatzmittel und Schweißen 9	3.6.2	Injektionsschrauben 25
1.2.6	Bezugsnormengruppe 6: Niete 9	3.7	Gruppen von Verbindungsmitteln 26
1.2.7	Bezugsnormengruppe 7: Bauausführung	3.8	Lange Anschlüsse 27
	von Stahlbauten 9	3.9	Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten
1.3	Unterscheidung nach Grundsätzen und		8.8 oder 10.9 Schrauben 27
	Anwendungsregeln 9	3.9.1	Gleitwiderstand 27
1.4	Begriffe 9	3.9.2	Kombinierte Scher- und
1.4.1	Grundkomponente (eines Anschlusses) 9		Zugbeanspruchung 27
1.4.2	Verbindung 9	3.9.3	Hybridverbindungen 28
1.4.3	angeschlossenes Bauteil 10	3.10	Lochabminderungen 28
1.4.4	Anschluss 10	3.10.1	Allgemeines 28
1.4.5	Anschlusskonfiguration 10	3.10.2	Blockversagen von Schrauben-
1.4.6	Rotationskapazität 10		gruppen 28
1.4.7	Rotationssteifigkeit 10	3.10.3	Einseitig angeschlossene Winkel und
1.4.8	Kennwerte (eines Anschlusses) 10		andere unsymmetrisch angeschlossene
1.4.9	ebener Anschluss 10		Bauteile unter Zugbelastung 29
1.5	Formelzeichen 10	3.10.4	Anschlusswinkel für indirekten
2	Grundlagen der Tragwerksplanung 14		Anschluss 29
2.1	Annahmen 14	3.11	Abstützkräfte 30
2.2	Allgemeine Anforderungen 14	3.12	Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel im
2.3	Schnittgrößen 14		Grenzzustand der Tragfähigkeit 30
	24	3.13	Bolzenverbindungen 30

3.13.1 3.13.2	Allgemeines 30 Bemessung der Bolzen 30	6.2.2 6.2.3	Querkräfte 56 Biegemomente 56
3.13.2	Belliessung der Bolzen 50	6.2.4	Äquivalenter T-Stummel mit
4	Schweißverbindungen 32	0.2.4	Zugbeanspruchung 57
4.1	Allgemeines 32	6.2.5	Äquivalenter T-Stummel mit
4.2	Schweißzusätze 32	0.2.3	Druckbeanspruchung 62
4.3	Geometrie und Abmessungen 33	6.2.6	Tragfähigkeit der Grundkomponenten 63
4.3.1	Schweißnahtarten 33	6.2.7	Biegetragfähigkeit von Träger-
4.3.2	Kehlnähte 33	0.2.7	Stützenanschlüssen und Stößen 74
4.3.3	Schlitznähte 34	6.2.8	Tragfähigkeit von Stützenfüßen mit
4.3.4	Stumpfnähte 34	0.2.0	Fußplatten 78
4.3.5	Lochschweißungen 34	6.3	Rotationssteifigkeit 79
4.3.6	Hohlkehlnähte 34	6.3.1	Grundmodell 79
4.4	Schweißen mit Futterblechen 34	6.3.2	Steifigkeitskoeffizienten für die
4.5	Beanspruchbarkeit von Kehlnähten 34	0.5.2	Grundkomponenten eines Anschlusses 84
4.5.1	Schweißnahtlänge 34	6.3.3	Stirnblechanschlüsse mit zwei oder mehr
4.5.2	Wirksame Nahtdicke 35	0.0.0	Schraubenreihen mit
4.5.3	Tragfähigkeit von Kehlnähten 36		Zugbeanspruchung 84
4.6	Tragfähigkeit von Schlitznähten 36	6.3.4	Stützenfüße 85
4.7	Tragfähigkeit von Stumpfnähten 38	6.4	Rotationskapazität 86
4.7.1	Durchgeschweißte Stumpfnähte 38	6.4.1	Allgemeines 86
4.7.2	Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte 38	6.4.2	Geschraubte Anschlüsse 86
4.7.3	T-Stöße 38	6.4.3	Geschweißte Anschlüsse 86
4.8	Tragfähigkeit von Lochschweißungen 38		
4.9	Verteilung der Kräfte 38	7	Anschlüsse mit Hohlprofilen 86
4.10	Steifenlose Anschlüsse an Flansche 39	7.1	Allgemeines 86
4.11	Lange Anschlüsse 39	7.1.1	Geltungsbereich 86
4.12	Exzentrisch belastete einseitige Kehlnähte	7.1.2	Anwendungsbereich 87
	oder einseitige nicht durchgeschweißte	7.2	Berechnung und Bemessung 89
	Stumpfnähte 40	7.2.1	Allgemeines 89
4.13	Einschenkliger Anschluss von	7.2.2	Versagensformen von Anschlüssen mit
	Winkelprofilen 40		Hohlprofilen 89
4.14	Schweißen in kaltverformten Bereichen 40	7.3	Schweißnähte 90
5	Tragwerksberechnung, Klassifizierung und	7.3.1	Tragfähigkeit 90
	statische Modelle 41	7.4	Geschweißte Anschlüsse von KHP-
5.1	Tragwerksberechnung 41	- · ·	Bauteilen 93
5.1.1	Allgemeines 41	7.4.1	Allgemeines 93
5.1.2	Elastische Tragwerksberechnung 41	7.4.2	Ebene Anschlüsse 93
5.1.3	Starr-plastische Tragwerksberechnung 43	7.4.3	Räumliche Anschlüsse 99
5.1.4	Elastisch-plastische	7.5	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder
	Tragwerksberechnung 44		RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe 99
5.1.5	Berechnung von Fachwerkträgern 44	7.5.1	Allgemeines 99
5.2	Klassifizierung von Anschlüssen 45	7.5.2	Ebene Anschlüsse 100
5.2.1	Allgemeines 45	7.5.3	Räumliche Anschlüsse 108
5.2.2	Klassifizierung nach der Steifigkeit 45	7.6	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder
5.2.3	Klassifizierung nach der Tragfähigkeit 47		RHP-Streben an I- oder H-Profil
5.3	Statisches Modell für Träger-		Gurtstäbe 108
	Stützenanschlüsse 48	7.7	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder
			RHP-Streben an U-Profil Gurtstäbe 112
6	Anschlüsse mit H- oder	Anhang	NA.A (normativ) 117
<i>c</i> 1	I-Querschnitten 51		nde Vorspannverfahren zu DIN EN 1090-2
6.1	Allgemeines 51	_	
6.1.1	Geltungsbereich 51	_	NA.B (normativ) 117
6.1.2	Kenngrößen 51		e, Schmiedeteile und Bauteile aus
6.1.3	Grundkomponenten eines Anschlusses 51	vergutur	ngsstählen
6.2	Tragfähigkeit 52	Literatur	zu den Kommentaren 120
6.2.1	Schnittgrößen 52		

Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Stahlbau 123 Karsten Kathage und Christoph Ortmann

1	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische	3.1.1	Verzeichnis Sachgebiet Verbundbau 185
	Baubestimmungen (MVV TB) 125	3.1.2	Verzeichnis Sachgebiet Metallbau –
2	Normen und Richtlinien für den		Werkstoffe 187
2	Stahlbau 179	3.1.3	Verzeichnis Sachgebiet Metallbau und
	Stanioau 179		Metallbauarten 190
3	Bescheide des Deutschen Instituts für	3.1.4	Verzeichnis Sachgebiet Gerüste 221
	Bautechnik DIBt	3.2	Europäische Technische Bewertungen 234
	(Stand: Oktober 2022) 185		
3.1	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen/		
	allgemeine Bauartgenehmigungen 185		

3 Träger mit großen Stegöffnungen nach der neuen EN 1993-1-13, EN 1993-1-2, EN 1994-1-1 und EN 1994-1-2 247

Francois Hanus, Louis-Guy Cajot, Daniel Pak und Antoine Glorieux

1	Einleitung 251	3.1.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
2	Entwicklung des Eurocodes für Träger mit	2.2	(GZG) 257
	großen Stegöffnungen 251	3.2	EN 1993-1-2 257
		3.2.1	Anwendungsbereich 257
3	Bemessungskonzept und	3.2.2	Thermische Analyse 257
	Bemessungsgrundsätze 252	3.2.3	Mechanische Analyse 258
3.1	EN 1993-1-13 252	3.3	EN 1994-1-1 258
3.1.1	Anwendungsbereich 252	3.3.1	Anwendungsbereich 258
3.1.2	Globale Tragwerksanalyse und	3.3.2	Globale Tragwerksanalyse und Verteilung
	Schnittgrößenverteilung im		der Schnittgrößen im Bereich der
	Querschnitt 252		Öffnungen 258
3.1.3	Querschnittsklassifizierung 252	3.3.3	Querschnittsklassifizierung und effektive
3.1.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit		Breite 259
	(GZT) 253	3.3.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit
3.1.4.1	Globale Querkraftbeanspruchbarkeit 253		(GZT) 259
3.1.4.2	Globale Momentenbeanspruchbarkeit und	3.3.4.1	Längsschubtragfähigkeit der
	Stabilität des gedrückten T-Profils 254		Kopfbolzendübel, Nachweis der
3.1.4.3	Tragfähigkeit der T-Profile unter		Verdübelung, minimaler
	Vierendeel-Biegung 254		Verdübelungsgrad 259
3.1.4.4	Stegbeulen (Biegeknicken des Stegs) neben	3.3.4.2	Globale Momententragfähigkeit 260
	weit auseinanderliegenden Öffnungen 254	3.3.4.3	Querkrafttragfähigkeit im Bereich von
3.1.4.5	Biegeknicken des Stegpfostens, Querkraft-		Stegöffnungen 260
	und Biegetragfähigkeit zwischen eng	3.3.4.4	Querkrafttragfähigkeit unter Vierendeel-
	beieinanderliegenden Öffnungen 254		Biegung 260
3.1.4.6	Öffnungen mit Längssteifen 255	3.3.4.5	Biegeknicken des Stegpfostens zwischen
3.1.4.7	Stabilität und Querkrafttragfähigkeit des		weit auseinander- oder eng
	Endpfostens neben dem Anschluss 255		beieinanderliegenden Öffnungen 260
3.1.4.8	Berücksichtigung von aufgebrachten Lasten	3.3.4.6	Bemessung der Plattenquerbewehrung unter
	oder Kräften, die den Einsatz von		lokalen Schnittkräften 260
	Ouersteifen erfordern könnten 256	3.3.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
3.1.4.9	Alternative Methode für die Vierendeel-		(GZG) 260
	Biegung an runden Öffnungen unter	3.4	EN 1994-1-2 260
	Verwendung radialer Spannungen 256	3.4.1	Anwendungsbereich 260
3.1.4.10	Alternatives Verfahren für den Nachweis	3.4.2	Thermische Analyse 261
	der Stabilität von Stegpfosten zwischen	3.4.3	Mechanische Analyse 261
	runden Öffnungen 256		•
3.1.4.11	Alternative Methode zum Vierendeel-	4	Bemessung eines Verbundträgers mit weit
21211111	Biegenachweis von sinusförmigen		auseinanderliegenden und eng
	Stegöffnungen 257		beieinanderliegenden Stegöffnungen 261
3.1.4.12	Biegedrillknicken 257	4.1	Hinweis zu den verwendeten Normen 261
5.1.7.12	Diegodi inkiliekcii 231		

XII Inhaltsverzeichnis	
------------------------	--

4.2	Beschreibung des Verbundträgers 261	5.2.1	Momentenbeanspruchbarkeit des
4.3	Lastannahmen 263		Stahlträgers im Bereich der Öffnung 281
4.3.1	Bauzustand 263	5.2.2	Querkraftbeanspruchbarkeit des
4.3.2	Nutzungsphase (Verbundträger) 263		Stahlträgers im Bereich der Öffnung 281
4.3.3	Bemessungsschnittgrößen 264	5.2.3	Querkraftbeanspruchbarkeit der T-Profile
4.4	Schubverbindung 264		unter Vierendeel-Biegung 282
4.5	Nutzungsphase (Verbundträger) –	5.2.4	Querkraft- und
	Querschnitt ohne Öffnung 264		Momentenbeanspruchbarkeit zwischen zwei
4.5.1	Momentenbeanspruchbarkeit in		dicht beieinanderliegenden Öffnungen 282
1.5.1	Trägermitte (Vollquerschnitt ohne	5.2.5	Stegbeulen/Biegeknicken des Stegs neben
		3.2.3	weit auseinanderliegenden Öffnungen 283
4.5.0	Offnung) 265	5.2.6	
4.5.2	Querkraftbeanspruchbarkeit	5.2.6	Biegeknicken des Stegpfostens zwischen
4.6	(Vollquerschnitt ohne Öffnung) 265		zwei dicht beieinanderliegenden
4.6	Nutzungsphase (Verbundträger) –		Offnungen 283
	rechteckige Offnung 265	5.3	Bauzustand – Biegedrillknicken 284
4.6.1	Momentenbeanspruchbarkeit des	6	Heißbemessung eines geschützten
	Verbundträgers im Bereich der	O	Stahlträgers mit weit auseinanderliegenden
	Öffnung 266		Öffnungen 285
4.6.2	Querkraftbeanspruchbarkeit des	6.1	Lastannahmen 285
	Verbundträgers im Bereich der		
	Öffnung 268	6.1.1	Bemessungsschnittgrößen 285
4.6.3	Querkraftbeanspruchbarkeit der T-Profile	6.2	Momentenbeanspruchbarkeit im Bereich
	unter Vierendeel-Biegung 269		der rechteckigen Öffnung 286
4.6.4	Stegbeulen/Biegeknicken des Stegs neben	6.3	Querkraftbeanspruchbarkeit im Bereich der
7.0.7	weit auseinanderliegenden Öffnungen 270		rechteckigen Öffnung 287
4.7		6.4	Querkraftbeanspruchbarkeit der T-Profile
4./	Nutzungsphase (Verbundträger) – dicht		unter Vierendeel-Biegung 287
4.7.1	beieinanderliegende runde Öffnungen 271	6.5	Stegbeulen/Biegeknicken des Stegs neben
4.7.1	Momentenbeanspruchbarkeit des		weit auseinanderliegenden Öffnungen 287
	Verbundträgers im Bereich der	6.6	Querkraft- und Momenten-
	Offnung 271		beanspruchbarkeit zwischen zwei dicht
4.7.2	Querkraftbeanspruchbarkeit des		beieinanderliegenden Öffnungen 288
	Verbundträgers im Bereich der	6.7	Biegeknicken des Stegpfostens zwischen
	Öffnung 273	0.7	zwei dicht beieinanderliegenden
4.7.3	Querkraftbeanspruchbarkeit der T-Profile		Öffnungen 289
	unter Vierendeel-Biegung 274	6.8	
4.7.4	Stegbeulen/Biegeknicken des Stegs neben		Biegedrillknicken 290
	weit auseinanderliegenden Öffnungen 276	6.9	Kritische Temperatur zur Festlegung der
4.7.5	Querkraft- und Momenten-		Brandschutzbeschichtung 291
	beanspruchbarkeit zwischen zwei dicht	7	Heißbemessung eines geschützten
	beieinanderliegenden Öffnungen 276		Verbundträgers mit weit
4.7.6	Biegeknicken des Stegpfostens zwischen		auseinanderliegenden Öffnungen 291
1.7.0	zwei dicht beieinanderliegenden	7.1	Temperaturverteilung 292
	Öffnungen 278	7.2	Lastannahmen 292
	· ·	7.2.1	Bemessungsschnittgrößen 292
5	Bemessung eines Verbundträgers mit weit	7.2.1	Schubverbindung, Längsschubtragfähigkeit
	auseinanderliegenden und eng	1.3	
	beieinanderliegenden Stegöffnungen –	7.4	der Kopfbolzendübel 292
	Bauzustand – Stahlträger 279	7.4	Momentenbeanspruchbarkeit im Bereich
5.1	Bauzustand – rechteckige Öffnung 279		der Offnung 292
5.1.1	Momentenbeanspruchbarkeit des	7.5	Querkraftbeanspruchbarkeit im Bereich der
3.1.1	Stahlträgers im Bereich der Öffnung 279		Öffnung 294
5.1.2	Querkraftbeanspruchbarkeit des	7.6	Querkraftbeanspruchbarkeit der T-Profile
J.1.2	Stahlträgers im Bereich der Öffnung 280		unter Vierendeel-Biegung 295
5 1 2		7.7	Stegbeulen/Biegeknicken des Stegs neben
5.1.3	Querkraftbeanspruchbarkeit der T-Profile		weit auseinanderliegenden Öffnungen 296
5 1 4	unter Vierendeel-Biegung 280	7.8	Kritische Temperatur zur Festlegung der
5.1.4	Stegbeulen/Biegeknicken des Stegs neben		Brandschutzbeschichtung 297
<i>-</i> -	weit auseinanderliegenden Öffnungen 281		
5.2	Bauzustand – dicht beieinanderliegende		Literatur 297
	runde Öffnungen 281		

4 Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-4:2022 299 Natalie Stranghöner, Nancy Baddoo, Francisco Meza, Detlef Ulbrich, Christoph Abraham und Dominik Jungbluth

