

 Gerhard Hanswille | Markus Schäfer | Marco Bergmann

Eurocode 4

DIN EN 1994-1-1 Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

Teil 1-1: Allgemeine Bemessungs- und Anwendungsregeln
für den Hochbau

Kommentar und Beispiele

Eurocode 4
DIN EN 1994-1-1 Bemessung und Konstruktion
von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

(Leerseite)



Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hanswille
Prof. Dr.-Ing. Markus Schäfer
Dr.-Ing. Marco Bergmann

Eurocode 4

DIN EN 1994-1-1 Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

Teil 1-1: Allgemeine Bemessungs- und
Anwendungsregeln für den Hochbau
Kommentar und Beispiele

1. Auflage 2020

Herausgeber:
DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Beuth
Berlin · Wien · Zürich

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

© 2020 Beuth Verlag GmbH
Berlin · Wien · Zürich
Saatwinkler Damm 42/43
13627 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0
Telefax: +49 30 2601-1260
Internet: www.beuth.de
E-Mail: kundenservice@beuth.de

© 2020 Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische
Wissenschaften GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21
10245 Berlin

Telefon: +49 30 470 31-200
Telefax: +49 30 470 31-270
Internet: www.ernst-und-sohn.de
E-Mail: info@ernst-und-sohn.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung
des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Über-
setzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden von den Verfassern und dem Verlag sorgfältig erar-
beitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht
übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit
seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

© für DIN-Normen DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin

Titelbild: © Gerhard Hanswille
Satz: B & B Fachübersetzergesellschaft mbH, Berlin
Druck: COLONEL, Kraków

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706

ISBN 978-3-410-26916-8 (Beuth Verlag)
ISBN (E-Book) 978-3-410-26917-5 (Beuth Verlag)
ISBN 978-3-433-03162-9 (Ernst & Sohn)
ISBN (ePDF) 978-3-433-60761-9 (Ernst & Sohn)

Inhalt

Autorenporträts	IX
Danksagung	X
1 Allgemeines	1
1.1 Einführung und Anwendungsbereich von DIN EN 1994-1-1	1
1.1.1 Einführung	1
1.1.2 Anwendungsbereich	1
1.1.3 Das Eurocodeprogramm	1
1.1.3.1 Historische Entwicklung der Normung im Stahlverbundbau	3
1.1.3.2 Zukünftige Entwicklung des Eurocode 4 – zweite Generation	6
1.1.4 Inhalt und Gliederung der Norm	9
1.2 Normative Verweise, Nationale Anwendungsdokumente und NDPs	12
1.2.1 Normative Verweise	12
1.2.2 Nationales Anwendungsdokument und NDPs	13
1.3 Annahmen	16
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	17
1.5 Bezeichnungen, Begriffe und Definitionen	17
1.5.1 Bezeichnungen	17
1.5.2 Begriffe und Definitionen	18
1.6 Bautechnische Unterlagen	20
2 Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept	23
2.1 Allgemeines	23
2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	23
2.3 Basisvariablen	23
2.4 Nachweise mit Teilsicherheitsbeiwerten	24
2.4.1 Bemessungswerte	24
2.4.1.1 Bemessungswert für Einwirkungen	24
2.4.1.2 Bemessungswert des Tragwiderstandes	25
2.4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit – Kombinationsregeln	26
2.4.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit – Kombinationsregeln	28
3 Werkstoffe	31
3.1 Beton	31
3.2 Betonstahl	37
3.3 Baustahl	39
3.4 Verbindungs- und Verbundmittel	40
4 Dauerhaftigkeit	41
4.1 Allgemeines	41
4.2 Profilbleche für Verbunddecken in Tragwerken des Hochbaus	41
4.3 Dauerhaftigkeitskriterien für Stahlbauteile	41
4.4 Dauerhaftigkeitskriterien für schlaff bewehrte Betonbauteile	43
5 Tragwerksberechnung	51
5.1 Statisches System für die Berechnung	51
5.1.1 Statisches System und grundlegende Annahmen	51
5.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse	51
5.1.3 Boden-Bauwerk-Interaktion	51
5.2 Globale Tragwerksberechnung	52
5.2.1 Einflüsse aus Tragwerksverformungen	52