1	E. 1.4 202	4 4 7	Decree and the decid had I act and distance and
1	Einleitung 303	4.4.7	Beanspruchbarkeit bei Lasteinleitung von Querlasten in der Blechebene 348
2	Werkstoffe 304	4.4.8	Quersteifen im Steg 350
2.1	Neuer Normentext 304	4.5	Stabilitätsnachweise für Bauteile 350
2.2	Allgemeines zum Einsatz von	4.5.1	Allgemeines 350
	nichtrostenden Stählen im Bauwesen 310	4.5.2	Biegeknicken 350
2.3	Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.1, 5.1.2,	4.5.3	Drillknicken und Biegedrillknicken unter
	5.1.5: Nichtrostende Stahlsorten und		Normalkraft 352
2.4	Festigkeitsklassen 313	4.5.4	Biegedrillknicken 352
2.4	Nichtlineares Materialverhalten 317	4.5.5	Durch Biegung und Druck beanspruchte
2.5	Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.2.3:		gleichförmige Bauteile 354
	Kaltumgeformte Profile – Werkstoffeigenschaften 320	4.6	Verformungsbasierte Bemessung nach der
2.6	Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.3:		Continuous Strength Method (CSM)
2.0	Bruchzähigkeit – Werkstoffwahl zur		- Anhang B der prEN 1993-1-4:2022 356
	Vermeidung von Sprödbuch 320	4.6.1	Allgemeines 356
2.6.1	Allgemeines 320	4.6.2	Materialmodell 357
2.6.2	Nichtrostende austenitische Stähle 321	4.6.3	Basiskurve 357
2.6.3	Nichtrostende ferritische Stähle 321	4.6.4	Querschnittstragfähigkeit 359
2.6.4	Nichtrostende Duplex-Stähle 321	5	Grenzzustände der Gebrauchs-
2.7	Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.4:		tauglichkeit 361
	Eigenschaften in Dickenrichtung 322	5.1	Neuer Normentext 361
2.8	Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit	5.2	Allgemeines 362
	(Anhang A der prEN 1993-1-4:2022) 323	5.3	Bemessung im Grenzzustand der
2.9	Verbindungsmittel 326		Gebrauchstauglichkeit 362
2.9.1	Mechanische Verbindungsmittel 326	5.3.1	Anmerkung zu Abschnitt 9.1 (3):
2.9.2	Vorgespannte Schrauben(-verbindungen)		Ermittlung von kritischen
202	328		Beulspannungen 362
2.9.3	Schweißzusatzwerkstoffe 330	5.3.2	Anmerkung zu Abschnitt 9.2: Ermittlung
3	Tragwerksberechnung 331		von Verformungen 362
3.1	Neuer Normentext 331	6	Bemessung von Verbindungen 363
3.2	Allgemeines 339	6.1	Neuer Normentext 363
3.3	Anmerkungen zu 7.3: Imperfektionen 339	6.2	Allgemeines 366
3.4	Anmerkungen zu 7.4: Berechnungs-	6.3	Bemessung von Schrauben-
	verfahren unter Berücksichtigung des nichtlinearen Werkstoffverhaltens 340	6.3.1	verbindungen 366
3.4.1		6.3.2	Allgemeines 366 Apperlung zu Abschnitt 10 1(2) (3):
3.4.1	Anmerkung zu 7.4.2: Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie 340	0.5.2	Anmerkung zu Abschnitt 10.1(2),(3): Einsatz gewindefurchender Schrauben 367
3.4.2	Anmerkung zu 7.4.3: Tragwerksberechnung	6.3.3	Anmerkungen zu Abschnitt 10.2(1),(2):
3.4.2	nach der Plastizitätstheorie 340	0.5.5	Lochleibungstragfähigkeit von Blechen aus
3.5	Anmerkungen zu 7.5: Einstufung in		nichtrostendem Stahl 367
5.5	Querschnittsklassen 341	6.3.4	Anmerkungen zu Abschnitt 10.2(3)–(5):
		0.0	Abscher-, Zug- und Interaktions-
4	Grenzzustände der Tragfähigkeit 342		tragfähigkeit nichtrostender
4.1	Allgemeines 342		Schrauben 368
4.2	Tragwerksberechnung und Einstufung in	6.3.5	Anmerkung zu 10.2(6): Gleitfeste
4.3	Querschnittsklassen 342 Teilsicherheitsbeiwerte 342		Verbindungen 370
4.3	Querschnittsbeanspruchbarkeit 343	6.4	Geschweißte Verbindungen 371
4.4.1	Allgemeines 343	7	Ausführung von Tragwerken
4.4.2	Wirksame Querschnittswerte 343	,	aus nichtrostendem Stahl nach
4.4.3	Zugbeanspruchung 344		DIN EN 1090-2 371
4.4.4	Druckbeanspruchung 345	7.1	Allgemeines 371
4.4.5	Biegemomentenbeanspruchung 345	7.2	Übereinstimmungsverfahren 373
4.4.6	Querkraftbeanspruchung 347	7.3	Fertigungsverfahren für Bauteile aus
			nichtrostenden Stählen 373

XIV	Inhaltsverzeichnis		
7.3.1 7.3.2 7.3.3 7.3.4 7.3.5 7.3.6 7.3.7 7.3.8	Allgemeines 373 Oberflächenbeschaffenheit 373 Lagerung 375 Spanende Bearbeitung und Trennen 375 Kalt- und Warmumformen 376 Schweißen 376 Flammrichten 378 Wärmebehandlung 378	7.3.9 7.3.10 7.3.11 7.3.12 7.3.13 7.3.14	Fressen, Kaltverschweißen 378 Nichtrostender Stahlguss 379 Nachbehandlung, Reinigung 380 Verzinken 381 Kontakt mit anderen Metallen 381 Abnahme, Unterhalt und Wartung 382 Literatur 382
Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-8:2022 391 Thomas Ummenhofer, Oliver Fleischer, Diba Kopic und Primož Može			
1	Einleitung 393	5	Tragwerksberechnung 422
2 3	Tragwerksplanung 394 Schrauben-, Niet- und	6	Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten 425
	Bolzenverbindungen 396	7	Anschlüsse mit Hohlprofilen 428

6 Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-9:2022 473

Schweißverbindungen 416

4

Mathias Euler, Marion Rauch, Markus Knobloch, Ulrike Kuhlmann, Elena Sidorov, Stefanie Röscher und Lisa-Marie Gölz

Literatur 469

1	Einleitung 477	5	Bemessungsgrundlagen 494
1.1	Bemessungsregeln bei Ermüdungsgefährdung 477	6	Bemessungsphilosophien 495
1.2 1.2.1	Überblick zu den Änderungen in prEN 1993-1-9 478 Allgemeines 478	7 7.1	Bemessungskonzepte 498 Spannungsbasierte Bemessungskonzepte 498
1.2.1	Änderungen im Hauptteil 478	7.2	Nachweisverfahren 499
1.2.3	Schädigungsakkumulation – Anhang A 479	8	Ermüdungsbeanspruchung im Nennspannungskonzept 500
1.2.4	Alternative spannungsbasierte Bemessungskonzepte – Anhänge B, C und G 479	8.1 8.2 8.3	Nennspannungsberechnung 500 Maßgebende Nennspannungen 501 Schwingbreite der Nennspannungen 504
1.2.5	Modifikationsfaktoren für die Nennspannungsermittlung –	8.4	Wirksame Spannungsschwingbreite 506
1.2.6	Anhänge D und E 480 Nachbehandlungsmethoden –	9	Ermüdungswiderstand im Nennspannungskonzept 506
1.3	Anhang F 480 Gegenstand und Verständnis des Beitrags 480	9.1 9.2	Ermüdungswiderstandskurven 506 Klassifizierung der Konstruktionsdetails 511
2	Anwendungsbereich von prEN 1993-1-9 480	9.3	Modifikationen des Ermüdungswiderstands 512
2.1	Anwendungsbereich 480	10	Ermüdungsnachweis 513
2.2	Annahmen 481	10.1	Voraussetzungen des Ermüdungs- nachweises 513
3	Normative Verweise 482	10.2	Ermüdungsnachweis 515
4 4.1	Begriffe, Definitionen und Symbole 482 Vorbemerkung 482	10.3	Mehrachsige Ermüdungsbeanspruchung 516
4.2	Allgemeine Begriffe und Definitionen 482	11	Kerbfalltabellen 517
4.3 4.4	Spannungserhöhende Effekte 483 Unterscheidung der Spannungsarten 485	11.1	Vorbemerkungen 517
4.4	Ermüdungseinwirkung 487	11.2	Ungeschweißte Bauteile (Tabelle 10.1) 519
4.6	Ermüdungsbeanspruchung 487	11.3	Geschraubte Anschlüsse (Tabelle 10.2) 521
4.7	Ermüdungswiderstand 490	11.4	Geschweißte zusammengesetzte
4.8	Ermüdungsnachweis 494		Querschnitte und Längsnähte (Tabelle 10.3) 524

11.5	Querlaufende Stumpfstöße (Tabelle 10.4) 526	14.2 14.3	Aufbau 571 Hintergrund zum
11.6	Angeschweißte Anschlussteile und Steifen (Tabelle 10.5) 531	14.4	Kerbspannungskonzept 571 Anwendungsbereich 572
11.7	Lasttragende geschweißte Anschlüsse (Tabelle 10.6) 534	14.5 14.6	Ermüdungsbeanspruchung 573 Ermüdungswiderstand 575
11.8	Hohlprofilquerschnitte (Tabelle 10.7) 538	14.7	Ermüdungsnachweis 577
11.9	Fachwerkknoten aus Hohlprofilquerschnitten (Tabelle 10.8) 541	15	Anhang D – Empfehlungen für Erhöhungsfaktoren und Spannungs-
11.10	Orthotrope Fahrbahnen, geschlossene Längssteifen (Tabelle 10.9) 544	15.1	konzentrationsfaktoren 577 Allgemeines 577
11.11	Orthotrope Fahrbahnen, offene Längssteifen (Tabelle 10.10) 549	15.2 15.3	Anwendungsbereich 577 Sekundäre Biegemomente in
11.12	Konstruktionsdetails von Kranbahnträgern (Tabelle 10.11) 552		Fachwerkträgern 578
11.13	Konstruktionsdetails von Türmen, Masten und Schornsteinen (Tabelle 10.12) 554	15.4 15.5	Flansche von Trägern 578 Weitere Spannungskonzentrationsfaktoren 580
11.14	Erläuterung der Schweißnahtsymbole 556		
12	Anhang A – Lineare Schadens- akkumulation 557	16	Anhang E – Empfehlungen für vorgespannte Schrauben und
12.1	Anwendungsbereich 557		Gewindestangen unter
12.2	Ermüdungsbeanspruchung 557		Zugbeanspruchung 580
12.3	Ermüdungswiderstand im	16.1	Allgemeines 580
	Nennspannungskonzept 557	16.2	Anwendungsbereich 581
12.4	Ermüdungswiderstand in weiteren	16.3	Vereinfachte Berechnungsmethode 582
	spannungsbasierten	17	Anfang F – Höherfrequente
	Bemessungskonzepten 559		Hämmerverfahren 583
12.5	Ermüdungsnachweis 560	17.1	Anwendungsbereich 583
	č	17.2	Ermüdungsbeanspruchung 585
13	Anhang B – Struktur-	17.3	Ermüdungswiderstand 586
	spannungskonzept 561	17.4	Weitere Hinweise zum Ermüdungs-
13.1	Allgemeines 561	17.1	widerstand 592
13.2	Aufbau 561	17.5	Ermüdungsnachweis 594
13.3	Hintergrund zum Struktur-	17.6	Allgemeine Anwendung 594
	spannungskonzept 562	17.7	Anwendung bei mehrstufiger
13.4	Anwendungsbereich 563	1/./	Ermüdungsbeanspruchung 595
13.5	Ermüdungsbeanspruchung 564		Ermudungsocanspruchung 333
13.6	Ermüdungswiderstand 566	18	Zusammenfassung 597
13.7	Ermüdungsnachweis 570		Literatur 597
14 14.1	Anhang C – Kerbspannungskonzept 571 Allgemeines 571		Normen und Richtlinien 597 Fachliteratur 599

7

Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-10:2022 601 Bertram Kühn, Markus Feldmann, Sandro Citarelli, Susanne Höhler, Mike Tibolt und Luis Borges

1	Einleitung 605	2.2.1	Relevanter neuer Normentext aus
1.1	Zu diesem Beitrag 605		prEN 1993-1-10:2022, Kapitel 1 608
1.2	Über die Autoren 605	2.2.2	Erläuterungen zu den in prEN 1993-1-10:
1.3	Neue Gliederung in prEN 1993-1-10:		2020, Kapitel 1 vorgenommenen
	2022 606		wesentlichen Änderungen zur Öffnung von
1.4	Zusammenfassung der wesentlichen		Teil 1-10 für wiederverwendeten
	Änderungen 606		Baustahl 609
2.	Vanatallyn a ynd Enläytamyn a vyssantlich an	2.3	Ergänzungen in den Abschnitten Begriffe
2	Vorstellung und Erläuterung wesentlicher		und Symbole 609
	Anderungen 608	2.3.1	Neue Begriffe und Symbole in
2.1	Allgemeines 608		prEN 1993-1-10:2022, Kapitel 3 609
2.2	Öffnung des Anwendungsbereichs auf	2.3.2	Erläuterungen zu den neuen Begriffen und
	wiederverwendete, bereits genutzte	2.3.2	
	Bauteile 608		Symbolen in [7], Kapitel 3 610

2.4	Einführung eines neuen Ablaufdiagramms für die Werkstoffwahl zur Vermeidung von	3	Vermeidung von Terrassenbruch durch Festlegung von Werkstoff- eigenschaften in Dickenrichtung 631
2.4.1	Sprödbruch 611 Wesentliche Ergänzung von prEN 1993- 1-10:2022, Kapitel 4.1 im Sinne einer	3.1	Neuer Normentext aus prEN 1993-1-10: 2022, Kapitel 5 631
2.4.2	einfachen Nutzbarkeit 611 Erläuterungen zum Ablaufdiagramm für	3.2	Erläuterungen zu prEN 1993-1-10:2022, Kapitel 5 633
	die Werkstoffwahl mit den neuen Bausteinen Ausführungsklassen, statische versus Ermüdungsbeanspruchung und	4	Spezifische Regeln für Knotenbleche mit Ausschnitten in Einschub-
	Details gemäß EN 1993-1-9 oder abweichend davon 612	4.1	verbindungen 634 Neuer Anhang A (informativ) in
2.5	Neuerungen bei der vereinfachten Auswahl der Bruchzähigkeit mithilfe von	4.2	prEN 1993-1-10:2022 634 Erläuterungen zu prEN 1993-1-10:2022, Anhang A 636
	Tabellenwerten 613	4.2.1	Allgemeines 636
2.5.1	Allgemeines 613	4.2.2	Knotenverbindungen im Hochbau 637
2.5.2	Wesentliche Ergänzung in prEN 1993-1-10: 2022, Kapitel 4.2.1 im Sinne einer einfachen	4.2.3	Vereinfachte Tabellen für Einschubverbindungen 637
2.5.2	Nutzbarkeit 613	4.2.4	Anwendung der vereinfachten
2.5.3	Erläuterungen zu den Anderungen in Kapitel 4.2 und 4.2.1 614		Tabellen 638
2.5.4	Wesentliche Ergänzung in prEN 1993-1-10:	5	Bemessungsbeispiele 638
	2022, Kapitel 4.2.2, Abschnitt 4.2.2.1 und	5.1	Anwendung des vereinfachten
	4.2.2.2 im Sinne einer deutlichen		Tabellenverfahrens auf eine Stahlbrücke
	Erweiterung der Anwendbarkeit der		zum Nachweis einer ausreichenden
	Tabellenwerte und mehr Möglichkeiten zur		Stahlgüte für die Flansche 638
	Differenzierung für bestimmte	5.2	Anwendung des vereinfachten Tabellen-
	Anwendungsfälle 616		verfahrens auf ein Bauteil aus dem
2.5.5	Erläuterungen zu den Änderungen in		Industriebau 641
	Kapitel 4.2.2, Abschnitt 4.2.2.1 und	5.2.1	Fallbeispiel 1 – das betrachtete Bauteil,
	4.2.2.2 618		infolge einer sehr hohen Schadensfolge für
2.5.6	Neuerung in prEN 1993-1-10:2022,		den Betrieb eingestuft in Ausführungsklasse
	Kapitel 4.2.2.3 bezogen auf komplexe		3 (EXC3), wird so ausgeführt, dass es einem
	Anschlüsse 622		Kerbfall gemäß den Kerbfalltabellen aus
2.5.7	Erläuterungen zum neuen Kapitel		Eurocode 3 Teil 1-9 zugeordnet werden
	4.2.2.3 623		kann 641
2.6	Anderungen im Zusammenhang mit	5.2.2	Fallbeispiel 2 – das betrachtete Bauteil,
	genaueren bruchmechanischen		Bestandteil einer normalen Halle und
	Nachweisen 624		demnach eingestuft in Ausführungsklasse 1
2.7	Neue Regelungen mit zusätzlichen		oder 2 (EXC1 oder EXC2), wird so
	Anforderungen an die Bruchzähigkeit für		ausgeführt, dass es einem Kerbfall gemäß
	bestimmte Anwendungsfälle 625		den Kerbfalltabellen aus Eurocode 3 Teil
2.7.1	Neues Kapitel 4.3 in prEN 1993-1-10:2022		1-9 zugeordnet werden kann 643
	mit zusätzlichen Zähigkeitsanforderungen	5.2.3	Fallbeispiel 3 – das betrachtete Bauteil,
	in Hinblick auf die Hochlage 625		Bestandteil einer normalen Halle und
2.7.2	Erläuterungen zu prEN 1993-1-10:2022,		demnach eingestuft in Ausführungsklasse 1
	Kapitel 4.3 625		oder 2 (EXC1 oder EXC2), wird so
2.8	Scheinbar neue Regelungen mit zusätzlichen		ausgeführt, dass es keinem Kerbfall gemäß
	Werkstoffanforderungen beim Schweißen in		den Kerbfalltabellen aus Eurocode 3 Teil
	kaltumgeformten Bereichen 630		1-9 zugeordnet werden kann 644
2.8.1	Neues Kapitel 4.4 in prEN 1993-1-10:2022 mit zusätzlichen Werkstoff-	6	Zusammenfassung und Ausblick 646
	anforderungen 630		Literatur 647
2.8.2	Erläuterungen zu prEN 1993-1-10:2022,		217
2.0.2	Kapitel 4.4 631		

8 Wiederverwendung im Stahl- und Metallleichtbau 651 Markus Feldmann, Helen Bartsch, Markus Kuhnhenne und Raban Siebers

1	Einleitung 653	4.3.1	Ermittlung von Dieselverbrauchsdaten 665
2	Stand der Forschung und Normung 654	4.3.2	Autokrane 667
2.1	Re-Use: Wiederverwendung von	4.3.3 4.3.4	Raupen/Kettenkrane 667 Ladekrane 667
	Stahlbauteilen 654	4.3.5	Teleskoplader 668
2.2	Retrofitting: Weiterverwendung von	4.3.6	Hubarbeitsbühnen 668
2.3	Bauwerken 656 Fazit 657	4.3.7	Bagger 669
		4.3.8	Kleingeräte 671
3	Das europäische Forschungsprojekt	4.4	Auswertung der Projektdatenbank und
3.1	PROGRESS 658 Allgemeines 658	4.4.1	Sachbilanz 672 Abbruch 673
3.2	Wiederverwendungsszenarien 658	4.4.2	Rückbau 674
3.3	Bewertung der Wiederverwendbarkeit 661	4.5	Wirkungsabschätzung 677
3.4	Gebäudehüllen in Metall-	4.5.1	Abbruch 677
	leichtbauweise 662	4.5.2	Rückbau 677
3.5	Danksagung 664	4.6	Auswertung und Ergebnisdarstellung der Ökobilanz 678
4	Untersuchungen zur Ökobilanz des		
	zerstörungsfreien Rückbaus von	5	Aktuelle Entwicklungen im Stahlbau 680
	Stahlbaukonstruktionen im Vergleich	5.1	Einleitung 680
4.1	zum Abbruch 664 Einleitung – Definition, Ziel und	5.2	Möglichkeiten der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen 681
7.1	Untersuchungsrahmen 664		
4.2	Hintergrunddatenbank 665	6	Zusammenfassung 683
4.3	Geräte für Abbruch und Rückbau 665		Literatur 683
	bindungen im Regalbau 685 tina Brune, Stephan Schneider und Dieter Ungermann		
1	Einführung 689	2.2	Verbindungen in verstellbaren
1.1	Lagertechnik 689		Palettenregalsystemen 699
1.1 1.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689	2.2.1	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699
1.1	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691		Palettenregalsystemen 699
1.1 1.2 1.3	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689	2.2.1	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691	2.2.1 2.2.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale –	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale –	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3 1.3.4 1.3.4.1 1.3.4.2 1.3.5	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696 Allgemeines 696	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705 Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse 707 Allgemeines 707 Einfluss der Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3 1.3.4 1.3.4.1 1.3.4.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696 Allgemeines 696 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705 Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse 707 Allgemeines 707 Einfluss der Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3 1.3.4.1 1.3.4.2 1.3.5 1.3.5.1 1.3.5.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696 Allgemeines 696 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen des Regalhauptblocks 697	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3 2.2.4.1 2.2.4.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705 Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse 707 Allgemeines 707 Einfluss der Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 707
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.4 1.3.4.1 1.3.4.2 1.3.5 1.3.5.1 1.3.5.2	Regale aus Stahl 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696 Allgemeines 696 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen des Regalhauptblocks 697 Weitere Regaltypen 698	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3 2.2.4.1 2.2.4.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705 Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse 707 Allgemeines 707 Einfluss der Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 707 Verbindungen in Fachbodenregalen 709
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.3.3 1.3.4.1 1.3.4.2 1.3.5 1.3.5.1 1.3.5.2	Lagertechnik 689 Regale aus Stahl 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696 Allgemeines 696 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen des Regalhauptblocks 697 Weitere Regaltypen 698 Die Besonderheiten der	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3 2.2.4.1 2.2.4.2 2.3 2.3.1	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705 Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse 707 Allgemeines 707 Einfluss der Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 707
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.3.1 1.3.3.2 1.3.4 1.3.4.1 1.3.4.2 1.3.5 1.3.5.1 1.3.5.2	Regale aus Stahl 689 Regale aus Stahl 689 Regalsysteme 691 Allgemeine Begriffe 691 Tragkonstruktion der Regalsysteme 691 Palettenregale 691 Allgemeines 691 Variante 1: Verstellbare Palettenregale – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 692 Variante 2: Geschraubtes Längstraversenregal – Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 693 Fachbodenregale 694 Allgemeines 694 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen 695 Dach- und wandtragende Hochregalanlagen (Silos) 696 Allgemeines 696 Tragstruktur, Bauteile und Verbindungen des Regalhauptblocks 697 Weitere Regaltypen 698	2.2.1 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.2.4 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3 2.2.4.1 2.2.4.2	Palettenregalsystemen 699 Allgemeines 699 Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 699 Anschlusskonstruktionen in Varianten 699 Einfluss der Stützen-Diagonal-Anschlüsse auf die Schubsteifigkeit von Ständerrahmen 700 Resümee 704 Jüngste Forschungsergebnisse 704 Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 704 Allgemeines 704 Schweißen 705 Einfluss der Palettenträger-Stützen-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 705 Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse 707 Allgemeines 707 Einfluss der Stützen-Fußpunkt-Anschlüsse auf die Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Palettenregalen 707 Verbindungen in Fachbodenregalen 709 Allgemeines 709

2.3.3	Anschlüsse der längsaussteifenden Bauteile 710	4.5	Biegeversuche am Palettenträger-Stützen- Anschluss 727
2.3.4	Fachboden-Stützen-Anschlüsse 710	4.5.1	Allgemeines 727
2.3.4	Verbindungen in dach- und wandtragenden	4.5.2	Anmerkungen zu den Versuchen an
	Hochregalanlagen 711	7.5.2	Palettenträger-Stützen-Verbindungen nach
2.4.1	Allgemeines 711		DIN EN 15512 [11], A.3.1 728
2.4.2	Stützen-Diagonalen-Anschlüsse von Ständerrahmen 711	4.6	Scherversuche am Palettenträger-Stützen- Anschluss 728
2.4.3	Palettenträger-Stützen-Anschlüsse 711	4.6.1	Allgemeines 728
2		4.6.2	Anmerkungen zu den Scherversuchen an
3	Tragwerksberechnung von verstellbaren		Palettenträger-Stützen-Anschlüssen nach
	Palettenregalsystemen unter		DIN EN 15512 [11], A.3.3 729
	Berücksichtigung der besonderen	4.7	Weitere Anschluss-Versuche nach
2.1	Verbindungstechniken 713		DIN EN 15512, Anhang A 730
3.1	Normative Grundlagen 713	4.7.1	Ermittlung des Anschlussspiels am
3.2	Tragwerksberechnung 713		Palettenträger-Stützen-Anschluss nach
3.2.1	Allgemeines 713		DIN EN 15512, A.3.2 730
3.2.2	Statisches Modell eines Palettenregals in	4.7.2	Prüfungen an Stützenstößen nach
	Querrichtung 714		DIN EN 15512, A.3.6 730
3.2.3	Statisches Modell eines Palettenregals in	_	
	Längsrichtung 714	5	Forschung zur Schubsteifigkeit von
3.3	Bemessung von Bauteilen in verstellbaren		Ständerrahmen in Abhängigkeit der
	Palettenregalen 715		Verbindungen 731
3.3.1	Allgemeines 715	5.1	Einführung und Problemstellung 731
3.3.2	Bemessung von Regalstützen unter Druck-	5.2	Zielsetzung und Lösungsweg 731
	und Biegebeanspruchung 715	5.3	Modellvorstellung und Definition der
3.3.2.1	Typische Formen von Stützenprofilen in		Komponenten 732
	Palettenregalen 715	5.4	Herleitung der Steifigkeitskoeffizienten und
3.3.3	Einfluss der Profillochungen 716		der zugehörigen Schubsteifigkeiten 734
3.3.4	Instabilitätsformen von Regalstützen unter	5.4.1	Komponente K1 – axiale Dehnung der
	Druck- und Biegebeanspruchung 716		Füllstäbe 734
3.3.5	Bemessung der Ständerrahmen 718	5.4.1.1	Allgemeines 734
3.3.6	Bemessung von Palettenträgern unter	5.4.1.2	Herleitung der anteiligen Schubsteifigkeit
	Biegebeanspruchung 718		der Diagonalen 734
4	Versuchsgestützte Beurteilung der	5.4.1.3	Herleitung der anteiligen Schubsteifigkeit
•	verformbaren Anschlüsse von		der Pfosten 735
	Palettenregalen nach DIN EN 15512,	5.4.2	Komponente K2 – Biegeverformungen der
	Anhang A 719		Füllstäbe 736
4.1	Allgemeines 719	5.4.2.1	Allgemeines 736
4.2	Auswertung der Prüfergebnisse 719	5.4.2.2	Verformungsanteile aus den reinen
4.2.1	Korrektur der Versuchsergebnisse 720		Biegeverformungen ohne
4.2.2	Ableitung von charakteristischen		Stabverkürzung 737
1.2.2	Werten 720	5.4.2.3	Verformungsanteile aus Stabverkürzungen
4.3	Versuche zur Ermittlung der		infolge Biegung 740
1.5	Schubsteifigkeit der Ständerrahmen 720	5.4.2.4	Herleitung der anteiligen
4.3.1	Allgemeines 720		Schubsteifigkeiten 740
4.3.2	Prüfmethode A 720	5.4.3	Komponente K3 – axiale Dehnung der
4.3.3	Prüfmethode B 722		Stützen 742
4.3.4	Vergleich der Prüfmethoden 722	5.4.4	Komponente K4 – Biegeverformungen der
4.4	Versuche am Stützen-Fußpunkt-		Stützen 743
	Anschluss 724	5.4.5	Komponente K5 – Schubverformungen der
4.4.1	Allgemeines 724		Stützen 745
4.4.2	Prüfmethode A 724	5.4.6	Komponente K6 – lokale Anschluss-
4.4.2.1	Versuchsdurchführung 724		verformungen der Stützen 746
4.4.2.2	Anmerkungen zu den Versuchen an	5.4.6.1	Allgemeines 746
	Stützen-Fußpunkt-Verbindungen nach	5.4.6.2	Steifigkeitskoeffizienten für
	DIN EN 15512 [11], A.3.5.3 725		Einzelanschlüsse 747
4.4.3	Prüfmethode B 726	5.4.6.3	Steifigkeitskoeffizienten für Lippe-an-Lippe-
1.1.3	Vergleich der Priifmethoden 726		Anschlüsse 751

5.4.6.4	Herleitung der anteiligen	5.5	Zur Anwendung des analytischen
	Schubsteifigkeit 753		Modells 766
5.4.7	Komponente K7 –	5.5.1	Allgemeines 766
	Lochleibungsverformungen 754	5.5.2	Regelaussteifungsfelder und
5.4.7.1	Allgemeines 754		Störstellen 767
5.4.7.2	Herleitung der anteiligen	5.5.3	Anwendung bei der Bemessung von
	Schubsteifigkeiten 756		Regaltragwerken 769
5.4.8	Komponente K8 – Biege- und	5.5.4	Anwendung bei Vergleichsrechnungen zu
	Scherverformungen der Schrauben 761		Rahmenschubversuchen 771
5.4.8.1	Allgemeines 761	5.6	Verifikation des analytischen Modells 775
5.4.8.2	Herleitung des Steifigkeitskoeffizienten 761	5.7	Ausblick 777
5.4.8.3	Herleitung der anteiligen Schubsteifigkeit 764	6	Zusammenfassung und Ausblick 777
			Literatur 778

10 Tragende Klebverbindungen im Glas- und Fassadenbau 781 Christian Schuler, Martien Teich und Paul Müller

1	Einleitung 783	3.2	Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach
1.1	Das Fügeverfahren Kleben 783		ETAG 002 810
1.2	Übersicht Klebstoffe 784	3.3	Verallgemeinertes Berechnungsverfahren
1.3	Anwendungen im Glas- und		nach ETAG 002 811
	Fassadenbau 790	3.4	Genaues Berechnungsverfahren mit
1.4	Klebstoffgerechtes Konstruieren 791		Federelementen 811
1.4.1	Konstruktionsprinzipien 792	3.4.1	Steifigkeit der Klebfuge 813
1.4.2	Materialverträglichkeit 792	3.4.2	Bemessungswerte und
1.5	Herstellung einer geklebten		Methodenfaktor 814
	Verbindung 793	3.4.3	Spannungsnachweis und Interaktion 815
1.5.1	Allgemeines 793	3.5	Berechnung mit 3D-Volumenmodellen 815
1.5.2	Vorbereitung der Fügeteile 793	4	A myyam daya ash aismisla ayya Famaahaya a yan d
1.5.3	Vorbereitung und Applikation der	4	Anwendungsbeispiele aus Forschung und Praxis 817
	Klebstoffe 795	4.1	
1.5.4	Fixieren und Fügen der Fügeteile 795	4.1	Flagship Store Mailand – geklebte
1.5.5	Aushärtung des Klebstoffs 796	4.2	Ganzglaskonstruktion 817
1.6	Einwirkungen auf Klebverbindungen 796	4.2	Statisch unbestimmte Glasfassade mit
1.6.1	Allgemeines zu Einwirkungen auf	4.0	überbreiter Klebfuge 819
	Klebverbindungen 796	4.3	VoltAir Berlin 821
1.6.2	Bemessungskonzept der ETAG 002 796	4.3.1	Beschreibung des Bauvorhabens und der
1.6.3	Mechanische Einwirkungen auf	4.2.2	Konstruktion 821
	Klebverbindungen 796	4.3.2	Untersuchungen an geklebten
1.6.4	Wirkungsdauer von Lufttemperaturen 797	4.2.2	Kleinproben 822
2	•	4.3.3	Untersuchungen an
2	Eigenschaften, Tragverhalten und	4.2.4	Großbauteilproben 823
	Alterungsverhalten typischer	4.3.4	Zusammenfassung 824
	Klebstoffe 799	4.4	Photovoltaik 824
2.1	Allgemeine Eigenschaften 799	4.4.1	Baurechtliche und planerische
2.2	Randbedingungen der Experimente an		Empfehlung 824
	fugenähnlichen Proben 802	4.4.2	Erfolgreiche Projekte 825
2.3	Trag- und Versagensverhalten 802	5	Qualitätsanforderungen 827
2.4	Einfluss der Fugengeometrie 803	5.1	Prozesskette Kleben nach DIN 2304-1 829
2.5	Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit und	5.1.1	Sicherheitsklassen 829
	Temperatur 805	5.1.2	Klebeaufsichtspersonal (KAP) 829
2.6	Einfluss künstlicher Alterung 806	5.1.3	Nachweisführung 830
2.7	Diskussion 808	5.2	Überwachung von Herstellung und
3	Berechnung und Bemessung von	5.2	Montage 830
-	Klebverbindungen 809	5.3	Wartung und Reinigung 831
3.1	Vorausgehende Betrachtungen zum	5.4	Hinweise zu zerstörungsfreier Prüfung und
J.1	Sicherheitsniveau 809	٥.,	Monitoring 832
	Sicherheitsiniveau 005		Wiomitoring USE

XX	Inhaltsverzeichnis		
6	Hinweise zur baurechtlichen	6.2.2	Bauaufsichtliche Anforderungen an die
	Einordnung 832		Bauart "geklebte Glaskonstruktion" 834
6.1	Aktuelle bauaufsichtliche Situation 832	6.2.3	Technische Dokumentation –
6.2	Leitfaden zur Verwendung von		Abweichungen bei einem europäischen
	Klebstoffverbindungen 833		Bauprodukt 834
6.2.1	Bauaufsichtliche Anforderungen an das Bauprodukt "Klebstoff" 833	7	Zusammenfassung 835
	1 "		Literatur 836

Stichwortverzeichnis 839

2.4 Beanspruchbarkeit von Verbindungen

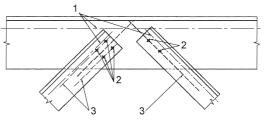
- (1) Die Beanspruchbarkeit einer Verbindung ist in der Regel anhand der Beanspruchbarkeiten ihrer Grundkomponenten zu bestimmen.
- (2) Für die Bemessung von Anschlüssen können linearelastische oder elastisch-plastische Berechnungsverfahren angewendet werden.
- (3) Werden zur Aufnahme von Scherbeanspruchungen verschiedene Verbindungsmittel mit unterschiedlichen Steifigkeiten verwendet, so ist in der Regel dem Verbindungsmittel mit der höchsten Steifigkeit die gesamte Belastung zuzuordnen. Eine Ausnahme von dieser Regel ist in 3.9.3 angegeben.

2.5 Annahmen für die Berechnung

- (1)P Bei der Berechnung von Anschlüssen muss eine wirklichkeitsnahe Verteilung der Schnittgrößen angenommen werden. Für die Verteilung der Kräfte und Momente müssen die folgenden Annahmen getroffen werden:
- a) die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente steht im Gleichgewicht mit den im Anschluss angreifenden Schnittgrößen,
- b) jedes Element des Anschlusses kann die ihm zugewiesenen Kräfte und Momente übertragen,
- c) die Verformungen, welche durch diese Verteilung hervorgerufen werden, überschreiten nicht das Verformungsvermögen der Verbindungsmittel oder der Schweißnähte und der angeschlossenen Bauteile,
- d) die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente muss den Steifigkeitsverhältnissen im Anschluss entsprechen,
- e) die Verformungen, die bei elastisch-plastischen Berechnungsmodellen aus Starrkörperverdrehungen und/oder Verformungen in der Tragwerksebene herrühren, sind physikalisch möglich,
- f) das verwendete Berechnungsmodell steht nicht im Widerspruch zu Versuchsergebnissen, siehe EN 1990
- (2) Die Anwendungsregeln in dieser Norm erfüllen die Annahmen in 2.5(1).

2.6 Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbelastung, Belastung mit Schwingungen oder mit Lastumkehr

- (1) Bei schubbeanspruchten Anschlüssen, die Stoßbelastungen oder erheblichen Belastungen aus Schwingungen ausgesetzt sind, sollten nur folgende Anschlussmittel verwendet werden:
- Schweißnähte;
- Schrauben mit Sicherung gegen unbeabsichtigtes Lösen der Muttern;
- vorgespannte Schrauben;
- Injektionsschrauben;



Legende

- 1 Schwerpunktachsen
- 2 Verbindungsmittel
- 3 Bezugsachsen

Bild 2.1. Bezugsachsen

- andere Schrauben, die Verschiebungen der angeschlossenen Bauteile wirksam verhindern;
- Niete
- (2) Darf in einem Anschluss kein Schlupf auftreten (z. B. wegen Lastumkehr), sind in der Regel entweder gleitfeste Schraubverbindungen der Kategorie B oder C, siehe 3.4, Passschrauben, siehe 3.6.1, Niete oder Schweißnähte zu verwenden.
- (3) In Windverbänden und/oder Stabilisierungsverbänden dürfen Schrauben der Kategorie A, siehe 3.4, benutzt werden.