5.2.2	Schnittgrößenermittlung für Tragwerke des Hochbaus	52
5.3	Imperfektionen	53
5.4	Schnittgrößenermittlung	54
5.4.1	Verfahren der Schnittgrößenermittlung	54
5.4.1.1	Allgemeines	54
5.4.1.2	Mittragende Gurtbreite bei der Schnittgrößenermittlung	57
5.4.2	Linear-elastische Tragwerksberechnung	61
5.4.2.1	Allgemeines	61
5.4.2.2	Kriechen und Schwinden	61
5.4.2.3	Einflüsse aus der Rissbildung	70
5.4.2.4	Belastungsgeschichte	79
5.4.2.5	Einflüsse aus Temperatureinwirkungen	80
5.4.2.6	Einfluss aus Vorspannung	83
5.4.2.7	Beispiel zur elastischen Ermittlung der Schnittgrößen aus Kriechen und Schwinden unter Berücksichtigung der Rissbildung	87
5.4.3	Nichtlineare Tragwerksberechnung	99
5.4.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit – elastische Tragwerksberechnung mit Momentenumlagerung	100
5.4.5	Berechnung nach der Fließgelenktheorie	102
5.5	Klassifizierung der Querschnitte	105
5.5.1	Allgemeines	105
5.5.2	Klassifizierung von Verbundquerschnitten ohne Kammerbeton	106
5.5.3	Klassifizierung von Verbundquerschnitten mit Kammerbeton	108
6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	113
6.1	Verbundträger	113
6.1.1	Verbundträger für Tragwerke des Hochbaus	113
6.1.2	Mittragende Gurtbreite beim Nachweis der Querschnittstragfähigkeit	114
6.2	Querschnittstragfähigkeit von Verbundträgern	114
6.2.1	Momententragfähigkeit	114
6.2.1.1	Allgemeines	114
6.2.1.2	Vollplastische Momententragfähigkeit bei vollständiger Verdübelung	117
6.2.1.3	Vollplastische Momententragfähigkeit bei teilweiser Verdübelung	121
6.2.1.4	Dehnungsbeschränkte Momententragfähigkeit	124
6.2.1.5	Elastische Querschnittstragfähigkeit	126
6.2.1.6	Ergänzende Hinweise zur Ermittlung der Momententragfähigkeit	133
6.2.2	Querkrafttragfähigkeit	134
6.2.2.1	Anwendungsbereich	134
6.2.2.2	Vollplastische Querkrafttragfähigkeit	134
6.2.2.3	Querkrafttragfähigkeit bei Schubbeulen	134
6.2.2.4	Interaktion Biegung und Querkraft	135
6.3	Querschnittstragfähigkeit von kammerbetonierten Verbundträgern	137
6.3.1	Allgemeines	137
6.3.2	Momententragfähigkeit für Verbundquerschnitte mit Kammerbeton	138
6.3.3	Querkrafttragfähigkeit für Verbundquerschnitte mit Kammerbeton	139
6.3.4	Biegung und Querkraft bei Verbundquerschnitten mit Kammerbeton	140
6.4	Biegedrillknicken bei Verbundträgern	140
6.4.1	Allgemeines	140
6.4.2	Biegedrillknicknachweis für Durchlaufträger mit Querschnitten der Klassen 1, 2 und 3	141
6.4.3	Vereinfachter Nachweis für das Biegedrillknicken ohne weitere Berechnung	149

6.5	Stege mit Querbelastrung.....	150
6.6	Verbundficherung bei Verbundträgern.....	151
6.6.1	Allgemeines.....	151
6.6.1.1	Grundlagen	151
6.6.1.2	Mindestverdu�elungsgrad und Anwendungsgrenzen bei teilweiser Verdu�elung.....	153
6.6.1.3	Verteilung von Verbundmitteln bei Tragwerken des Hochbaus.....	155
6.6.2	Ermittlung der Längsschubkräfte.....	156
6.6.3	Beanspruchbarkeit von Verbundmitteln – stehende und liegende Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten.....	161
6.6.4	Längsschubtragfähigkeit von Kopfbolzendübeln in Kombination mit Profilblechen	166
6.6.5	Konstruktionsregeln für die Ausbildung der Verbundficherung	172
6.6.6	Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes	173
6.7	Verbundstützen	179
6.7.1	Allgemeines, Bemessungsverfahren	179
6.7.2	Allgemeines Nachweisverfahren	181
6.7.3	Nachweis der Gesamtstabilität nach dem vereinfachten Nachweisverfahren	185
6.7.3.1	Allgemeines.....	185
6.7.3.2	Querschnittstragfähigkeit.....	186
6.7.3.3	Einfluss des Kriechens und Schwindens	195
6.7.3.4	Berechnung der Schnittgrößen und geometrische Ersatzimperfektionen.....	196
6.7.3.5	Tragfähigkeitsnachweis bei planmäßig zentrischem Druck.....	199
6.7.3.6	Tragfähigkeitsnachweis bei Druck und einachsiger Biegung	200
6.7.3.7	Tragfähigkeitsnachweis bei Druck und zweiachsiger Biegung	202
6.7.3.8	Stützen mit speziellen Querschnitten – Gültigkeitsbereich des vereinfachten Verfahrens.....	203
6.7.4	Lasteinleitung	210
6.7.4.1	Allgemeines.....	210
6.7.4.2	Nachweis der Krafteinleitung.....	210
6.7.4.3	Verbundficherung außerhalb der Krafteinleitungsbereiche.....	221
6.7.5	Bauliche Durchbildung	222
6.7.5.1	Betondeckung von Stahlprofilen und Bewehrung.....	222
6.7.5.2	Längs- und Bügelbewehrung	223
6.8	Nachweis gegen Ermüdung	223
6.8.1	Allgemeines.....	223
6.8.2	Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Ermüdung für Tragwerke des Hochbaus	223
6.8.3	Ermüdungsfestigkeit.....	224
6.8.4	Einwirkungen, Schnittgrößen und Spannungen	228
6.8.5	Nachweisverfahren.....	229
7	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	233
7.1	Allgemeines.....	233
7.2	Schnittgrößen und Spannungen.....	233
7.2.1	Allgemeines.....	233
7.2.2	Spannungsbegrenzungen	233
7.3	Begrenzung der Verformungen und Schwingungsverhalten	235
7.3.1	Durchbiegungen.....	235
7.3.2	Schwingungsverhalten	240
7.4	Begrenzung der Rissbreite und Nachweis der Dekompression	242
7.4.1	Allgemeines und Grundlagen	242
7.4.2	Ermittlung der Mindestbewehrung nach DIN EN 1994-1-1.....	245