2.7 Exzentrizitäten in Knotenpunkten

- (1) Treten in Knotenpunkten Exzentrizitäten auf, so sind in der Regel die Anschlüsse und die angeschlossenen Bauteile für die daraus resultierenden Schnittgrößen zu bemessen. Davon ausgenommen sind Konstruktionen, für die nachgewiesen wurde, dass dies nicht erforderlich ist, siehe 5.1.5.
- (2) Bei Anschlüssen von Winkel- oder T-Profilen mit einer oder zwei Schraubenreihen sind in der Regel die Exzentrizitäten nach 2.7(1) zu berücksichtigen. Exzentrizitäten in der Anschlussebene und aus der Anschlussebene heraus sind unter Berücksichtigung der Schwerpunktachsen der Bauteile und der Bezugsachsen der Verbindung zu ermitteln, siehe Bild 2.1. Für den einschenkligen Schraubenanschluss zugbeanspruchter Winkel kann das vereinfachte Bemessungsverfahren nach 3.10.3 angewendet werden.

Anmerkung: Der Einfluss der Exzentrizität auf druckbeanspruchte Winkelprofile in Gitterstäben ist in EN 1993-1-1, Anhang BB 1.2 geregelt.

Zu 2.4(3)

Die in 3.9.3 aufgeführte Ausnahme betrifft Hybridverbindungen von Schweißnähten und gleitfest vorgespannten Schrauben der Kategorie C (gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit), sofern das endgültige Anziehen der Schrauben nach der vollständigen Ausführung der Schweißarbeiten erfolgt.

Tabelle 3.1. Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_{ub} von Schrauben

Schrauben- festigkeits- klasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{\rm yb}$ (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
$f_{\rm ub}$ (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

3 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen

3.1 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben

3.1.1 Allgemeines

- (1) Alle Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben müssen in der Regel die Anforderungen der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 erfüllen.
- (2) Die Regelungen dieses Teils gelten für Schrauben der in Tabelle 3.1 angegebenen Festigkeitsklassen.
- (3) Die Streckgrenzen f_{yb} und die Zugfestigkeiten f_{ub} sind für Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 und 10.9 in Tabelle 3.1 angegeben. Für die Bemessung sind in der Regel diese Werte als charakteristische Werte anzusetzen.

Anmerkung: Im Nationalen Anhang darf die Anwendung bestimmter Schraubenklassen ausgeschlossen werden.

NDP

DIN EN 1993-1-8/NA

zu 3.1.1(3) Anmerkung

Bauteile mit Außengewinden der Festigkeitsklassen 4.8, 5.8 und 6.8 sind für die Anwendung im Stahlbau nicht zulässig.

Gewindebolzen nach DIN EN ISO 13918 dürfen verwendet werden. DIN EN 1090-2:2018-09, 12.4.3 gilt entsprechend.

Es sind Gewindebolzen nach Tabelle NA.1 zu verwenden. Für Gewindebolzen, die nicht in Tabelle NA.1 aufgeführt sind, sind die Nachweise nach DIN EN 1090-2:2018-09, 5.6.11 zu erbringen.

Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Verbindungen mit Gewindebolzen sind für die Bolzenwerkstoffe die in Tabelle NA.1 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

Tabelle NA.1. Als charakteristische Werte für Werkstoffe von Gewindebolzen festgelegte Werte

	1	2	3	4
	Bolzen	nach	Streck- grenze $f_{y,b,k}$ N/mm ²	Zug- festigkeit f _{u,b,k} N/mm ²
1	Festigkeitsklasse 4.8	DIN EN ISO 13918	340	420
2	S235J2+C450	DIN EN ISO 13918	350	450
3	S235JR, S235J0, S235J2, S355J0, S355J2	DIN EN 10025-2	Werte nach 1993-1-1:20 Tabelle 3.1	

NCI

DIN EN 1993-1-8/NA

zu 3.13.1 Bolzenverbindungen – Allgemeines

Für Bolzen im Sinne des Abschnitts 3.13 verwendete Verbindungselemente und Werkstoffe müssen den Anforderungen der Bezugsnormengruppen 1 oder 4 entsprechen. Das NDP zu 3.1.1(3) ist zu beachten.

NCI

DIN EN 1993-1-8/NA

zu Abschnitt 3.1.1 Verzinkte Schrauben

Andere metallische Korrosionsschutzüberzüge dürfen verwendet werden, wenn

- die Verträglichkeit mit dem Stahl gesichert ist und
- eine wasserstoffinduzierte Versprödung vermieden wird und
- ein adäquates Anziehverhalten nachgewiesen wird.
 Galvanisch verzinkte Schrauben der Festigkeitsklasse
 10.9 dürfen nicht verwendet werden.

Anmerkung 1: Ein anderer metallischer Korrosionsschutzüberzug ist z.B. die galvanische Verzinkung. Die galvanische Verzinkung bei Schrauben reicht als Korrosionsschutz allein nur in trockenen Innenräumen (Korrosionskategorie C1 nach DIN EN ISO 12944-2) aus.

Anmerkung 2: Zur Vermeidung wasserstoffinduzierter Versprödung siehe auch DIN EN ISO 4042.

Zu NCI zu 3.1.1 Verzinkte Schrauben

Mit den Festlegungen im Nationalen Anhang soll bei höherfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 der bestehenden Gefahr einer Wasserstoffversprödung begegnet werden. Neuere Untersuchungen zeigen, dass dies nicht mehr für Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 gilt.

3.1.2 Vorgespannte Schrauben

(1) Schraubengarnituren der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 entsprechen, dürfen als vorgespannte Schrauben eingesetzt werden, sofern eine kontrollierte Vorspannung nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 durchgeführt wird.

3.2 Niete

(1) Die Werkstoffkenngrößen, Abmessungen und Toleranzen von Stahl-Nieten müssen in der Regel die Anforderungen der Bezugsnormengruppe 6 in 1.2.6 erfüllen.

3.3 Ankerschrauben

- (1) Für Ankerschrauben dürfen die folgenden Werkstoffe verwendet werden:
- Stahlsorten, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 1 in 1.2.1 entsprechen;
- Stahlsorten, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 entsprechen;
- Stahlsorten von Bewehrungsstählen, welche den Anforderungen nach EN 10080 entsprechen,

vorausgesetzt, dass der Nennwert der Streckgrenze bei scherbeanspruchten Ankerschrauben den Wert 640 N/mm² nicht überschreitet. Ohne Scherbeanspruchung liegt die obere Grenze bei 900 N/mm².

3.4 Kategorien von Schraubenverbindungen

3.4.1 Scherverbindungen

- (1) Schraubenverbindungen mit Scherbeanspruchung werden in der Regel für die Bemessung in folgende Kategorien unterteilt:
- a) Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindung Zu dieser Kategorie gehören Schrauben der Festigkeits-

klassen 4.6 bis 10.9. Vorspannung und besondere Oberflächenbehandlungen sind in der Regel nicht erforderlich. Der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft darf weder den Bemessungswert der Schertragfähigkeit nach 3.6 noch den Bemessungswert des Lochleibungswiderstandes nach 3.6 und 3.7 überschreiten.

b) Kategorie B: Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Zu dieser Kategorie gehören hochfeste vorgespannte Schrauben, welche die Anforderungen nach 3.1.2(1) erfüllen. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf in der Regel kein Gleiten auftreten. Der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf in der Regel den Bemessungswert des Gleitwiderstandes nach 3.9 nicht überschreiten. Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf in der Regel den Bemessungswert der Schertragfähigkeit nach 3.6 und des Lochleibungswiderstandes nach 3.6 und 3.7 nicht überschreiten.

Zu 3.1.2(1

Die Vorspannverfahren zur Aufbringung einer kontrollierten Vorspannung werden in Abschnitt 8.5 der DIN EN 1090-2 und im Anhang A des Nationalen Anhangs zur DIN EN 1993-1-8 geregelt und werden ausführlich im Kapitel 4 des Beitrags von Prof. Schmidt und Prof. Stranghöner im Stahlbau-Kalender 2011 behandelt [K35].

Zu 3.4

Die Kategorisierung von Schraubverbindungen erfolgt nach DIN EN 1993-1-8 wie auch schon in DIN 18800-1 in Abhängigkeit von der Ausführung und den Beanspruchungen. Neu ist im Vergleich zur DIN 18800-1 die Kategorie C "Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit". Anders als bei Verbindungen der Kategorie B "Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit" (DIN 18800: GV/GVP-Verbindung) muss bei Verbindungen der Kategorie C sichergestellt werden, dass der Gleitwiderstand $F_{\rm s,Rd}$ auch unter Bemessungslasten nicht überwunden wird.

Die zur DIN EN 1993 gehörende Ausführungsnorm DIN EN 1090-2 bietet für die Ermittlung des Gleitwiderstandes auch Haftreibungszahlen $\mu \geq 0,20$ für unbehandelte, oder lediglich durch Drahtbürsten oder durch Flammstrahlen gereinigte Oberflächen an, so dass auf die nach DIN 18800-7 [K7] noch zwingend erforderliche Vorbehandlung der Kontaktflächen verzichtet werden kann, wenn die erforderlichen Nachweise für die gleitfest vorgespannten Verbindungen mit den reduzierten Haftreibungszahlen geführt werden können. Auf die Haftreibungszahlen sowie die erforderlichen Oberflächenbehandlungen wird in Abschnitt 3.9 noch eingegangen.

Tabelle 3.2. Kategorien von Schraubenverbindungen

Kategorie	Nachweiskriterium	Anmerkungen				
Scherverbindungen						
A Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden.				
B Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed.ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Gebrauchstauglichkeit siehe 3.9.				
C Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Tragfähigkeit siehe 3.9. $N_{\rm net,Rd}$ siehe 3.4.1(1)c).				
Zugverbindungen						
D Nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden. $B_{\mathrm{p,Rd}}$ siehe Tabelle 3.4.				
E Vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. $B_{\rm p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.				

Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft $F_{\rm t,Ed}$ sollte Beiträge aus Abstützkräften berücksichtigen, siehe 3.11. Schrauben unter Scher- und Zugbeanspruchung gelten in der Regel die Kriterien, die in Tabelle 3.4 angegeben sind.

Zu Tabelle 3.2

Die Gleichungen zur Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von einzelnen Schrauben und Nieten sind in Tabelle 3.4 zusammengestellt. Neu ist im Vergleich zur DIN 18800-1 der für zugbeanspruchte Schrauben geforderte Nachweis gegen Durchstanzen $(B_{\mathrm{p,Rd}} \geq F_{\mathrm{t,Ed}})$, der aber in der Regel bei sinnvoll aufeinander abgestimmten Blechdicken und Schraubendurchmessern nicht maßgebend wird. Das Durchstanzen kann als Schubversagen der Bleche interpretiert werden, wobei der Durchmesser d_{m} des "kritischen Rundschnittes" mit dem Mittelwert aus Eckmaß und Schlüsselweite der Schraube angesetzt wird.

Zusätzlich ist für die verbundenen Bauteile in Scherverbindungen der Kategorien A und B nach DIN EN 1993-1-1 nachzuweisen, dass die plastische Beanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts und die Zugbeanspruchbarkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie größer ist als der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft. Für Stahlsorten bis S460 ist die Zugbeanspruchbarkeit nach DIN EN 1993-1-1 [K14] Gleichung (6.6) und (6.7) zu bestimmen. Kommen Stahlsorten über S460 bis S700 zum Einsatz, muss nach DIN EN 1993-1-12 der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{\rm M2}$ in Gleichung (6.7) durch $\gamma_{\rm M12}$ ersetzt werden. Empfohlen wird in DIN EN 1993-1-12: $\gamma_{\rm M12} = \gamma_{\rm M2} = 1,25$. Die Empfehlung ist im Nationalen Anhang bestätigt worden.

Wenn für Bauwerke in Erdbebengebieten eine Kapazitätsbemessung gefordert wird, ist sicherzustellen, dass die plastische Zugbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts maßgebend wird, vgl. [K46]. Auf den Einsatz von Stahlsorten über S460 sollte dann jedoch verzichtet werden.

Bei Schraubverbindungen der *Kategorie C* ist die Zugbeanspruchbarkeit ausschließlich mit dem maßgebenden Nettoquerschnitt nach DIN EN 1993-1-1 Gleichung (6.8) zu bestimmen.

Für unsymmetrisch angeschlossene Bauteile wie z.B. an nur einem Schenkel angeschlossene Winkel und bei indirekten Anschlüssen gelten die Gleichungen (6.6) bis (6.8) der DIN EN 1993-1-1 nicht. Die Zugbeanspruchbarkeit ist hier nach DIN EN 1993-1-8, Absatz 3.10.3 bzw. 3.10.4, zu bestimmen. Die dort angegebenen Regeln gelten nur für Stahlsorten bis S460 und sind nicht auf höherfeste Stahlsorten übertragbar.

c) Kategorie C: Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zu dieser Kategorie gehören hochfeste vorgespannte Schrauben, welche die Anforderungen nach 3.1.2(1) erfüllen. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf kein Gleiten auftreten. Der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf den Bemessungswert des Gleitwiderstandes nach 3.9 und des Lochleibungswiderstandes nach 3.6 und 3.7 nicht überschreiten.

Zusätzlich darf bei Zugverbindungen der Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher $N_{\rm net,Rd}$ (siehe EN 1993-1-1, 6.2) nicht überschritten werden. In Tabelle 3.2 sind die Bemessungsnachweise für diese Verbindungskategorien zusammengefasst.

3.4.2 Zugverbindungen

(1) Zugbeanspruchte Schraubenverbindungen werden in der Regel für die Bemessung in folgende Kategorien unterteilt:

a) Kategorie D: nicht vorgespannt

Zu dieser Kategorie gehören Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9. Vorspannung ist nicht erforderlich. Diese Kategorie darf bei Verbindungen, die häufig veränderlichen Zugbeanspruchungen ausgesetzt sind, nicht verwendet werden. Der Einsatz in Verbindungen, die durch normale Windlasten beansprucht werden, ist dagegen erlaubt.

b) Kategorie E: vorgespannt

Zu dieser Kategorie gehören hochfeste vorgespannte Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9, die nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 kontrolliert vorgespannt werden.

In Tabelle 3.2 sind die Bemessungsregeln für diese Verbindungskategorien zusammengefasst.

Anmerkung: 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.

NDP

DIN EN 1993-1-8/NA

zu 3.4.2(1) Anmerkung

Die Vorspannkraft $F_{\rm V}$ wird wie folgt angesetzt und ist mit den Verfahren nach DASt-Richtlinie 024 aufzubringen:

 $F_{\rm V} \leq F_{\rm p,C}$.

3.5 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete

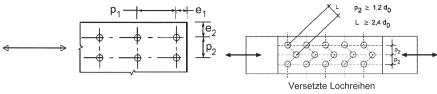
- (1) Die Grenzwerte für Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete sind in Tabelle 3.3 angegeben.
- (2) Zu Grenzwerten für Rand- und Lochabstände für Konstruktionen unter Ermüdungsbelastung, siehe EN 1993-1-9.

Zu 3.5(2)

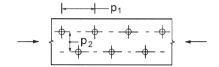
Wird bei dem Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9 auf das Nennspannungskonzept zurückgegriffen, müssen die Anschlüsse folgende Mindestrand- und Lochabstände aufweisen:

 $e_1 \ge 1,5d_0;$ $e_2 \ge 1,5d_0$ $p_1 \ge 2,5d_0;$ $p_2 \ge 2,5d_0$

Werden kleinere Rand- und Lochabstände ausgeführt, fehlen entsprechende Kerbfälle in DIN EN 1993-1-9 und es muss der Ermüdungsnachweis auf anderem Wege (z.B. über das Konzept der Strukturspannungen) erbracht werden.



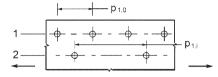
a) Bezeichnungen der Lochabstände



 $p_1 \le 14 \ t \ \text{und} \le 200 \ \text{mm}$

 $p_2 \le 14 \ t \ \text{und} \le 200 \ \text{mm}$

c) Versetzte Lochanordnung bei druckbeanspruchten Bauteilen b) Bezeichnungen bei versetzter Lochanordnung



 $p_{1,0} \le 14 \ t \text{ und} \le 200 \ \text{mm}$ $p_{1,i} \le 28 \ t \text{ und} \le 400 \ \text{mm}$

d) Versetzte Lochanordnung bei zugbeanspruchten Bauteilen (Legende: 1 äußere Lochreihe, 2 innere Lochreihe)

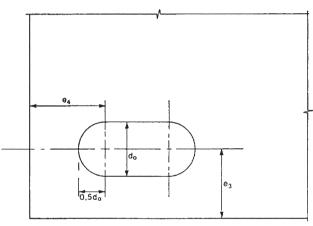


Bild 3.1. Loch- und Randabstände von Verbindungsmitteln

e) Randabstände bei Langlöchern

NCI DIN EN 1993-1-8/NA

zu 3.5 Schraubverbindungen mit Bauteilen mit Innengewinden und Bauteilen mit Außengewinden

Regelungen zur Einschraubtiefe bei geschraubten Verbindungen mit z. B. Gewindestangen, Sacklochverbindungen etc. sind DASt-Richtlinie 024 zu entnehmen. Anmerkung 1: Sacklochverbindungen dürfen nur mit speziellem Nachweis (Verfahrensprüfung) vorgespannt werden, siehe DASt-Richtlinie 024.

3.6 Tragfähigkeiten einzelner Verbindungsmittel

3.6.1 Schrauben und Niete

(1) Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit einzelner Verbindungsmittel unter Scher- und/oder Zugbeanspruchung sind in Tabelle 3.4 angegeben.

(2) Bei vorgespannten Schrauben, welche den Anforderungen nach 3.1.2(1) entsprechen, ist in der Regel der

Bemessungswert der Vorspannkraft, $F_{p,Cd}$, wie folgt anzusetzen:

$$F_{\text{p,Cd}} = 0.7 f_{\text{ub}} A_{\text{s}} / \gamma_{\text{M7}}$$
 (3.1)

Zu 3.6

In DIN EN 1993-1-8 werden grundsätzlich alle Nachweise sowohl für die Verbindungsmittel als auch für die verbundenen Querschnittsteile im Anschlussbereich auf $f_{\rm u}$ -Niveau mit einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{\rm M2}=$ 1,25 geführt.

Die Regeln zur Ermittlung der Abscher- und Zugtragfähigkeit von Schrauben können auch auf andere Gewindeteile und runde Stäbe aus Vollmaterial übertragen werden. Nach DIN EN 1090-2, Abschnitt 8.2.2 ist der kleinste zulässige Nenndurchmesser für Stahlbauverschraubungen M12.

Tabelle 3.3. Grenzwerte für Rand- und Lochabstände

		Maximum ^{1), 2), 3)}				
Rand- und Lochabstände,	Minimum	Stahlkonstruktionen u Stahlsorten nach EN Stahlsorten na	Stahlkonstruktionen unter Verwendung von Stahlsorten nach EN 10025-5			
siehe Bild 3.1		Stahl, der dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist	Stahl, der nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist	Ungeschützter Stahl		
Randabstand e ₁	1,2 <i>d</i> ₀	4 <i>t</i> + 40 mm		Der größte Wert von: 8t oder 125 mm		
Randabstand e ₂	1,2 <i>d</i> ₀	4 <i>t</i> + 40 mm		Der größte Wert von: 8t oder 125 mm		
Randabstand <i>e</i> ₃ bei Langlöchern	1,5d ₀ ⁴⁾					
Randabstand <i>e</i> ₄ bei Langlöchern	1,5d ₀ ⁴⁾					
Lochabstand p ₁	2,2d ₀	Der kleinste Wert von: 14t oder 200 mm	Der kleinste Wert von: 14 <i>t</i> oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t_{\min}$ oder 175 mm		
Lochabstand p _{1,0}		Der kleinste Wert von: 14t oder 200 mm				
Lochabstand $p_{1,i}$		Der kleinste Wert von: 28t oder 400 mm				
Lochabstand p ₂ ⁵⁾	2,4d ₀	Der kleinste Wert von: 14t oder 200 mm	Der kleinste Wert von: 14 <i>t</i> oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t_{\min}$ oder 175 mm		

- Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer:
 bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Verhinderung des lokalen Beulens und zur Vermeidung von Korrosion von Bauteilen (die Grenzwerte sind in der Tabelle angegeben), die dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind;
 bei zugbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von Korrosion (die Grenzwerte sind in der Tabelle angegeben).
- Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln ist in der Regel nach EN 1993-1-1 unter Verwendung der Knicklänge 0,6 p₁ zu berechnen. Lokales Beulen braucht nicht nachgewiesen werden, wenn p₁/t kleiner als 9ε ist. Der Randabstand quer zur Kraftrichtung darf in der Regel die Anforderungen gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Flanschen nicht überschreiten, siehe EN 1993-1-1. Der Randabstand in Kraftrichtung wird von dieser Anforderung nicht betroffen.
- 3) t ist die Dicke des dünnsten außen liegenden Blechs.
- 4) Die Grenzwerte für Langlochabmessungen sind in Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 angegeben.
- 5) Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen darf der minimale Lochabstand auf p₂ = 1,2d₀ reduziert werden, sofern der Minimalabstand L zwischen zwei Verbindungsmitteln größer oder gleich als 2,4d₀ ist, siehe Bild 3.1b).

Zu Tabelle 3.3

Nach DIN EN 1993-1-8 gelten die gleichen unteren Grenzwerte für die Rand- und Lochabstände wie nach DIN 18800-1. Bei den oberen Grenzwerten ist zu differenzieren zwischen wetterfesten Baustählen nach DIN EN 10025-5 und den weiteren in DIN EN 10025 geregelten Stahlsorten, bei denen zusätzlich zu berücksichtigen ist, ob die Stahlkonstruktion der Witterung oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist. Die oberen Grenzwerte der

Rand- und Lochabstände werden nach DIN EN 1993-1-8 generell in Abhängigkeit von der Dicke t des dünnsten außen liegenden Bleches unter Berücksichtigung absoluter Grenzwerte formuliert. Der Durchmesser der verwendeten Schrauben bzw. der zugehörige Lochdurchmesser bleiben unberücksichtigt. Verglichen mit DIN 18800-1 fallen die maximalen Rand- und Lochabstände nach DIN EN 1993-1-8 in der Regel etwas kleiner aus.

Wetterfeste Baustähle müssen zur Ausbildung einer korrosionshemmenden Sperrschicht einem Wechsel von Feuchte und Trockenheit unterzogen werden. Bei geschraubten Verbindungen kann Kondensation und Kapillarwirkung zur Dauerfeuchtigkeit in den Spalten führen und in Folge zu Korrosion. Durch Einhalten der Rand- und Lochabstände werden die Spalte hinreichend gepresst und die Korrosion wird mangels Sauerstoffzufuhr unterbunden.

Neu sind in DIN EN 1993-1-8 die konstruktiven Regeln für versetzte Lochreihen und für Langlöcher, siehe Bild 3.1. Die Abmessungen der Langlöcher müssen den Anforderungen der DIN EN 1090-2, Tabelle 11 genügen. Hiernach ist zu differenzieren zwischen kurzen Langlöchern (Längen gestaffelt von 16 mm bei M12 bis 37 mm bei M27) und langen Langlöchern (Länge gleich dem 1,5fachen Nenndurchmesser), für die in Querrichtung die gleichen Anforderungen gelten wie für normale runde Löcher.

Anforderungen an die oberen Grenzwerte für Rand- und Lochabstände sind nur zu berücksichtigen, wenn die Stahlkonstruktion korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist oder wenn bei Druckbeanspruchungen ein lokales Beulen ausgeschlossen werden muss. Auf den Nachweis gegen lokales Beulen darf verzichtet werden, wenn die Lochabstände p_1 folgender Bedingung genügen: $p_1 \geq 9 \cdot \varepsilon \cdot t = 9 \cdot \sqrt{235/f_y} \cdot t$. Andernfalls ist der Nachweis nach DIN EN 1993-1-1 entsprechend der Fußnote 2) zur Tabelle 3.3 zu führen.

Die größten Lochleibungstragfähigkeiten werden bei folgenden Rand- und Lochabständen erreicht:

$$e_1 \ge 3.0 d_0;$$
 $e_2 \ge 1.5 d_0$
 $p_1 \ge 3.75 d_0;$ $p_2 \ge 3.0 d_0$

Dies entspricht mit Ausnahme des erforderlichen Lochabstandes in Kraftrichtung den konstruktiven Anforderungen der DIN 18800-1 (dort: $p_1 \ge 3,50~d_0$) um die höchstmögliche Lochleibungstragfähigkeit zu erreichen.

Zu Tabelle 3.4

In Tabelle 3.4 sind die Gleichungen zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit einzelner Schrauben und Nieten mit Scher- und/ oder Zugbeanspruchungen zusammengefasst. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen nicht von der DIN 18800-1, nur bei kombinierten Scher- und Zugbeanspruchungen ist von der bekannten Kreisgleichung abgewichen und eine lineare Interaktionsbeziehung eingeführt worden. Die lineare Interaktionsbeziehung geht auf experimentelle Untersuchungen an der TU Delft und der University of Manchester zurück, die in der Background Dokumentation zur DIN EN 1993-1-8 [K37] statistisch ausgewertet wurden. Die lineare Interaktionsbeziehung definiert eine untere Grenzkurve für kombinierte Scher- und Zugbeanspruchungen, bei der im Gegensatz zu der Kreisgleichung nach DIN 18800-1 alle Versuchsergebnisse auf der sicheren Seite liegen, vgl. Bild 4 in [K44]. Bei der statistischen Auswertung wurde die Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug immer auf Basis der Spannungsguerschnittsfläche A_s bestimmt, unabhängig davon, ob der Schaft oder das Gewinde in der Scherfuge lag. Dies ist auch bei der Nachweisführung für kombinierte Scher- und Zugbeanspruchungen nach DIN EN 1993-1-8 zu berücksichtigen und es darf im Interaktionsnachweis nicht mehr wie nach Element (810) der DIN 18800-1 die ggf. höhere Zugtragfähigkeit für den Schaftguerschnitt zugrunde gelegt werden, selbst wenn dieser in der Scherfuge liegt.

Geringfügige Änderungen im Vergleich zur DIN 18800-1 wurden bei dem Beiwert $\alpha_{\rm v}$ eingeführt, mit dem das Verhältnis von Scherzu Zugfestigkeit erfasst wird. Dieser darf für die nach dem Nationalen Anhang zugelassenen Schraubenfestigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9 mit $\alpha_{\rm v}=0.6$ angesetzt werden. Die einzige Ausnahme bilden 10.9er Schrauben, wenn das Gewinde in der Scherfuge liegt, dann ist mit $\alpha_{\rm v}=0.5$ zu rechnen.

Bei der Ermittlung der Lochleibungstragfähigkeit $F_{\rm b,Rd}$ ist entsprechend der Fußnote a zur Tabelle 3.4 eine Abminderung zu berücksichtigen, wenn statt normalem Lochspiel (siehe Autorenhinweis zu 3.6.1 (9)) ein großes Lochspiel vorliegt ($\beta=0.80$) oder wenn die Schrauben in Langlöcher quer zur Kraftrichtung eingesetzt werden ($\beta=0.60$).

Eine umfassende Darstellung der Hintergründe und die Herleitungen der Gleichungen zur Bestimmung der Beanspruchbarkeiten findet sich auch in [43].

Für das Zusammenwirken von Verbindungsmitteln in einem Anschluss sind weitere Regeln in DIN EN 1993-1-8 formuliert, die zusätzlich zu berücksichtigen sind (siehe u.a. 3.8 und 3.12).

Für versetzt angeordnete Löcher darf der Lochabstand L wie in Bild 3.1 b) angegeben für die Ermittlung der Lochleibungstragfähigkeit angenommen werden.

Der Nachweis eines Bleches gegen Durchstanzen ist für zugbeanspruchte Schraubenverbindungen zu führen. Das Durchstanzen ist vergleichbar dem Schubversagen eines Bleches im kritischen Rundschnitt mit dem Durchmesser $d_{\rm m}$ als Mittelwert aus Eckmaß e und Schlüsselweite s der Schraube, Bild III.3.2. Die Beanspruchbarkeit wird mit der Blechdicke t des betrachteten Bleches nachgewiesen und nicht mit der in Tabelle 3.4 angegebenen Blechdicke $t_{\rm n}$ der Unterlegscheibe.

$$t_{\rm p} > \frac{k_2 A_{\rm s} f_{\rm ub}}{0.6\pi d_{\rm m} f_{\rm w}}$$

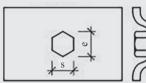


Bild III.3-2. Durchstanzen

Für den Nachweis des Durchstanzens bei Senkkopfschrauben ist für $d_{\rm m}$ der äußere Kreisdurchmesser des Schraubenkopfes anzusetzen. Für $t_{\rm p}$ ist die Restblechdicke am Schraubenkopfaußendurchmesser des betrachteten Bleches anzusetzen. Außerdem ist ein Vergleichsspannungsnachweis unter Berücksichtigung der zusätzlichen Beanspruchung aus Ringzug zu führen.

Senkkopfschrauben werden in DIN EN 14399-7 behandelt. Da diese Norm nicht in der Bezugsnormengruppe von DIN EN 1993-1-8 genannt ist, ist eine pauschale Nachweisführung gemäß DIN 1993-1-8 nicht zulässig. Für den besonderen Fall der Zugbeanspruchung/Vorspannung in der Senkschraube wird in DIN EN 14399-7 jedoch auf DIN EN 1993-1-8 verwiesen, wodurch der Ansatz der in DIN EN 1993-1-8 gegebenen Beanspruchbarkeit auf Zug erlaubt ist.

der 0,05%-Dehngrenze aus ihrem Datensatz herzuleiten. Da die 0,05%-Dehngrenze allerdings nur zur Berechnung des n-Wertes benötigt wird und dieser alternativ direkt anhand von Tabelle 5 bestimmt werden kann, ist die Kenntnis von $\sigma_{0.05}$ nicht zwingend.

2.5 Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.2.3: Kaltumgeformte Profile – Werkstoffeigenschaften

Kaltumgeformte Profile und kaltgewalzte Bänder weisen erhöhte Festigkeitskennwerte in den kaltumgeformten bzw. kaltgewalzten Bereichen auf. Sowohl der Kaltwalzprozess des Bandes als auch der Kaltumformprozess zur Profilherstellung erzeugen plastische Verformungen im Material, die zu einer Kaltverfestigung mit einhergehender Erhöhung der Streckgrenze und Zugfestigkeit führen. Aufgrund der während des Umformprozesses entlang eines Profils unterschiedlich hoch eingeprägten plastischen Dehnungen entstehen entlang des Profilquerschnitts auch unterschiedlich hohe Festigkeitssteigerungen. Dieser Umstand ist bei nichtrostenden Stählen stärker ausgeprägt als bei kaltumgeformten Baustählen, da nichtrostende Stähle per se ein stärker ausgeprägtes nichtlineares Materialverhalten bereits im elastischen Bereich sowie ein starkes Verfestigungsverhalten aufweisen.

Der Umstand der infolge der Kaltverfestigung bei kaltumgeformten Profilen erhöhten Festigkeitskennwerte kann bei der Bemessung gewinnbringend eingesetzt werden. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen mit dem Ziel der Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der erhöhten Festigkeitskennwerte zur Berücksichtigung in der Bemessung von nichtrostenden Stählen von Afshan, Rossi und Gardner [49, 56] durchgeführt, das nun in prEN 1993-1-4 implementiert wurde. Das Modell zur Bestimmung der erhöhten Streckgrenze f_{va} von kaltumgeformten Querschnitten als Basis zur Ermittlung der Widerstandsgrößen wurde erstmals bereits in [4] vorgestellt, seinerzeit allerdings noch mit dem Hinweis darauf, dass die Knicklinien der DIN EN 1993-1-4 noch angepasst werden müssen. Dies ist zwischenzeitlich in DIN EN 1993-1-4/A2 [2] und prEN 1993-1-4 erfolgt.

Nach [56] gehen in die Ermittlung der erhöhten Streckgrenze f_{ya} eines kaltumgeformten Profils sowohl die Materialeigenschaften der flachen als auch der gekrümmten Querschnittsanteile anteilig ein. Die Regelungen in prEN 1993-1-4 wurden auf Basis der Materialeigenschaften des nicht umgeformten Bandmaterials hergeleitet. Während bei gekanteten Profilen die erhöhte Festigkeit vor allem in den Eckbereichen zu finden ist, treten bei kaltgewalzten Profilen, wie z. B. Kastenprofilen, Festigkeitssteigerungen sowohl in den Eckbereichen als auch in den flachen Profilabschnitten auf. Die Festigkeitssteigerung hängt auch von der Art des Werkstoffs ab. So können kaltgewalzte Profile aus nichtrostendem austenitischen Stahl eine Erhöhung der Streckgrenze um bis zu 48% aufweisen. Exemplarisch

Tabelle 6. Festigkeitssteigerung für ausgewählte Profile

	f_{ya}/f_{y} [-]	
	Austenit	Duplex
Quadratische Hohlprofile (SHS)		
100 × 100 × 3 mm	1,33	1,07
100 × 100 × 6 mm	1,48	1,15
300 × 300 × 5 mm	1,22	1,02
300 × 300 × 8 mm	1,32	1,07
Runde Hohlprofile (CHS)		
Ø 103 × 2,5 mm	1,11	1
Ø 103 × 5 mm	1,23	1,02
Ø 304 × 2.5 mm	1	1
Ø 304 × 6 mm	1,08	1
Winkel aus gekanteten Blecher	1	
100 × 120 × 6 mm	1,07	1,02
110 × 100 × 10 mm	1,11	1,03
180 × 180 × 10 mm	1,06	1,02
C-Profile aus gekanteten Blech	en	
160 × 80 × 5 mm	1,05	1,02
80 × 40 × 8 mm	1,18	1,06

sind in Tabelle 6 die Festigkeitssteigerungen für ausgewählte quadratische und runde Hohlprofile sowie für Profile aus gekanteten Blechen, Winkel und C-Profile, aufgeführt, aus denen der Nutzen des Ansatzes deutlich wird.

2.6 Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.3: Bruchzähigkeit – Werkstoffwahl zur Vermeidung von Sprödbuch

2.6.1 Allgemeines

Die Regelungen zur Werkstoffwahl zur Vermeidung von Sprödbruch in DIN EN 1993-1-4 waren bisher unzureichend. Für nichtrostende austenitische Stähle waren sie nicht umfassend und für nichtrostende Duplexund ferritische Stähle nicht korrekt. Für nichtrostende ferritische Stähle verweist DIN EN 1993-1-4 auf DIN EN 1993-1-10 [57], was schlichtweg falsch ist, da DIN EN 1993-1-10 nichtrostende ferritische Stähle überhaupt nicht abdeckt. Die der DIN EN 1993-1-10 hinterlegte Master Curve wurde nicht auf ihre Gültigkeit für nichtrostende ferritische Stähle überprüft. Hier herrschte also dringender Handlungsbedarf, in prEN 1993-1-4 eine experimentell und wissenschaftlich abgesicherte Reglung zu entwickeln und zu implementieren. Da DIN EN 1993-1-10 auf Kohlenstoffstähle be-

schränkt ist, wurde sich zwischen den auf europäischer Ebene tätigen Working Groups für die beiden europäischen Normen EN 1993-1-4 und EN 1991-1-10 darauf verständigt, dass dezidierte Regelungen zur Vermeidung von Sprödbuch für nichtrostende Stähle in EN 1993-1-4 enthalten sein sollen.

Aufgrund der unterschiedlichen Mikrostruktur der drei nichtrostenden Stahlfamilien (Austenit, Duplex und Ferrit) weisen sie auch ein unterschiedliches Verhalten in Bezug auf Sprödbruch auf, was in der Folge dazu führt, dass für die Stahlfamilien auch unterschiedliche Reglungen zur Vermeidung von Sprödbruch erforderlich sind.

2.6.2 Nichtrostende austenitische Stähle

Nichtrostende austenitische Stähle weisen in ihrem Grundmaterial per se erst einmal ein gutmütiges Tieftemperaturverhalten auf, da sie keine Übergangstemperatur besitzen, bei der es zum Abfall der Kerbschlagarbeit und damit der Zähigkeit bei tiefen Temperaturen kommt. Für Betriebstemperaturen bis -50°C kann davon ausgegangen werden, dass nichtrostende austenitische Stähle eine ausreichende Zähigkeit aufweisen, sodass keine weiteren Betrachtungen erforderlich sind. prEN 1993-1-4 macht hier allerdings eine Ausnahme für die Stähle 1.4301, 1.4307, 1.4311, 1.4318 und 1.4306 mit einer Blechdicke > 10 mm im stark kaltverfestigten Zustand. Für diese niedrig legierten austenitischen Stähle ("Lean Austenite") besteht bei der Kaltumformung die Gefahr der Umwandlung von Austenit in Martensit, was die Zähigkeit im umgeformten Bereich verringern könnte. Dies tritt bei den höher legierten austenitischen Stählen nicht auf. Aus diesem Grund ist für diese Stähle im kaltverfestigten Zustand die Kerbschlagarbeit mit den Werten nachzuweisen, die in DIN EN 10088-4 und -5 für die Stahlsorten im nicht kaltverfestigten Zustand gefordert werden. Bei Betriebstemperaturen kleiner als -50°C ist nachzuweisen, dass nach allen Fertigungsschritten die Kerbschlagarbeit bei der Betriebstemperatur mindestens 40 J beträgt. Mit diesen spezifischeren Regeln soll sichergestellt werden, dass die verfügbare Zähigkeit beim Schweißen, der Wärmebehandlung und/oder der Kaltumformung des Grundmaterials nicht abnimmt.