7.4.3	Begrenzung der Rissbreite infolge direkter Einwirkungen.....	247
7.4.3.1	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung.....	247
7.4.3.2	Direkte Berechnung der Rissbreite	248
7.4.4	Träger mit Spanngliedvorspannung.....	249
7.5	Stabilitätsnachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	251
8	Verbundanschlüsse	253
8.1	Allgemeines	253
8.2	Berechnung, Modellbildung und Klassifikation.....	256
8.3	Nachweisverfahren	259
8.4	Tragfähigkeit von Grundkomponenten.....	262
8.5	Zur Frage der Rotationskapazität und Ausblick	270
9	Verbunddecken	273
9.1	Grundlagen und Definitionen	273
9.2	Konstruktionsgrundsätze	275
9.3	Einwirkungen und deren Auswirkungen.....	276
9.4	Ermittlung der Schnittgrößen	277
9.5	Erforderliche Nachweise für das Profilblech im Bauzustand – Grenzzustand der Tragfähigkeit	279
9.6	Erforderliche Nachweise für das Profilblech im Bauzustand – Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	280
9.7	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit im Endzustand	280
9.7.1	Allgemeines	280
9.7.2	Querschnittstragfähigkeit – Biegung	281
9.7.3	Nachweis der Längsschubtragfähigkeit	285
9.7.3.1	Allgemeines	285
9.7.3.2	Nachweis nach dem m + k-Verfahren	286
9.7.3.3	Nachweis nach der Teilverbundtheorie	288
9.7.4	Nachweis der Längsschubtragfähigkeit mit Endverankerung	289
9.7.5	Querschnittstragfähigkeit – Querkraft	291
9.8	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.....	293
10	Praxisorientierte Bemessungsbeispiele	295
	Beispiel 1: Einfeldträger in Verbundbauweise	295
	Beispiel 2: Durchlaufträger in Verbundbauweise	307
	Beispiel 3: Verbundstütze.....	334
	Beispiel 4: Verbunddecke.....	344
11	Literatur	355

Autorenporträts

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hanswille ist Gesellschafter der HRA Ingenieurgesellschaft in Bochum und Prüfsachverständiger für Baustatik. Bis 2017 war er geschäftsführender Direktor des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Bergischen Universität in Wuppertal und Professor für Stahlbau und Verbundkonstruktionen. Er ist Mitglied der Akademie der Wissenschaften des Landes NRW und war von 1993 bis 2018 Vorsitzender des Arbeitsausschusses Verbundbau bei DIN und Mitglied der Project-Teams für DIN EN 1994-1-1 und DIN EN 1994-2. Er bringt seine Erfahrungen in mehrere Beratungsgremien und Arbeitsausschüsse des DIN, des Deutschen Instituts für Bautechnik, des Eisenbahn-Bundesamtes und des Bundesverkehrsministeriums ein.



Hauptarbeitsgebiete: Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Verbundbaus mit den Schwerpunkten Verbundtechnologie, Lebensdaueranalyse und Tragwerksstabilität. Neben dem Hoch- und Industriebau war er in den letzten Jahren als Tragwerksplaner und Prüfsachverständiger an der Realisierung von größeren Stahl- und Verbundbrücken beteiligt.

Prof. Dr.-Ing. Markus Schäfer wurde 2017 zum „Full Professor of Structural Engineering and Composite Structures“ an die Universität Luxemburg (Department of Engineering) berufen. Der Promotion an der Bergischen Universität Wuppertal im Bereich des Stahl- und Verbundbaus im Jahr 2007 folgten bis zur Berufung an die Universität internationale Ingenieurleistungen als technischer Leiter der Spannverbund S. A., als „Directeur des Études“ der CLE S. A. sowie Lehrtätigkeiten als Univ.-Dozent. Aktuell ist er auch stellvertretender Obmann des Spiegelausschusses zum Eurocode 4 bei DIN, Mitglied im CEN/TC 250/SC 4 sowie in weiteren nationalen und europäischen Arbeitsgruppen zum Verbundbau vertreten. Im Rahmen des EU-Mandates M/515 befasst er sich derzeit als Leiter des Project-Teams CEN/TC 250/ SC 4.T6 mit der Erstellung der zweiten Generation der EN 1994-1-1.



Hauptarbeitsgebiete: Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Verbundbaus mit den Schwerpunkten Verbund-/Slim-Floor-Träger, Verbundmittel, Verbundstützen und dem Einsatz hochfester Materialien. Darüber hinaus ist er stark in die Normenentwicklung eingebunden. In den letzten Jahren war er vielfach in die Tragwerksplanung und Ausführung von Projekten im Stahl- und Verbundbau involviert.

Dr.-Ing. Marco Bergmann ist Mitarbeiter der HRA Ingenieurgesellschaft in Bochum. 2011 promovierte er an der Bergischen Universität Wuppertal im Bereich Stahl- und Verbundbau zur Heißbemessung von Verbundstützen. Er ist seit 2015 Mitglied des Arbeitsausschusses Verbundbau im DIN und seit vielen Jahren Dozent im Studiengang Real Estate Management and Construction Project Management (REM + CPM) an der Bergischen Universität Wuppertal.



Hauptarbeitsgebiete: Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Verbundbaus mit den Schwerpunkten Verbundstützen und Verbundmittel. In den letzten Jahren war er an der Prüfung von größeren Stahl- und Verbundbrücken und der Tragwerksplanung von Verbundkonstruktionen im Hochbau beteiligt.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Beuth Verlag und Ernst & Sohn Verlag für die wertvolle Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Herstellung des Kommentars. Ferner bedanken sich die Verfasser für die vielen Anregungen und Kommentare, die sie als Mitglieder der europäischen und nationalen Normungsgremien in den letzten Jahren erhalten haben und die teilweise in diesen Kommentar mit eingeflossen sind.