2.6.3 Nichtrostende ferritische Stähle

Nichtrostende ferritische Stähle können sich wie Kohlenstoffstähle spröde verhalten, werden i. d. R. aber nur in Dicken bis 5 mm eingesetzt. Dies ist auch der untere Grenzwert für die Blechdicke, der in den Tabellen mit den zulässigen Blechdicken der DIN EN 1993-1-10 für Kohlenstoffstähle verwendet wird. Bei größeren Blechdicken bleibt derzeit nichts anderes übrig, als eine gesonderte Betrachtung auf bruchmechanischer Basis nach dem verwendeten Modell der DIN EN 1993-1-10 durchzuführen.

2.6.4 Nichtrostende Duplex-Stähle

Nichtrostende Duplex-Stähle werden bereits heutzutage vermehrt als tragende geschweißte Bauteile in Brücken mit großen Bauteildicken zum Einsatz in kalten Umgebungen eingesetzt, in denen sie Ermüdungsbeanspruchungen ausgesetzt sind. Da nichtrostende Duplex-Stähle ein Temperaturübergangsverhalten aufweisen, das mit dem von Kohlenstoffstählen vergleichbar ist, ist es insbesondere wichtig, Regelungen zur Werkstoffwahl zur Vermeidung von Sprödbruch für diese Stahlsorten zu entwickeln: sie haben eine hohe Zähigkeit bei "normalen" Umgebungstemperaturen, eine niedrige Zähigkeit bei sehr niedrigen Temperaturen und ein Temperaturübergangsbereich dazwischen. Die Produktnormen für nichtrostende Stähle DIN EN 10088-4 und DIN EN 10088-5 legen die erforderliche Mindest-Charpy-Zähigkeiten nur bei Raumtemperatur fest, z. B. beträgt für Bleche und Bänder aus 1.4362 und 1.4462 die Mindest-Charpy-Zähigkeit 100 J in Längsrichtung und 60 J in Querrichtung. Im Rahmen zukünftiger Uberarbeitungen der DIN EN 10088-4 und -5 sollten dringend Mindest-Charpy-Zähigkeitswerte bei niedrigen Temperaturen aufgenommen werden – vergleichbar zu den Reglungen für Baustähle nach der Normenfamilie der DIN EN 10025.

Langenberg et al. [58] haben erstmals untersucht, ob das der DIN EN 1993-1-10 zugrunde gelegte bruchmechanische Berechnungsmodell [59, 60] einschließlich des Wallin Master Curve-Konzepts auch auf Bauteile aus nichtrostendem Duplex-Stahl anwendbar ist. Hierzu wurden Kerbschlagbiege- und Bruchmechanikversuche an den nichtrostenden Duplex-Stählen 1.4462, 1.4362 und 1.4162 mit einer Dicke von 30 mm und 50 mm für Grundwerkstoffe und Schweißnähte ausgewertet. Auf dieser Basis wurden erstmalig maximal zulässigen Erzeugnisdicken für das der DIN EN 1993-1-10 hinterlegte Konstruktionsdetail des Brückenträgers mit Quersteife (s. Bild 6), ermittelt [58].

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Baustahl und nichtrostendem Duplex-Stahl besteht - wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits ausgeführt – u. a. darin, dass nichtrostender Duplex-Stahl keine ausgeprägte Streckgrenze wie die meisten Kohlenstoffstähle hat, sondern eine kontinuierliche Streckgrenze besitzt und bereits unterhalb der 0,2%-Dehngrenze nichtlineares Materialverhalten aufweist. Dies ist bei der Ermittlung der zulässigen Blechdicke zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden von Langenberg et al. [58] differenzierte Untersuchungen zum Einfluss einer ausgeprägten und kontinuierlichen Streckgrenze am Beispiel eines Baustahls und Duplex-Stahls mit jeweils einer Streckgrenze von 460 MPa, einem Elastizitätsmodul von 200 000 MPa und einer T_{27J} -Temperatur von $-50\,^{\circ}\mathrm{C}$ durchgeführt. Die Berücksichtigung von Stählen mit ausgeprägter und kontinuierlicher Streckgrenze erfolgt dabei durch die Zugrundelegung unterschiedlicher Grenzkurven im Fatigue Assessment Diagramm (FAD) [58]. Die Grenzkurve für kontinuierliches Fließen fällt

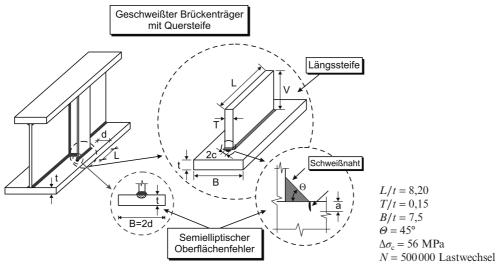


Bild 6. Grundlegendes Detail der DIN EN 1993-1-10: Typischer Brückenträger mit Quersteife und semielliptischem Oberflächenfehler am Rand der Schweißnaht (s. a. [58–60])

oberhalb des Niveaus von $L_r = 0.5$ (mit L_r : Plastizitätsparameter) schneller ab als die für eine ausgeprägte Fließgrenze. Damit ergibt sich für kleinere zulässige Blechdicken ein geringerer Wert der normalisierten Rissantriebskraft K_r [58]. Die Untersuchung hat gezeigt, dass für einen Werkstoff mit ausgeprägter Streckgrenze eine gute Übereinstimmung zwischen den erzielten zulässigen Blechdicken und den in DIN EN 1993-1-10 ausgewiesenen zulässigen Blechdicken gefunden werden kann. Die für den Werkstoff mit kontinuierlicher Streckgrenze durchgeführte Analyse ergab etwa 10% geringere zulässige Blechdicken beim höchsten Spannungsniveau der DIN EN 1993-1-10 von 0,75 f_y bei dem Spannungsniveau $0.5 f_v$ ergaben sich nur noch geringfügig geringere zulässige Blechdicken und bei der niedrigsten Spannung von 0,25 f_v war der Unterschied vernachlässigbar.

Auf dieser Basis wurden in Anlehnung an den aktuellen Bearbeitungsstand der prEN 1993-1-10 [61] die zulässigen Erzeugnisdicken für Duplex-Stähle in Abhängigkeit von vier Bruchzähigkeitsanforderungen TR1 bis TR4 ermittelt. Die Bruchzähigkeitsanforderung beschreibt dabei die Mindest-Kerbschlagarbeit bei einer bestimmten Temperatur, die vom Werkstoff erfüllt sein muss. In den Tabellen 5.3 und 5.4 der prEN 1993-1-4 sind die resultierenden Erzeugnisdicken getrennt für die Ausführungsklassen EXC3/4 und EXC1/2 zusammengestellt. Hierbei wurden die maximal zulässigen Erzeugnisdicken für EXC1/2 auf Grundlage von 50000 Lastwechseln und für EXC 3/4 auf Grundlage von 500 000 Lastwechseln abgeleitet. Da für nichtrostenden Duplex-Stahl bisher keine Großbauteilversuche zur Verifizierung des für Baustahl angewandten Sicherheitsbeiwerts von $\Delta T_{\rm R}$ = +7 K, [59–61], vorliegen, wurde der Sicherheitsbeiwert auf $\Delta T_R = +0$ K erhöht.

Die Angaben zu den zulässigen Erzeugnisdicken in den Tabellen 5.3 und 5.4 gelten nicht für kaltgeformte Profile und Bleche aus Duplex-Stahl, da für diese bisher keine Untersuchungen vorliegen.

Weitere Untersuchungen zum Sprödbruchverhalten von nichtrostendem Duplex-Stahl laufen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags in einem Forschungsvorhaben am Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen [62]. In diesem Forschungsvorhaben soll die Anwendbarkeit des bruchmechanischen Konzepts der DIN EN 1993-1-10 für nichtrostenden Duplex-Stahl auf eine breitere Basis gestellt werden. Die zulässigen Erzeugnisdicken der prEN 1993-1-4 werden mit den Ergebnissen des laufenden Forschungsvorhabens kontinuierlich abgeglichen und, falls erforderlich, noch vor der Veröffentlichung der prEN 1993-1-4 angepasst.

2.7 Anmerkungen zu Abschnitt 5.1.4: Eigenschaften in Dickenrichtung

DIN EN 1993-1-4 verweist fälschlicherweise hinsichtlich der Eigenschaften in Dickenrichtung auf DIN EN 1993-1-10, deren Regelungen allerdings nur auf Baustähle aus Kohlenstoffstahl anzuwenden sind. Dies wurde jetzt in prEN 1993-1-4 korrigiert.

Nichtrostende austenitische und Duplex-Stähle weisen keine Terrassenbruchgefahr auf, weshalb für diese auch keine Reglungen angegeben werden müssen. Untersuchungen an nichtrostenden austenitischen und Duplex-Stählen (1.4307, 1.4462, 1.4162 und 1.4404) mit Dicken zwischen 10 mm und 130 mm haben gezeigt [63], dass die Z-Werte der Brucheinschnürung nach DIN EN 10164 [64] bei über 1000 Versuchen in allen Fällen über 50% und im Durchschnitt zwischen 54%

und 75% lagen. Daraus lässt sich schließen, dass für diese Stähle die höchste Anforderung an Baustähle mit der Güteklasse Z35 und einem Z-Wert von 35% problemlos und routinemäßig bei der Produktion erfüllt werden kann. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Anwendungsbereich von DIN EN 10164 explizit nichtrostende Stähle ausschließt. Da aber keine vergleichbare Norm für nichtrostende Stähle zur Verfügung steht, wurde diese dennoch für die Durchführung und Bewertung der Versuche herangezogen.

Für nichtrostende ferritische Stähle gibt es keine vergleichbaren Untersuchungen. Aufgrund des geringen Schwefelgehalts nichtrostender (ferritischer) Stähle ist das Auftreten von Terrassenbrüchen jedoch unwahrscheinlich. Ferner ist auch nur die ferritische Sorte 1.4003 in großem Umfang in Form von Blechen erhältlich. Sie wird aber selten in Dicken von mehr als 20 mm verwendet. Auch wenn es höchst unwahrscheinlich ist, dass nichtrostende ferritische Stähle in Bauteilen eingesetzt werden, in denen Terrassenbrüche auftreten können, schien es dennoch erforderlich, in prEN 1993-1-4 einen Verweis auf prEN 1993-1-10 bezüglich der Auswahl der Eigenschaften in Dickenrichtung zu geben. Der Verweis ist allerdings nur bedingt hilfreich, da prEN 1993-1-10 wiederum auf DIN EN 10164 verweist und diese für nichtrostende Stähle "eigentlich" nicht anwendbar ist, siehe Ausführungen zuvor.

2.8 Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit (Anhang A der prEN 1993-1-4:2022)

Die Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit wird im Anhang A der prEN 1993-1-4 geregelt. Dies war so auch in DIN EN 1993-1-4 der Fall. Gegenüber den Regelungen in DIN EN 1993-1-4 haben sich nur wenige Änderungen ergeben, weswegen auf eine Wiedergabe der Regelungen in Form "neuer Normentext" hier verzichtet wird. Da die Regelungen allerdings von besonderer Bedeutung für die Praxis im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit einer Konstruktion aus nichtrostendem Stahl sind, sollen die Regelungen an dieser Stelle dennoch umfangreich erläutert werden. Auf die wenigen Änderungen in prEN 1993-1-4 im Vergleich zur DIN EN 1993-1-4 wird dabei an entsprechender Stelle jeweils eingegangen.

Der Hauptgrund, sich für die Verwendung des im Verhältnis zum Baustahl wesentlich teureren nichtrostenden Stahls zu entscheiden, ist seine gute Korrosionsbeständigkeit. Das Erscheinungsbild bei optischen Anforderungen bleibt lange erhalten und ein aufwendiger Korrosionsschutz mit Ausbesserungen während der Lebensdauer entfällt. Leider zeigt die Praxis immer wieder, dass diese Erwartungen nicht erfüllt werden, da grundlegende Dinge bei der Werkstoffauswahl nicht beachtet wurden. prEN 1993-1-4, Anhang A regelt die Vorgehensweise bei der Auswahl geeigneter nichtrostender Stahlsorten für tragende Bauteile in Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit. Nicht berücksichtigt werden in prEN 1993-1-4, Anhang A dabei:

- Verfügbarkeit der Stahlsorte und Erzeugnisformen,
- Anforderungen an die Oberfläche, z. B. aus architektonischer Sicht oder aus Hygienegründen und
- verwendete Füge- und Verbindungsverfahren.

Die endgültige Ausführung der Oberfläche kann einen erheblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit haben. Je glatter die Oberfläche ist und je geringer die Rautiefen sind, umso höher ist der Widerstand gegen Korrosion. Wenn bestimmte optische Anforderungen an Bauteile bestehen, sollte die dafür geeignete Oberflächenbeschaffenheit nach DIN EN 10088-4 oder DIN EN 10088-5 spezifiziert werden, siehe dazu auch Abschnitt 7 3 1

Im Anhang A der prEN 1993-1-4 wird vorausgesetzt, dass bei Anwendung der Norm folgende Bedingungen erfüllt sind:

- in der betrachteten Umgebung herrscht ein annähernd neutraler pH-Bereich von pH 4 bis pH 10,
- die Bauteile sind nicht Bestandteil von chemischen Prozessanlagen oder chemischen Prozessen ausgesetzt und
- die Bauteile sind nicht ständig oder häufig in Kontakt mit Meerwasser.

Falls die Bedingungen nicht erfüllt sind, wird empfohlen, den Rat eines Experten einzuholen.

prEN 1993-1-4 behandelt nicht den Einsatz von nichtrostenden Stählen in Beton, Mauerwerk und Holz. Damit betrifft die Einschränkung des Einsatzes der prEN 1993-1-4 auf eine Umgebung mit einem maximalen pH-Wert von pH 10 auch nicht diesen Einsatzbereich (Beton, Mauerwerk und Holz), in dem höhere pH-Werte vorhanden sind. Langjährige Erfahrungen und umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass nichtrostende Stähle sehr wohl für Bewehrungen und Verankerungen in diesem Bereich gut geeignet sind, was in der abZ/aBG Z-30.3-6 Berücksichtigung findet. Um nichtrostende Stähle für Befestigungen in Beton oder Mauerwerk einsetzen zu können, sind DIN EN 1992-1-1 [65] und DIN EN 1996-1-1 [66], jeweils in Verbindung mit den Nationalen Anhängen, bei der Werkstoffauswahl zu beachten. Entsprechendes gilt für die Anwendung in Kombination mit Holz.

Für die Festlegung geeigneter Stahlsorten ist die Exposition der Bauteile gegenüber bestimmten Umwelteinflüssen zu bestimmen. prEN 1993-1-4 verwendet dafür ein Punktesystem, auf welches nachfolgend näher eingegangen wird.

Das Verfahren zur Werkstoffauswahl erfolgt in drei Schritten:

- Bestimmung des Korrosionsbeständigkeitsfaktors
 CRF
- Ermittlung der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC in Abhängigkeit vom Korrosionsbeständigkeitsfaktor und
- Auswahl einer Stahlsorte, die mindestens der ermittelten Korrosionsbeständigkeitsklasse zugeordnet ist. Stähle aus einer höheren Korrosionsbeständigkeitsklasse zu verwenden ist möglich, aber in der Regel nicht wirtschaftlich.

Grundsätzlich wird in Innen- und Außenbereiche unterschieden. Als Innenbereich gelten beheizte und/oder belüftete geschlossene Räume. Gebäude mit großen Öffnungen, wie z.B. Parkhäuser und Verladerampen zählen in der Regel nicht dazu. Zum Außenbereich gehören alle Bereiche, die nicht dem Innenbereich zuzuordnen sind. Für die Verwendung von nichtrostenden Stählen in Schwimmhallenatmosphäre gelten spezielle Anforderungen, die im Weiteren noch erläutert werden. Der Korrosionsbeständigkeitsfaktor *CRF* ist abhängig von der die Bauteile umgebenden Atmosphäre und wird wie folgt bestimmt:

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3.$$

Dabei ist

Gas Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Auftausalzen. Bei Meerwasser spielen dabei die entsprechende Küstenregion in Europa und der Abstand zum Meer eine Rolle. Ebenfalls Einfluss hat die Hauptwindrichtung und ob sich z. B. Bauwerke, Wald oder Geländeerhebungen zwischen dem Meer und den Bauteilen befinden, was aber aus Gründen der Handhabbarkeit nicht weiter berücksichtigt wird

F₂ das Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid, z. B. durch Industrie oder Abgase, und die Reinigungsvorgaben oder die Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen

Für die Bestimmung von F_1 , F_2 und F_3 gilt Tabelle 7. Der Wert von F_1 für Anwendungen an der Küste hängt vom jeweiligen Standort in Europa ab und wird aus Erfahrungen mit bestehenden Konstruktionen, Korrosionstestdaten und Chloridverteilungsdaten abgeleitet. Die große Bandbreite an Umgebungen in Europa bedeutet, dass der berechnete Korrosionsbeständigkeitsfaktor CRF in einigen Fällen konservativ sein kann. Bei der Bewertung sollten Faktoren berücksichtigt werden, die die Chloridablagerung verringern können, wie z. B. die Nähe zum offenen Meer, der Schutz durch die Topografie des Geländes oder durch Bauwerke, die vorherrschende Windrichtung und die Aktivität von brechenden Wellen. Im Nationalen Anhang kann daher festgelegt werden, ob eine weniger strenge CRF-Einstufung gewählt werden darf, wenn gesicherte lokale Betriebserfahrungen oder Testergebnisse dieses rechtferti-

Zu beachten ist, dass sich für unterschiedliche Teile einer Konstruktion verschiedene *CRF*-Einstufungen ergeben können, z. B. wenn einige Bereiche Regen ausgesetzt sind und andere nicht. Jeder Expositionsfall sollte daher separat bewertet werden.