1 Allgemeines

1.1 Einführung und Anwendungsbereich von DIN EN 1994-1-1

1.1.1 Einführung

DIN EN 1994-1-1 [1] ist als Eurocode 4 (EC 4) für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundkonstruktionen seit einigen Jahren in Deutschland bauaufsichtlich eingeführt. Mit diesem Kommentar soll der Baupraxis ein vertieftes Verständnis für die Regelungen dieses Eurocodes ermöglicht werden. Die einzelnen Regelungen werden detailliert erläutert und deren Anwendung anhand von praxisorientierten Beispielen erleichtert. Die dynamische Entwicklung im Stahlverbundbau führt in der Baupraxis immer wieder zu konstruktiven Ausbildungen, die durch die Regelungen des Eurocodes nicht abgedeckt sind. Auf diese Anwendungsgrenzen wird ebenfalls eingegangen. Die in DIN EN 1994-1-1 enthaltenen Regelungen basieren teilweise auf wissenschaftlichen Untersuchungen, die bereits zwanzig und mehr Jahre zurückliegen. Im Rahmen dieses Kommentars wird daher auch auf neuere Untersuchungen und Bemessungsmodelle eingegangen, die im Rahmen einer Bemessung auf der Grundlage des Eurocodes als gleichwertig angesehen werden können.

1.1.2 Anwendungsbereich

Der vorliegende Kommentar behandelt primär die hochbauspezifischen Regelungen in DIN EN 1994-1-1 [1]. Die Erarbeitung des Eurocode 4, Teil 2 (EN 1994-2 [4]) erfolgte seinerzeit zeitlich versetzt. Spezielle Regelungen, die primär für Brücken gelten, jedoch im Hochbau ebenfalls angewandt werden können, finden sich daher im Eurocode 4, Teil 2. Der Kommentar behandelt daher auch einige Regelungen, die sich im Eurocode 4, Teil 2 befinden.

1.1.3 Das Eurocodeprogramm

Die Eurocodes (EC) repräsentieren europäische Normen (EN) für die Bemessung und Konstruktion von Bauwerken im Hoch- und Brückenbau. Die Entwicklung dieser europäischen Regelwerke erfolgte im Auftrag der Europäischen Union durch das „European Committee for Standardisation“ CEN. Seit einigen Jahren sind die Eurocodes bereits in der Anwendung. Die Eurocodes wurden erarbeitet, um die Planung von tragwerksrelevanten Bauprodukten für Bauwerke europaweit zu harmonisieren und einheitliche Standards hinsichtlich mechanischer Festigkeit und Standsicherheit sowie für den Brandschutz und die Nutzungssicherheit zu ermöglichen. Für die Bemessung von Ingenieurbauwerken im Hochbau, Brückenbau und der Geotechnik liegen zehn spezifische Eurocodes (EN 1990 bis EN 1999, Bild 1) vor, die sich aktuell aus 58 Teilen zusammensetzen. Eurocode 4 enthält grundsätzliche Regeln für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Verbundtragwerken in Stahl und Beton und zusätzlich spezielle Regelungen für Tragwerke des Hochbaus (EN 1994-1-1), des Brückenbaus (EN 1994-2) sowie für den Brandfall (EN 1994-1-2). Die Veröffentlichung der ersten englischen Fassung (final draft) erfolgte im Jahre 2004. Die erste deutsche Übersetzung der jetzt vorliegenden Generation des Eurocode 4 lag in den Gremien des DIN im Jahre 2007 vor.

Im Juli 2012 wurden die Eurocodes als verbindliches Normenwerk in Deutschland eingeführt und stellen seitdem den Standard in der Bemessung und Konstruktion für Bauprojekte im öffentlichen und privaten Sektor dar. Mit der Einführung der Europäischen Normen wurden gleichzeitig mit gewissen Übergangsfristen die nationalen Normen in den verschiedenen Ländern zurückgezogen, so auch die nationale Norm DIN 18800-5 für die Bemessung von Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton. In Deutschland endete die Parallelregelung 2013.

Als DIN-EN-Fassungen wurden die Eurocodes in Deutschland in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen als Regelwerk zur Grundlage der Tragwerksplanung aufgenommen. Heute ist

in den meisten europäischen Staaten die Bemessung und Ausführung nach Eurocode verbindlich, wobei in den nationalen Anhängen (NA) zu den verschiedenen Abschnitten der diversen Teile der Eurocodes länderspezifische Regelungen festgelegt werden.



Europäische Normen – Eurocodes

Eurocode 0: EN 1990 – Grundlagen der Tragwerksplanung
Eurocode 1: EN 1991 – Einwirkungen auf Tragwerke
Eurocode 2: EN 1992 – Bemessung von Stahlbeton-/Spannbetontragwerken
Eurocode 3: EN 1993 – Bemessung von Stahlbauten
Eurocode 4: EN 1994 – Bemessung von Verbundtragwerken aus Stahl & Beton
Eurocode 5: EN 1995 – Bemessung von Holzbauten
Eurocode 6: EN 1996 – Bemessung von Mauerwerksbauten
Eurocode 7: EN 1997 – Bemessung in der Geotechnik
Eurocode 8: EN 1998 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
Eurocode 9: EN 1999 – Bemessung von Aluminiumtragwerken

Bild 1: Übersicht Eurocodes, EN 1990 bis EN 1999

Mit der Einführung der Eurocodes stellten diese das technisch fortschrittlichste und umfangreichste Normenwerk im Bauwesen und dem Grundbau dar. Dabei basieren die Eurocodes auf weit über 30 Jahren Normenentwicklung und Forschung. Die Vorentwürfe prEN der heutigen Eurocodes wurden vor der Einführung über fast zwei Jahrzehnte diskutiert.

Heute haben die Eurocodes einen maßgeblichen Einfluss auf die Bemessungskultur im Bauwesen und werden europaweit von weit mehr als 500.000 Anwendern appliziert [83]. Ferner werden die Grundlagen der Eurocodes im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Studien an den Hochschulen und Universitäten gelehrt. Während zunächst die Anwendung der europäisch harmonisierten Normen für Europa erfolgte, d. h. für den europäischen Wirtschaftsraum (EWR), umfassend die 27 EU-Mitgliedstaaten und die EFTA-Staaten (Schweiz, Island, Liechtenstein und Norwegen), hat sich der Eurocode als eine der modernsten Normen auch auf viele andere Länder ausgedehnt bzw. einige Länder haben ihre Bemessungsnormen dem Eurocode angeglichen [84]. Damit gewinnen die europäischen Normen weltweit zunehmend an Bedeutung.