Das Verfahren zur Bestimmung der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC gilt nur für den Baubereich und setzt voraus, dass die Bauteile frei sind von Anlauffarben, Fremdrost erzeugenden Partikeln usw., s. Abschnitt 7.3.11. In Tabelle 8 sind die verschiedenen Stahlsorten den fünf Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC

I bis V (für geringe bis sehr starke Korrosionsbelastung) in Abhängigkeit vom Korrosionsbeständigkeitsfaktor *CRF* zugeordnet. Eine Übertragung auf Gebiete außerhalb Europas ist nicht ohne Weiteres möglich.

Gegenüber der aktuellen Ausgabe der DIN EN 1993-1-4 wurden in prEN 1993-1-4 drei ferritische nichtrostende Stähle in die Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC II zusätzlich aufgenommen, womit für einen großen Anwendungsbereich kostengünstige Alternativen gegenüber den austenitischen und Duplex-Stahlsorten gewählt werden können. Weiterhin haben Untersuchungen gezeigt, dass die Duplex-Stahlsorte 1.4662 aus CRC III in CRC IV aufrücken kann.

Es folgt eine Beispielrechnung für die Auswahl geeigneter Stahlsorten für Befestigungselemente von Kabeltrassen in einem nicht zwangsbelüfteten Straßentunnel, bei dem Auftausalze eingesetzt oder eingetragen werden können:

 $F_1 = -10$ (Straßentunnel mit Einsatz von Auftausalzen).

 $F_2 = -5$ (mittleres Expositionsrisiko für Schwefeldioxid durch Fahrzeugabgase, da ohne Zwangsbelüftung) und

 $F_3 = -7$ (keine Reinigung, kein Abwaschen durch Regen).

Damit folgt: CRF = -10 - 5 - 7 = -22. Daraus ergibt sich die Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC V mit den zugehörigen Stahlsorten nach Tabelle 8.

Exemplarisch sind die Auswirkungen einer falschen Werkstoffauswahl in Bild 7 dargestellt. Für die dort gezeigten Komponenten einer Verbindung aus einem Straßentunnel wurden die in Tabelle 9 aufgelisteten Stahlsorten verwendet. Dieses Beispiel zeigt, dass die Auswahl ungeeigneter Stahlsorten die Tragsicherheit von Konstruktionen durchaus gefährden kann.

Eine ganz besondere Aufmerksamkeit erfordert die Auswahl von nichtrostenden Stahlsorten für den Einsatz in Schwimmhallen. Aufgrund der möglichen hohen Chloridgehalte in Schwimmhallenatmosphären besteht die Möglichkeit der flächigen Korrosion, des Lochfraßes und der Spaltkorrosion, allerdings nicht – wie fälschlicherweise in DIN EN 1993-1-4 angegeben – nur die Gefahr der Spannungsrisskorrosion (spontanes Ver-



Bild 7. Komponenten einer Befestigung aus einem Straßentunnel bei falscher Werkstoffauswahl (© Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin)

sagen unter Zugbeanspruchung). Der diesbezügliche Hinweis in DIN EN 1993-1-4 wurde in prEN 1993-1-4 entfernt. Ferner war der Ausschluss der in DIN EN 1993-1-4 benannten Duplex-Stähle in der Kategorie der tragenden Bauteile mit regelmäßiger Reinigung nicht korrekt. Bei diesen Bauteilen ist die Chlorid-Konzent-

ration sehr gering, sodass die Initiierung von Lochfraß ebenfalls sehr gering und das Risiko der Spannungsrisskorrosion bei den Duplex-Stählen nahezu gar nicht gegeben ist. Für die Auswahl der in Schwimmhallenatmosphäre verwendbaren Stahlsorten gelten die Angaben in Tabelle 10.

Tabelle 7. Bestimmung des Korrosionsbeständigkeitsfaktors $CRF = F_1 + F_2 + F_3$ nach prEN 1993-1-4

Risiko d	ler Exposition gegenüber Chloriden a	us Salzwasser oder Auftausalzen (Streusalz), F ₁
1	Innenräume	
0	niedriges Expositionsrisiko	M > 10 km oder S > 0,1 km
-3	mittleres Expositionsrisiko	1 km < <i>M</i> ≤ 10 km oder 0,01 km < <i>S</i> ≤ 0,1 km
- 7	Hohes Expositionsrisiko	0,25 km < <i>M</i> ≤ 1 km oder <i>S</i> ≤ 0,01 km
-10	sehr hohes Expositionsrisiko	Straßentunnel mit Einsatz von Auftausalzen oder wo Fahrzeuge Auftausalze in den Tunnel mit einbringen können.
-10 sehr hohes Expositionsrisiko		<i>M</i> ≤ 0,25 km ^{a)}
		Nordseeküste Deutschlands und alle Küstenregionen der Ostsee.
–15	sehr hohes Expositionsrisiko	<i>M</i> ≤ 0,25 km ^{a)}
		Atlantikküste Portugals, Spaniens und Frankreichs. Küste des Ärmelkanals und der Nordseeregionen des Vereinigten Königreichs, Frankreichs, Belgiens, den Niederlanden und Südschwedens. Alle anderen Küstenregionen des Vereinigten Königreichs, Norwegens, Dänemarks und Irlands. Mittelmeerküste.

Anmerkung: M ist der Abstand vom Meer und S ist der Abstand von Straßen mit Einsatz von Auftausalzen.

Die Entfernung M < 0,25 km setzt voraus, dass das Bauwerk nicht durch die Bodentopografie geschützt ist. Wenn die Topografie einen teilweisen Schutz für das Bauwerk bietet, kann erfahrungsgemäß eine Stahlsorte von einer Korrosionsbeständigkeitsklasse niedriger verwendet werden. Beispiele für einen solchen Schutz sind Bauwerke über Buchten oder Flussmündungen mit begrenzter Wellenhöhe, physische Barrieren wie Bäume, Hügel und andere Gebäude innerhalb der 0,25-km-Zone.</p>

Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid, F ₂					
0 niedriges Expositionsrisiko Mittelwert der Gaskonzentration < 10 μg/m³					
– 5	mittleres Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration 10–90 μg/m³			
-10	hohes Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration 90–250 μg/m ³			

Anmerkung: In den europäischen Küstenregionen ist die Schwefeldioxidkonzentration üblicherweise gering. Im Landesinneren ist die Schwefeldioxidkonzentration entweder gering oder mittel. Ein hohes Expositionsrisiko ist ungewöhnlich und stets mit besonderen Standorten der Schwerindustrie oder spezifischen Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise Straßentunneln, verbunden. Die Schwefeldioxidkonzentration darf in Übereinstimmung mit dem Verfahren in EN ISO 9225 [65] bewertet werden. Ferritische nichtrostende Stähle zeigen eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid.

Reinigung	Reinigungskonzept oder Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen, F ₃		
0	Vollständige Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen		
-2	Spezifische Reinigungsvorgaben		
- 7	Kein Abwaschen durch Regen oder keine spezifische Reinigung		

Anmerkung 1: Wenn $F_1 + F_2 \ge 0$, dann ist $F_3 = 0$.

Anmerkung 2: Wenn das Bauteil regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion überprüft und gereinigt werden muss, sollte das dem Anwender in schriftlicher Form mitgeteilt werden. Die Überprüfung, das Reinigungsverfahren und die Häufigkeit sollten festgelegt sein. Je häufiger die Reinigung erfolgt, desto größer ist der Nutzen. Die Zeitspanne zwischen den Reinigungen sollte nicht größer als 3 Monate sein. Ist eine Reinigung festgelegt, sollte sie für alle Teile des Bauwerks gelten und nicht nur für die leicht zugänglichen und gut sichtbaren Bauteile.

Tabelle 8. Zuordnung der Stahlsorten zu den Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC in Abhängigkeit vom Korrosionsbeständigkeitsfaktor *CRF* nach prEN 1993-1-4

CRF	CRC a), b) ,c)	Stahlsorte	Gefügeart
<i>CRF</i> = 1	1	1.4003	ferritisch
	gering	1.4016	ferritisch
		1.4512	ferritisch
0 ≥ <i>CRF</i> >	II	1.4301	austenitisch
- 7	mäßig	1.4306	austenitisch
		1.4307	austenitisch
		1.4311	austenitisch
		1.4318	austenitisch
		1.4482	austenitisch-ferritisch
		1.4541	austenitisch
		1.4567	austenitisch
		1.4621	ferritisch
		1.4622	ferritisch
		1.4509	ferritisch
		1.4521	ferritisch
		1.4420	austenitisch
-7 ≥ <i>CRF</i> >	III	1.4062	austenitisch-ferritisch
–15	mittel	1.4162	austenitisch-ferritisch
		1.4362	austenitisch-ferritisch
		1.4401	austenitisch
		1.4404	austenitisch
		1.4429	austenitisch
		1.4432	austenitisch
		1.4435	austenitisch
		1.4571	austenitisch
		1.4578	austenitisch
–15 ≥ <i>CRF</i> ≥	IV	1.4439	austenitisch
-20	stark	1.4462	austenitisch-ferritisch
		1.4539	austenitisch
		1.4662	austenitisch-ferritisch
CRF < -20	V	1.4410	austenitisch
	sehr stark	1.4501	austenitisch
		1.4507	austenitisch
		1.4529	austenitisch
		1.4547	austenitisch
	1		

a) Die Stahlsorte einer höheren Klasse darf anstelle der durch den CRF vorgegebenen Klasse verwendet werden.

Tabelle 9. Stahlsorten mit zugehöriger Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC der Befestigungskomponenten aus Bild 7

Komponente	Stahlsorte	CRC	Einschätzung	
Schraube	1.4567	II	keine ausreichende CRC	
Mutter	1.4301	II	gewählt; es ist starke, die Tragfähigkeit gefährdende	
Rechteck- scheibe	1.4404	III	Korrosion aufgetreten	
Unterleg- scheibe	1.4529	V	richtige Auswahl, keine Korrosion	

Neben der Wahl der Stahlsorten aus den zutreffenden Korrosionsbeständigkeitsklassen sind zur Vermeidung von Korrosionsschäden zusätzlich konstruktive Gesichtspunkte zu beachten. Ist z.B. eine regelmäßige Reinigung oder Abwaschen durch Regen berücksichtigt, müssen auch alle Bauteile, die der Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt sind, bei der Reinigung oder durch den Regen erreicht werden. Weiterhin ist schon bei der Planung zu beachten, dass es nicht zur Kontaktkorrosion kommen kann. Die elektrisch leitende Verbindung von unterschiedlichen Metallen sollte vermieden werden, wenn in diesem Bereich Feuchtigkeit (Elektrolyt) auftreten kann (z. B. auch durch Kondensation) und die Fläche des unedleren Metalls nicht sehr groß ist gegenüber der Fläche des edleren Metalls (in den meisten Fällen der nichtrostende Stahl). So können zwar Schrauben aus nichtrostenden Stählen in der Regel zur Verbindung von feuerverzinkten Stahlbauteilen eingesetzt werden, aber nicht umgekehrt. Da insbesondere bei der Ausführung von Konstruktionen die Kontaktkorrosion verhindert werden soll, wird in Abschnitt 7.3.13 ausführlich darauf eingegangen.

Zur Vermeidung von interkristalliner Korrosion (IK) sollten dickwandige Schweißteile nicht aus IK anfälligen Stählen (Kohlenstoffgehalt > 0,03%, die nicht mit Titan stabilisiert sind), wie 1.4016, 1.4301, 1.4401 und 1.4420 hergestellt werden. Eine Grenzdicke festzulegen ist schwierig, da dabei mehrere Faktoren eine Rolle spielen. Materialstärken bis 10 mm gelten aber nicht als kritisch.

Um eine langfristige Korrosionsbeständigkeit zu erzielen und optische Anforderungen dauerhaft zu erfüllen, ist eine sorgfältige Ausführung der Bauteile und Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen, wie in Abschnitt 7 beschrieben, unerlässlich.

2.9 Verbindungsmittel

2.9.1 Mechanische Verbindungsmittel

Zur kraftübertragenden mechanischen Verbindung von Bauteilen aus nichtrostenden Stählen kommen in der Regel Schrauben, Muttern und Scheiben aus nichtrostenden Stählen zum Einsatz. Während sie ebenso zum Fügen von Baustahlkomponenten geeignet sind, ist von

b) Die Korrosionsbeständigkeitsklassen sind nur für die Anwendung mit diesem Auswahlverfahren für Stahlsorten vorgesehen und gelten nur für Konstruktionen mit tragender Funktion.

Die Bruchzähigkeit von ferritischen nichtrostenden Stählen sollte für externe Anwendungen nachgewiesen werden.

Tabelle 10. Stahlsorten für Schwimmhallenatmosphäre nach prEN 1993-1-4

Tragende Bauteile in Schwimmhallenatmosphäre	Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)	
Tragende Bauteile, die regelmäßig gereinigt werden	CRC III oder CRC IV	
Tragende Bauteile, die nicht regelmäßig gereinigt werden	CRC V (außer 1.4410, 1.4501 und 1.4507)	
Alle Befestigungs-, Verbindungsmittel und Gewindeteile	CRC V (außer 1.4410, 1.4501 und 1.4507)	

Wenn das Bauteil regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion zu überprüfen und zu reinigen ist, sollte das dem Anwender in schriftlicher Form mitgeteilt werden. Die Überprüfung, das Reinigungsverfahren und die Häufigkeit sollten festgelegt sein. Je häufiger eine Reinigung erfolgt, desto größer ist der Nutzen. Die Zeitspanne zwischen den Reinigungen sollte nicht größer als eine Woche sein. Ist eine Reinigung festgelegt, sollte sie für alle Teile des Bauwerks gelten und nicht nur für die leicht zugänglichen und gut sichtbaren Bauteile.

Der Nationale Anhang ist im Hinblick auf abweichende und/oder ergänzende Regelungen zu beachten.

der Verwendung von Schrauben und Muttern aus Kohlenstoffstählen in Verbindung mit nichtrostenden Stahlbauteilen, auch beim Anschluss an Teile aus Baustählen, abzuraten, da es hier leicht zu Bimetallkorrosion kommen kann.

Wie allgemein üblich, werden auch bei Schrauben aus nichtrostendem Stahl die Gewinde entweder zerspanend oder umformend hergestellt. Beim Zerspanen erfolgt ein Herausschneiden des Gewindes aus dem Material, was insbesondere bei nicht mehr scharfen Schneidwerkzeugen zu einer rauen Oberfläche führen kann. Damit sind solche Schrauben anfälliger gegen Fressen und Korrosion als Schrauben mit glatt ausgeführten Gewinden. Ein Gewindeschneiden ist heutzutage nur noch bei Kleinserien und Sonderanfertigungen üblich. Das gängigste Verfahren ist das Gewinderollen. Dabei wird das Gewinde spanlos in das Material eingeformt. Gerollte Gewinde haben in der Regel eine glatte Oberfläche. Durch das Umformen kommt es beim Rollprozess zu einer deutlichen Kaltverfestigung im Gewindebereich, insbesondere bei Schrauben aus nichtrostendem austenitischen Stahl. Das hat zur Folge, dass bei Schrauben aus nichtrostendem austenitischen Stahl die Tragfähigkeit im Gewindeteil höher ist als im Bereich des glatten Schaftes, obwohl der Schaftquerschnitt größer ist als der Spannungsquerschnitt des Gewindes. Bild 8 zeigt eine Schraube M16 \times 80 A2-70 vor und nach dem Zugversuch. Im Gegensatz zu einer Schraube aus Kohlenstoffstahl trat hier das Versagen im Schaftund nicht im Gewindebereich auf. Bei Schrauben, die



Bild 8. Schraube M16 × 80 A2-70 aus nichtrostendem austenitischem Stahl vor und nach dem Zugversuch (© ibvm, Fredersdorf)

mittels Schneiden hergestellt werden, führt dies natürlich zwangsläufig auch zu anderen Eigenschaften der Schrauben.

Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl sind in DIN EN ISO 3506-1 [68] und -2 [69] geregelt. Die Normen enthalten Angaben zu den mechanischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung von Schrauben und Muttern aus nichtrostenden ferritischen (Stahlgruppe F), austenitischen (Stahlgruppe A), austenitisch-ferritischen (Duplex, Stahlgruppe D) und martensitischen (Stahlgruppe C) Stählen. Damit sind in DIN EN ISO 3506-1 und-2 erstmals auch Schrauben und Muttern aus Duplex-Stählen sowie höhere Festigkeitsklassen als 80 geregelt, was in der Praxis bereits seit längerer Zeit zur Anwendung kommt. Für die Verwendung im Baubereich sind von den aufgeführten Stahlsorten bisher nur die Schrauben und Muttern aus austenitischen Stählen zulässig, da die bauaufsichtlich eingeführte Schirmproduktnorm für nicht vorspannbare Garnituren, DIN EN 15048-1 aus dem Jahre 2007 [70], noch keine Garnituren aus Duplex-Stählen berücksichtigt. Es ist aber davon auszugehen, dass bei einer Überarbeitung der Normen auch Schrauben und Muttern aus Duplex-Stählen aufgrund ihrer guten Eigenschaften dort mit aufgenommen werden. Technisch spricht nichts dagegen, SB-Schraubengarnituren aus Duplex-Stählen im bauaufsichtlichen Bereich einzusetzen. In Deutschland sind derartige Verbindungselemente bereits in der abZ/aBG Z-30.3-6 geregelt.

In DIN EN ISO 3506-1 und -2 werden die relevanten Schraubenwerkstoffe in die Stahlsorten F1, A1 bis A8 und D2 bis D8 eingeteilt. Diese sind sie jedoch nicht mit konkreten Werkstoffnummern untersetzt, sondern es gibt vorgegebene Grenzwerte bei der chemischen Zusammensetzung. Damit gibt es keine eindeutige Übereinstimmung mit der Einteilung der Stähle in Korrosionsbeständigkeitsklassen. In Tabelle 11 erfolgt eine Zuordnung der im Baubereich gängigen Stahlsorten zu den Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC I bis V, wobei Überschneidungen nicht ausgeschlossen sind.