Mit dem Eurocode 4 in der Fassung der DIN EN 1994-1-1:2010-12 [1] und DIN EN 1994-1-2:2010-12 [3] liegt in Zusammenhang mit dem Eurocode 2 in der Fassung der DIN EN 1992-1-1 [14] und dem Eurocode 3 mit der DIN EN 1993-1, Teil 1 [20], Teil 3 [23], Teil 5 [25], Teil 8 [26] und Teil 9 [27] in Verbindung mit den Deutschen Nationalen Anwendungsdokumenten ein Regelwerk für Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton vor, in dem alle wesentlichen Aspekte für Verbundkonstruktionen des Hoch- und Industriebaus behandelt werden. Für Brückentragwerke wurden die nationalen DIN-Fachberichte [38]–[41] durch die bauaufsichtlich eingeführten Eurocodes im Brückenbau ersetzt.

Bei der Erarbeitung der EN-Fassungen der europäischen Regelwerke für Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton (Eurocode 4) sowie der zugehörigen Nationalen Anhänge wurde bereits in der Fassung von 2006 [31], [32] im Vergleich zu den bauaufsichtlich bekannt gemachten europä-

päischen Vornormen [33], [34] eine Vielzahl von Änderungen vorgenommen, die die Anwendung in der Praxis vereinfachen werden. Gleichzeitig wurde der gesamte Normentext deutlich gekürzt und sprachlich verbessert.

1.1.3.1 Historische Entwicklung der Normung im Stahlverbundbau

Die Stahlverbundbauweise spielt ab Ende der 1940er-Jahre eine Rolle im Bauwesen. Zunächst wurde das Regelwerk DIN 4239 „Verbundträger im Hochbau“ (1956) erarbeitet (siehe Bild 2). Im Brückenbau wurde die Stahlverbundbauweise mit Beginn der 1950er-Jahre bei zahlreichen Vorhaben angewandt. Maßgebend war hierfür zunächst DIN 1078 „Verbundstraßenbrücken“. Für den Dienstbereich der Deutschen Bahn (DB) galten bzw. gelten Sondervorschriften.

Vor allem in den 1970er- und 1980er-Jahre wurde massiv im Bereich des Verbundbaus geforscht. Aus den Forschungserkenntnissen resultierte auch die im Jahr 1974 erstmals veröffentlichte und 1981 überarbeitete Herausgabe der „Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern“ (Verbundträgerrichtlinie). Die Auflage einer neuen Richtlinie war seinerzeit wegen der Neubearbeitung der DIN 1045 und der Spannbetonrichtlinien notwendig geworden.

Mit der neuen Verbundträgerrichtlinie wurde der (plasto-statische) Tragsicherheitsnachweis unter Grenzlaster eingeführt. Die Regelwerke DIN 4239 und DIN 1078 kannten nur den elasto-statischen Nachweis mit zulässigen Spannungen; auf dieser Basis wurden seinerzeit auch die Verbundmittel dimensioniert. Mit der Einführung der „Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern“ wurden im Hochbau auch Tragfähigkeitsnachweise auf der Grundlage der Plastizitätstheorie zugelassen. Bei Brückenkonstruktionen war zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit zusätzlich ein elasto-statischer Nachweis einschließlich Berücksichtigung von Schwinden und Kriechen erforderlich.

In den späteren Regelwerken für die Stahlverbundbauweise (in DIN 18800-5) wurde diese Konzeption übernommen und ist auch Grundlage des Eurocode 4 („Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton“). Der Eurocode behandelt neben den Materialeigenschaften, der Dauerhaftigkeit und der Schnittgrößenermittlung ausgiebig elastische und plastische Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie die Bemessung im Grenzzustand der Ermüdung und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Ferner werden viele konstruktive Regelungen für die Ausführung festgelegt.

Die Grundidee der Entwicklung europaweit einheitlicher Normen im Bauwesen resultiert aus den Bestrebungen, Europa wirtschaftlich und gesellschaftlich näher zusammenzuführen. Die wesentlichen Vorteile eines europäisch harmonisierten Regelwerkes sind [357]:

- eine Harmonisierung der Bemessungskonzepte und technischer Regelungen innerhalb Europas,
- die Etablierung eines einheitlichen Sicherheitsniveaus,
- die Verbesserung des grenzübergreifenden Austausches und internationaler Kooperationen im Rahmen von Bauprojekten,
- die Öffnung des europäischen Marktes für Ingenieurbüros und Baupartner,
- nicht zuletzt stellt ein einheitliches Normenwerk auch den Rahmen von Bau- und Ingenieurverträgen dar.