Die Einstufung der verschiedenen Schrauben-Festigkeiten erfolgt in die Festigkeitsklassen 50, 70, 80 und 100 mit den in prEN 1993-1-4, Tabelle 5.5 angegebenen

Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC der prEN 1993-1-4				
Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC	Austenitisch	Duplex		

Tabelle 11. Zuordnung der Schrauben-Stahlsorten zu den

Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC	Austenitisch	Duplex
Ī	-	-
II	A2/A3	-
III	A4/A5	D4
IV	A8	D6
V	A8	D8

charakteristischen Festigkeitskennwerten. Die Festigkeitsklassen weichen damit von den für Schrauben aus Kohlenstoffstahl üblichen Klassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9 deutlich ab.

In grober Näherung können die Festigkeitsklassen der Schrauben aus nichtrostendem Stahl mit denen der Schrauben aus Kohlenstoffstahl wie folgt verglichen

- 50 entspricht in etwa 4.6,
- 70 entspricht in etwa (großzügig) 5.6,
- 80 entspricht in etwa 8.8 und
- 100 entspricht in etwa 10.9.

prEN 1993-1-4 empfiehlt, dass die Korrosionsbeständigkeit von Schrauben, Muttern und Scheiben mindestens gleich oder höher sein sollte als jene der verbundenen Bauteile. Bisher waren nach der Vorgängerversion der aktuellen DIN EN ISO 3506-1 und -2 nur Schrauben und Muttern bis A4 geregelt, was der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC III entspricht. Mit der aktuellen Neuausgabe der Norm stehen jetzt auch Stahlsorten zur Verfügung, die CRC IV und V zugeordnet sind. Dies wurde einerseits bei der Neuausgabe der abZ/aBG Z-30.3-6 [12] berücksichtigt, andererseits wurden dort auch sechs weitere Stahlsorten für die Verbindungselemente aufgenommen. Erstmalig steht damit auch ein nichtrostender ferritischer Stahl für Schrauben und Muttern zur Verwendung in Umgebungen mit geringer Korrosionsbelastung zur Verfügung.

In DIN EN ISO 3506-1 und -2 sind Schrauben und Muttern bis zu einem Nenndurchmesser bis einschließlich M39 geregelt. In der Praxis werden jedoch durchaus auch größere Schraubendurchmesser als M39 benötigt, was in der abZ/aBG Z30.3-6 [12] berücksichtigt ist (s. Tabelle 12).

Die Angaben in Tabelle 12 sind zwar mit Schraubenherstellern und -lieferanten abgestimmt, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass viele Stahlsorten und insbesondere die großen Nenndurchmesser nicht ohne Weiteres geliefert werden können.

Am besten verfügbar sind für Standardanwendungen von Schrauben und Muttern für die Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC I und II die Stahlsorte A2 und für die Korrosionsbeständigkeitsklassen bis CRC III die Stahlsorte A4; die gängigste Festigkeitsklasse ist 70. Die



Bild 9. Schraubenkopf mit Angaben zur Stahlsorte, Festigkeitsklasse und SB-Kennzeichnung (Foto: Bumax)

Angabe zur Stahlsorte und Festigkeitsklasse sowie die SB-Kennzeichnung für Schraubengarnituren als nicht vorspannbare Garnituren nach DIN EN 15048-1 [70] müssen sich auch auf dem Schraubenkopf und der Mutter befinden, siehe exemplarisch Bild 9.

Vorgespannte Schrauben(-verbindungen)

prEN 1993-1-4 gibt erstmalig Regeln zur Bemessung von gleitfesten Verbindungen aus nichtrostendem Stahl mit vorgespannten Schraubengarnituren aus nichtrostendem austenitischen oder Duplex-Stahl der Festigkeitsklassen 80 und 100 an. Da Schraubengarnituren aus nichtrostendem Stahl als vorspannbare Garnituren weder normativ geregelt noch auf dem Markt mit definierter Schmierung zum Vorspannen erhältlich sind, wie es bei den vorspannbaren Schraubengarnituren aus Kohlenstoffstahl über die Schirmproduktnorm DIN EN 14399-1 [71] der Fall ist, sind Schraubengarnituren zum Vorspannen aus nichtrostendem Stahl speziell zu prüfen. Dies muss über eine Verfahrensprüfung erfolgen, innerhalb derer nicht nur die Produkteigenschaften der Komponenten (Schraube, Mutter, Scheiben) geprüft werden müssen, soweit dies nicht bereits darüber erledigt ist, dass SB-Garnituren verwendet werden, sondern auch die Eignung zum Vorspannen sowie die Anziehparameter inkl. Wahl einer geeigneten Schmierung und deren Applikation, Erfassung von Vorspannkraftverlusten, Vermeidung von Kaltschweißeffekten ("Fressen") sowie Regelungen zur Prüfung und Kontrolle festgelegt werden müssen. In Deutschland kann solch eine Verfahrensprüfung in Anlehnung an die Regelungen der DASt-Richtlinie 024 [72] erfolgen. Auf europäischer Ebene gibt es bisher keine Regelungen, sie sollen aber über die Generierung einer Technical Specification (CEN/TS) geschaffen werden, weshalb prEN 1993-1-4 hierauf in der Anmerkung auch hinweist. Zurzeit kommen nur ISO-Metallbauschraubengarnituren infrage. Üblicherweise werden Schrauben mit/ohne Schaft nach DIN EN ISO 4014/4017 [73, 74] mit Muttern nach DIN EN ISO 4032 [75] und Scheiben nach DIN EN ISO 7089/7090 [76, 77] kombiniert; andere Bauteilkomponenten sind aber durchaus auch möglich und

Tabelle 12. Schraubengrößen in Abhängigkeit vom Werkstoff und der Festigkeitsklasse

Stahlbezeichnung		nung		Sefüge Sorte		Max. verfügbarer Nenndurchmesser für Verbindungselemente ²⁾ nach DIN EN ISO 3506-1 sowie für Muttern nach DIN EN ISO 3506-2 Festigkeitsklasse			
Lfd. Nr. 1)	Werkstoff- nummer	Kurzname				50	70	80	100
2	1.4016	X6Cr17	ferritisch	F1	I gering	≤ M24	_	_	-
4	1.4301	X5CrNi18-10	austenitisch	A2	П	≤ M64	≤ M45	≤ M39	-
6	1.4307	X2CrNi18-9	austenitisch	A2	mäßig	≤ M64	≤ M45	≤ M39	-
7	1.4567	X3CrNiCu18-9-4	austenitisch	A2		≤ M39	≤ M39	≤ M39	-
8	1.4541	X6CrNiTi18-10	austenitisch	A3		≤ M64	≤ M39	≤ M39	-
12	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	austenitisch	A4	III	≤ M64	≤ M45	≤ M39	≤ M39
13	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	austenitisch	A4	mittel	≤ M64	≤ M45	≤ M39	≤ M39
14	1.4578	X3CrNiCuMo17-11-3-2	austenitisch	A4		≤ M39	≤ M39	≤ M39	≤ M39
15	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	austenitisch	A5		≤ M64	≤ M45	≤ M39	≤ M39
19	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	austenitisch	A4		≤ M36	≤ M36	≤ M36	≤ M30
20	1.4362	X2CrNiN23-4	Duplex	D4		_	≤ M64	≤ M39	≤ M39
21	1.4062	X2CrNiN22-2	Duplex	D4		_	≤ M39	≤ M39	≤ M39
22	1.4162	X2CrMnNiN21-5-1	Duplex	D4		-	≤ M39	≤ M39	≤ M39
23	1.4662	X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	Duplex	D4		-	≤ M39	≤ M39	≤ M39
24	1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	austenitisch	A8	IV	≤ M64	≤ M39	≤ M39	≤ M39
25	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	Duplex	D6	stark	-	≤ M64	≤ M39	≤ M39
26	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	austenitisch	A8		≤ M64	≤ M45	≤ M39	≤ M39
27	1.4565	X2CrNiMnMoN25-18-6-5	austenitisch	_ 3)	V	≤ M64	≤ M64	≤ M39	≤ M39
28	1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	austenitisch	A8	sehr stark	≤ M64	≤ M45	≤ M39	≤ M39
29	1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	austenitisch	A8		≤ M39	≤ M39	≤ M39	≤ M39
30	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	Duplex	D8		-	≤ M39	≤ M39	≤ M39
31	1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	Duplex	D8		-	≤ M39	≤ M39	≤ M39
32	1.4507	X2CrNiMoCuN25-6-3	Duplex	D8		_	≤ M39	≤ M39	≤ M39

¹⁾ gemäß Anlage 1, Tabelle 1 der abZ/aBG Z-30.3-6

werden in der Praxis auch eingesetzt. Wichtig ist, dass gehärtete Scheiben mit einer Härte ≥ HV 300 gewählt werden, um Kaltschweißeffekte (Fressen) weitestgehend zu vermeiden. Je größer der Schraubendurchmesser und die Festigkeitsklasse ist, desto größer wird die aufzubringende Vorspannkraft und die Neigung zu Kaltschweißeffekten nimmt zu. Ein Vorspannen von M12/M16-Garnituren aus nichtrostendem Stahl ist bei Wahl einer geeigneten Schmierung unkritisch. Für

Schraubengarnituren aus nichtrostendem Stahl ab Schraubendurchmesser M20 wird die Herausforderung größer, Kaltschweißeffekte sicher zu vermeiden. In diesen Fällen sind in der Regel besondere Maßnahmen bezüglich der Kombination Schraubendurchmesser, Festigkeitsklasse, Schmiermittel, Härte der Scheiben und Vorspannkraftniveau zu treffen. Weitergehende Ausführungen sind Abschnitt 6.3.5 und u. a. [78–85] zu entnehmen.

Nach DIN EN ISO 3506 umfasst der Begriff Verbindungselemente Schrauben mit Schaft und mit Gewinde bis Kopf, Stiftschrauben und Gewindebolzen

³⁾ Da derzeit keine normativen Festlegungen gelten, sind diese Stähle mit der Werkstoff-Nummer zu kennzeichnen.

2.9.3 Schweißzusatzwerkstoffe

Schweißzusätze für das Schweißen nichtrostender Stähle müssen bezüglich der Streckgrenze, der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung, der Kerbschlagarbeit und der Korrosionsbeständigkeit mindestens den Anforderungen des Grundmaterials entsprechen. Abbrandbedingt kann sogar ein höherer Anteil an Legierungselementen erforderlich sein, um ein entsprechendes Schweißgut zu erhalten. Der Hinweis aus DIN EN 1993-1-4, dass für austenitische Stähle im kaltverfestigten Zustand das Schweißgut auch geringere mechanische Werte aufweisen kann als der Grundwerkstoff (Undermatching), z. B. zur Verbesserung der Duktilität, ist in der prEN 1993-1-4 nicht mehr enthalten. Geeignete Schweißzusatzwerkstoffe nach abZ/aBG Z-30.3-6 sind

in Tabelle 13 angegeben. Die mechanischen Eigenschaften ausgesuchter Schweißzusatzwerkstoffe nach DIN EN ISO 3581 [86] enthält Tabelle 14.

In Schweißverbindungen aus verschiedenen austenitischen Stahlsorten dürfen die Schweißzusätze sowohl der einen als auch der anderen Stahlsorte eingesetzt werden. Bei anderen Mischverbindungen, z.B. mit Baustählen, sind gegebenenfalls andere Schweißzusatzwerkstoffe erforderlich, als in Tabelle 13 aufgeführt sind. Die Festlegung, welche Schweißzusatzwerkstoffe zu verwenden sind, trifft die Schweißaufsichtsperson, soweit das nicht schon durch den Planer erfolgt ist. Es ist durchaus üblich, nichtrostenden Stahl an Baustahl zu schweißen, es sind allerdings die geeigneten Schweißzusätze zu verwenden.

Tabelle 13. Schweißzusatzwerkstoffe nach abZ/aBG Z-30.3-6

Grundwerkstoff	Schweißzusatzwerkstoff					
Werkstoffnummer	Stabelektroden nach DIN EN ISO 3581 [86]	Drahtelektroden, Stäbe und Drähte nach DIN EN ISO 14343 [87]	Fülldrahtelektroden nach DIN EN ISO 17633 [88]			
1.4003	19 9 L 18 8 Mn	19 9 L 18 8 Mn	19 9 L 18 8 Mn			
1.4301	19 9 19 9 L 19 9 Nb	19 9 L 19 9 Nb	19 9 L 19 9 Nb			
1.4307	19 9 L	19 9 L	19 9 L			
1.4541	19 9 L 19 9 Nb	19 9 L 19 9 Nb	19 9 L 19 9 Nb			
1.4318	19 9 L 19 9 Nb	19 9 L 19 9 Nb	19 9 L 19 9 Nb			
1.4401	19 12 2 19 12 3 L 19 12 3 Nb	19 12 3 L 19 12 3 Nb	19 12 3 L 19 12 3 Nb			
1.4404	19 12 3 L	19 12 3 L	19 12 3 L			
1.4571	19 12 3 L 19 12 3 Nb	19 12 3 L 19 12 3 Nb	19 12 3 L 19 12 3 Nb			
1.4539	NiCr22Mo9Nb 1)	20 25 5 Cu N L NiCr22Mo9Nb ²⁾	-			
1.4439	18 16 5 N L	18 16 5 N L	18 16 5 N L			
1.4362, 1.4462 1.4662	22 9 3 N L	22 9 3 N L	22 9 3 N L			
1.4062, 1.4162	22 9 3 N L 23 7 N L	22 9 3 N L 23 7 N L	22 9 3 N L 23 7 N L			
1.4529	NiCr23Mo16 ¹⁾ NiCr22Mo9Nb ¹⁾	NiCr23Mo16Cu2 ²⁾ NiCr22Mo9Nb ²⁾	-			
1.4547	NiCr22Mo9Nb 1)	NiCr22Mo9Nb ²⁾	_			

¹⁾ nach DIN EN ISO 14172 [89]

²⁾ nach DIN EN ISO 18274 [90]

Schweißzusatzwerkstoff	Streckgrenze [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm²]	Mindestbruchdehnung [%]
19 9	350	550	30
19 9 L	320	510	30
19 9 Nb	350	550	25
19 12 2	350	550	25
19 12 3 L	320	510	25
19 12 3 Nb	350	550	25
22 9 3 N L	450	550	20

Tabelle 14. Mechanische Eigenschaften von Schweißzusatzwerkstoffen nach DIN EN ISO 3581 [86]

3 Tragwerksberechnung

3.1 Neuer Normentext

7 Tragwerksberechnung

7.1 Tragwerksmodellierung für die Berechnung

(1) Die Festlegungen von EN 1993-1-1:2022, Abschnitt 7, sollten auf nichtrostende Stähle angewendet werden, sofern sie nicht durch die besonderen Festlegungen dieses Dokuments abgeändert oder ersetzt werden.

7.2 Berechnung des gesamten Tragwerkes 7.2.1 Berücksichtigung von Einflüssen nach Theorie II. Ordnung

(1) Eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung ist nicht erforderlich, wenn die Anforderungen von EN 1993-1-1:2022, Gleichung (7.1) und Gleichung (7.2), erfüllt sind.

Anmerkung: Der Wert von k_0 in EN 1993-1-1:2022, Gleichung (7.1), beträgt $1/\overline{\lambda}_0^2$, wobei $\overline{\lambda}_0$ die bezogene Grenzschlankheit nach Tabelle 8.3 ist, es sei denn, der Nationale Anhang enthält einen anderen Wert.

7.3 Imperfektionen

7.3.1 Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilbemessung

(1) Bei der elastischen Berechnung nach Theorie II. Ordnung und der Fließgelenkberechnung nach Theorie II. Ordnung darf die äquivalente Vorkrümmung e_0 von Bauteilen für Biegeknicken nach EN 1993-1-1: 2022, 7.3.3.1, bestimmt werden.

(2) Bei der Fließzonenberechnung nach Theorie II. Ordnung mit entweder einem bi-linearen Werkstoffmodell (siehe 7.4.3.3) oder dem nichtlinearen Werkstoffmodell (siehe 7.4.3.4), das in prEN 1993-1-14:2022, 5.3.3 für nichtrostenden Stahl angegeben ist, darf die äquivalente Vorkrümmung e_0 für Biegeknicken nach Gleichung (7.1) bestimmt werden:

$$e_0 = \frac{\alpha L}{150} \tag{7.1}$$

Dabei ist

L die Bauteillänge;

α der Imperfektionsbeiwert in Abhängigkeit von der maßgebenden Knicklinie nach Tabelle 8.3.

7.3.2 Imperfektionen auf der Grundlage der Knickbiegelinien nach der Elastizitätstheorie

(1) Bei der elastischen Berechnung nach Theorie II. Ordnung und der Fließgelenkberechnung nach Theorie II. Ordnung (siehe 7.4.3.2) darf die Form der maßgebenden Knickbiegelinie nach der Elastizitätstheorie $\eta_{\rm cr}$ des Tragwerkes als einzige globale Imperfektion und örtlich begrenzte Imperfektion nach EN 1993-1-1:2022, 7.3.6, angesetzt werden. Der Stich dieser Imperfektion sollte mit Gleichung (7.2) ermittelt werden:

$$e_{0,\mathrm{m}} = \alpha_{\eta,\mathrm{m}} (\overline{\lambda}_{\mathrm{m}} - \overline{\lambda}_{0}) \frac{M_{\mathrm{Rk,m}}}{N_{\mathrm{Rk,m}}}$$
(7.2)

Dabei ist

m der Index, der den maßgebenden Querschnitt des Gesamttragwerks oder des nachzuweisenden Bauteils bezeichnet. Der Index m gibt an, dass der Wert oder die Eigenschaft zum maßgebenden Querschnitt gehört;

$$\overline{\lambda}_{\rm m} = \sqrt{\frac{N_{\rm Rk,m}}{N_{\rm cr,m}}} \qquad \qquad {\rm der~bezogene~Schlankheitsgrad~des}$$

Bauteils, berechnet für den maßgebenden Querschnitt *m*;

 $N_{\rm cr,m} = \alpha_{\rm cr} N_{\rm Ed,m}$ der Wert der kritischen Normalkraft im Querschnitt m und auch die kritische Normalkraft des Ersatzstabs;

 $\alpha_{\rm cr}$ der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte $N_{\rm Ed}$ der Bauteile, um die ideale Verzweigungslast des Tragwerks zu erreichen;