Der Hintergrund des Eurocode-Programms ist in DIN EN 1994-1-1 wie folgt beschrieben [1]:

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen. Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung

von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten. 15 Jahre lang leitete die Kommission mithilfe eines Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80er-Jahren führte. Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung (Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken) zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

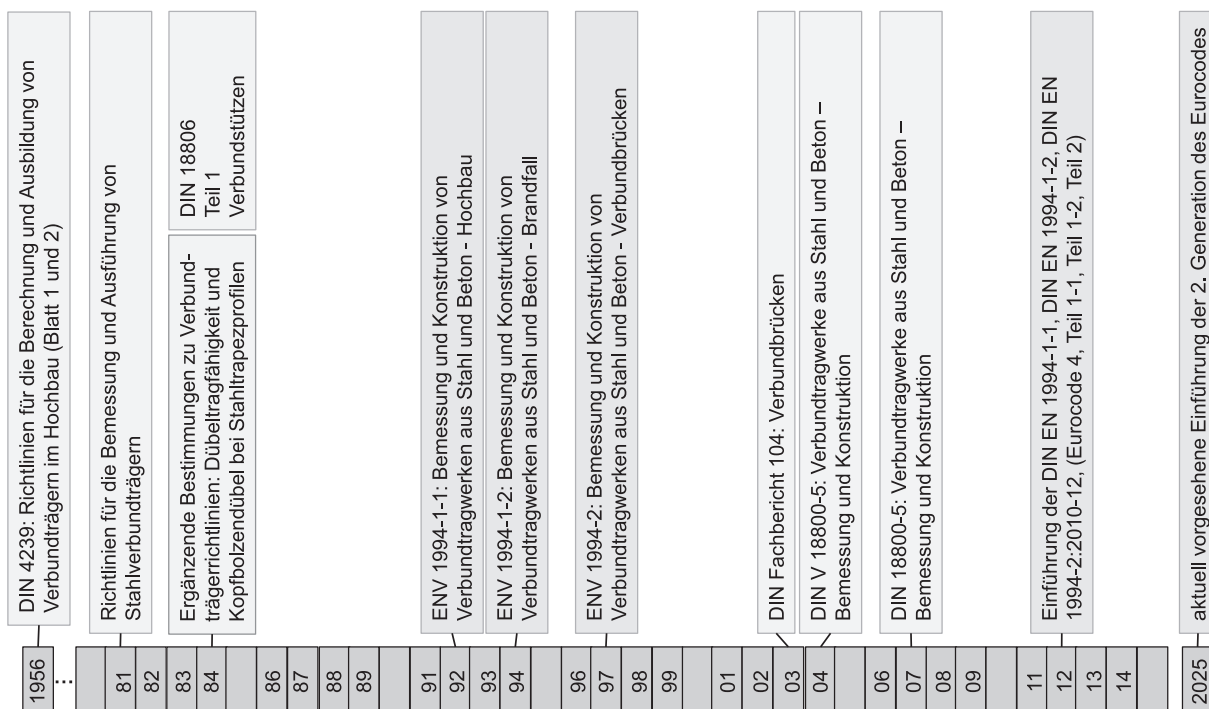


Bild 2: Zeitliche Entwicklung der Normen im Stahl-Verbundbau – wichtige Eckdaten

Die ersten Bestrebungen zu einer europäischen Harmonisierung der Bemessungsgrundlagen auf dem Gebiet der Verbundkonstruktionen begannen 1971 mit der Arbeit des „IABSE/CEB/ECES/FIP Joint Committee for Composite Structures“, das 1981 den „Model Code for Composite Structures“ [85] herausgab. Im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaften wurde 1984 von einer kleinen Gruppe namhafter Fachleute ein vollständiger Entwurf des Eurocode 4 [86] vorgelegt, der in den Jahren 1985–1987 innerhalb von 18 Monaten in zwölf Mitgliedsstaaten beraten und kommentiert wurde. In den 1980er-Jahren entstanden so die ersten Vorschläge für die Eurocodes im konstruktiven Ingenieurbau. 1989 übertrug die Kommission die Aufgabe zur Entwicklung europaweit harmonisierter Normen an das CEN, die Europäische Normungsorganisation. Es wurde festgelegt, dass die Eurocodes als die Grundlage europäisch einheitlicher Bezugsdokumente gelten sollten. Nachdem der Eurocode 2 [87] für Betonbauwerke und der Eurocode 3 [88] für Stahlbauwerke überarbeitet und gleichzeitig ein Konzept für den zukünftigen

Eurocode 1 für Lasten entwickelt worden war, konnte die Entwurfsgruppe mit der Überarbeitung des Eurocode 4 beginnen. Hierbei wurden sowohl die Änderungen der Eurocodes 2 und 3 als auch die Kommentare der Mitgliedsstaaten sowie internationale Fortschritte auf den Gebieten der Forschung, Praxis und Normung berücksichtigt.

Im Jahr 1992 erschien der Entwurf einer Europäischen Vornorm prENV für Eurocode 4, Teil 1-1 [89] im System des CEN. Er wurde im Jahre 1994 in Deutschland als DIN V ENV 1994 Teil 1-1 in Kombination mit dem Nationalen Anwendungsdokument (DAST-Richtlinie 104 [80]) bauaufsichtlich bekannt gemacht. Mit der Überarbeitung von prENV 1994-1-1 wurde im Jahre 1998 begonnen. Es wurde damals damit gerechnet, dass die EN-Fassung des Eurocode 4, Teil 1-1 im Jahre 2001 vorliegen würde. Außer dem hier behandelten Eurocode 4, Teil 1-1 für den Entwurf von Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton wurde im Jahre 1997 die deutsche Fassung des Eurocode 4, Teil 1-2 veröffentlicht. Sie behandelt die Tragwerksbemessung für den Brandfall. Die Bearbeitung des Eurocode 4, Teil 2 für Verbundbrücken begann im Jahre 1995. Die englische Fassung wurde im Jahre 1998 veröffentlicht.

Die Einführung der Eurocodes hat dann aber mehr Zeit in Anspruch genommen. Da die europäischen Normen zunächst noch nicht eingeführt worden sind und die EN-Fassung für die Bemessung von Tragwerken in Beton zurückgezogen wurde, erfolgte im Jahr 2002 die Einführung der neuen nationalen Norm DIN 1045-1 für die Bemessung von Stahlbetontragwerken. Die bis dahin gültige DIN 1045 wurde endgültig zurückgezogen.

Dadurch bestand Handlungsbedarf für die Einführung eines neuen Regelwerkes im Stahlverbundbau, da die Verbundträgerrichtlinien nicht mehr kompatibel zur DIN 1045-1 waren. In den zuständigen Normungsgremien und Fachausschüssen wurde damals der Beschluss gefasst, den im Jahre 1999 veröffentlichten Gelbdruck von E DIN 18800-5 [35] nochmals grundlegend zu überarbeiten und an die endgültige Fassung des Eurocode 4 [31] anzupassen. Mit der Veröffentlichung der Fassung DIN V 18800-5:11-2004 [36] wurde somit für den Verbundbau eine vorzeitige Anpassung der nationalen Regelwerke an die zukünftigen europäischen Regelwerke vollzogen. Ebenso wie die europäischen Regelwerke bauten die ab 2002 eingeführten neuen nationalen Normen auf dem probabilistischen Teilsicherheitskonzept auf. Wegen der im Vergleich zum Gelbdruck vorgenommenen umfangreichen Änderungen wurde die Novemberfassung von DIN V 18800-5 zunächst als Vornorm veröffentlicht. Die Überführung in einen Weißdruck erfolgte im Rahmen eines „Kurzverfahrens“ noch im Jahr 2005. Mit der Einführung von DIN V 18800-5 wurden die auf dem globalen Sicherheitskonzept basierenden alten nationalen Regelwerke für Verbundkonstruktionen nach einer Übergangsphase von einem Jahr zurückgezogen. Drei Jahre später wurde die nationale Norm für den Stahlverbundbau als DIN 18800-5 [37] in die Musterliste der technischen Baubestimmungen aufgenommen. Die Regelungen für Brücken wurden in die DIN-Fachberichte überführt, [38] bis [41]. Im Jahre 2009 wurden die bis dahin vorliegenden Fassungen der DIN-Fachberichte nochmals überarbeitet und mit den 2004 bzw. 2005 veröffentlichten europäischen Regelwerken für Brückenbau abgeglichen, [42] bis [44]. DIN-Fachbericht 104 [41] war für die Bemessung und Konstruktion von Verbundbrückenbauwerken heranzuziehen.

DIN 18800-5 war inhaltlich nahezu identisch mit dem Entwurf des Eurocode 4. Dieser ist 2004 und zuletzt 2010 in deutscher Fassung als überarbeitete Version neu erschienen. Seit dem 1. Juli 2012 sind die Eurocodes in Deutschland bauaufsichtlich eingeführt [1] und verbindlich anzuwenden. Parallel zu der bauaufsichtlichen Einführung der EN-Fassungen als DIN-EN-Fassung erfolgte die Einführung der Nationalen Anhänge zu den Europäischen Normen. Für die Bemessung von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton ist ergänzend zu DIN-EN 1994-1-1 [1] das Nationale Anwendungsdokument DIN EN 1994-1-1/NA:2010-12 [2] zu berücksichtigen. Dieses Dokument wurde im NABau-Spiegelausschuss NA 005-08-99 AA „Verbundbau (Sp CEN/TC 250/SC 4)“ erstellt. Ein derartiges nationales Dokument ist erforderlich, da die Europäische Norm EN 1994-1-1 die Möglichkeit einräumt, eine Reihe von sicherheitsrelevanten

Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter werden als NDP (Nationally Determined Parameters, NDP) bezeichnet. Sie umfassen die Teilsicherheitsbeiwerte, Angaben einzelner Werte für im Eurocode enthaltene Nachweisverfahren sowie die Auswahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Darüber hinaus enthält der nationale Anhang ergänzende nicht widersprechende Angaben, die als NCI (Non-Contradictory Complementary Information) bezeichnet werden. Entsprechend enthält DIN EN 1994-1-1/NA nationale Festlegungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Verbundtragwerken und Verbundbauteilen, die bei der Anwendung von DIN EN 1994-1-1:2010-12 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

1.1.3.2 Zukünftige Entwicklung des Eurocode 4 – zweite Generation

Verantwortlich für die Eurocodes ist das Technische Komitee „CEN/TC 250 – Structural Eurocodes“, das dem Europäischen Komitee für Normung CEN (fr.: Comité Européen de Normalisation) zugehört. Dieses Komitee teilt sich in verschiedene Untergruppen (Sub-Tasks, SC) für die jeweiligen Eurocodes. Entsprechend ist das CEN/TC 250/SC 4 für Eurocode 4: „Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton“ zuständig.

Im Mai 2010 hat die Europäische Kommission (EC), Generaldirektion Unternehmen und Industrie (DG-ENTR) das Programm zum Mandat „M/466 EN CEN“ veröffentlicht. Das übergeordnete Ziel dieses Mandats ist die Initiierung der Weiterentwicklung der Eurocodes, basierend auf einem Validierungsprozess und einem Programm mit zehn vorrangigen Maßnahmen. Dabei wird angestrebt, die Anwendung der Eurocodes auf den nationalen Ebenen zu vereinfachen, neue Marktentwicklungen aufzunehmen und eine Anpassung an den Stand der Technik vorzunehmen. Zum damaligen Zeitpunkt stand die Einführung der Eurocodes für die Bemessung von Tragwerken im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) unmittelbar bevor. Das Mandat unterstreicht, dass eine nachhaltige Entwicklung des Eurocode-Programms erforderlich ist, um das Vertrauen der Nutzer in die Bemessungsnormen langfristig zu erhalten und die allgemeinen Ziele bezüglich Sicherheit sowie der Harmonisierung des Binnenmarktes dauerhaft zu sichern. Dabei soll der Entwicklungsprozess der Eurocodes technische und gesellschaftliche Anforderungen berücksichtigen [357]:

- Sicherstellung/Förderung innovativer Entwicklungen (in Bezug auf Materialien und Produkte, Bautechniken und Forschung); Gewährleistung, dass die Eurocodes aktuelle und nachhaltige Marktentwicklungen aufnehmen
- Berücksichtigung neuer gesellschaftlicher Anforderungen und Bedürfnisse
- Erleichterung der Harmonisierung nationaler technischer Initiativen zu neuen Themen, die für den Bausektor und die Bauindustrie von Interesse sind

Basierend auf den Erfahrungen des Marktes und der Bewertung im Hinblick auf Anwendbarkeit und Relevanz ist vorgesehen, dass zusätzliche Eurocodes oder wesentliche Ergänzungen zu den bestehenden Bemessungsnormen auf europäischer Ebene zu erstellen sind. Neue Eurocodes bzw. neue Teile der Eurocodes sollen dabei mindestens die folgenden Punkte abdecken [90]:

- Bewertung, Wiederverwendung und Sanierung bestehender Bauwerke,
- Bemessung von Tragwerken aus Glas,
- Bemessung von Tragwerken, die faserverstärkte Baustoffe enthalten,
- Bemessung von Membranstrukturen,
- Erweiterung der Regelungen hinsichtlich Robustheit der Bauwerke.

Die Weiterentwicklung der bestehenden europäischen Normen konzentriert sich vor allem auf [83]:

- Vereinfachung und Harmonisierung bestehender Regeln,
- Erarbeitung neuer Regeln gemäß zukünftiger Anforderungen,

- Reduzierung der nationalen Festlegungen (NDPs),
- Implementierung neuer Forschungsergebnisse,
- Integration von ISO-Normen in die Eurocodes (hier explizit genannt: Einwirkungen aus Wellen und Strömungen auf Küstenbauwerke oder atmosphärische Vereisung).

Das CEN antwortete auf das Mandat der EU im Juni 2011 und stimmte der Umsetzung zu. Im Dezember 2012 hat die Europäische Kommission (EC), Generaldirektion Unternehmen und Industrie (DG-ENTR) ein weiteres Mandat „M/515 EN CEN: Auftrag zur Änderung bestehender Eurocodes und zur Erweiterung des Gegenstands tragwerksrelevanter Eurocodes“ an das CEN vergeben. Dabei wird das CEN basierend auf der Antwort zum Mandat M/466 beauftragt, die Normung zu überarbeiten und die zweite Generation der Eurocodes zu entwickeln. Konkret soll dabei in Anlehnung an das o. g. Mandat M/466 Folgendes vom CEN geleistet werden [90]:

- die Erarbeitung neuer Normen oder neuer Teile bestehender Normen,
- die Einbeziehung neuer Leistungsanforderungen und Planungsverfahren,
- die Erarbeitung eines benutzerfreundlicheren Ansatzes in mehrere, bestehende Normen,
- die Erstellung eines technischen Berichts über die Anpassung der bestehenden Eurocodes und des neuen Eurocodes für Bauglas.

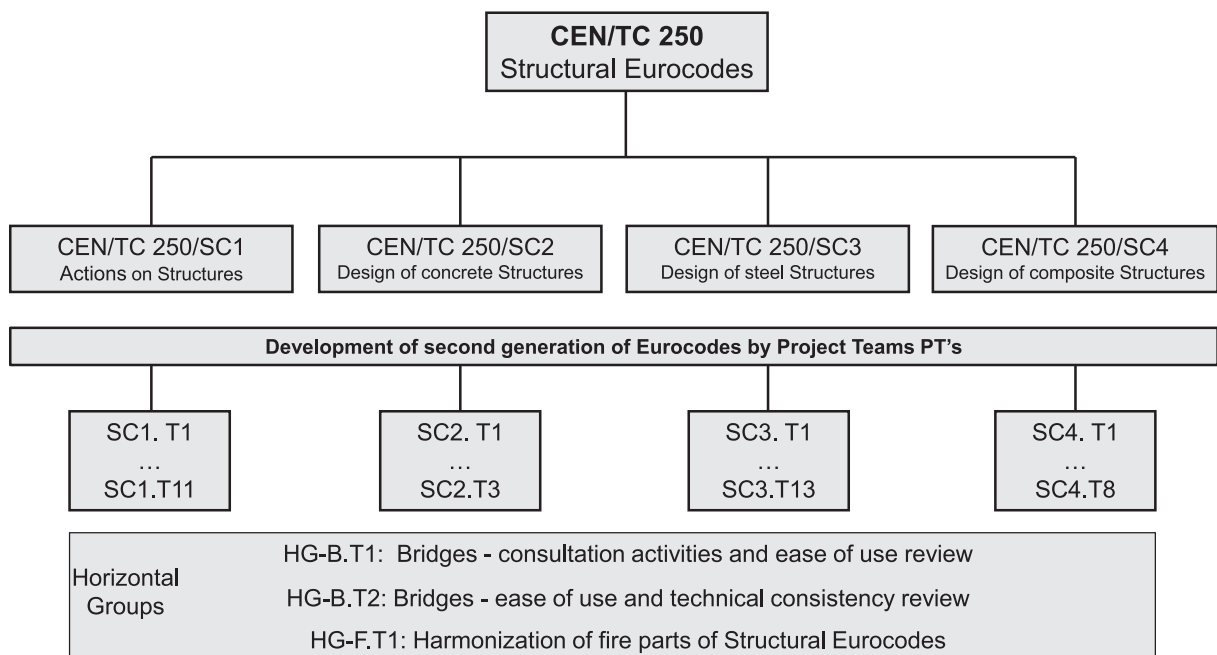


Bild 3: Struktur zur Überarbeitung der Eurocodes (hier für EC 1 bis EC 4 dargestellt)

Am 7. April 2015 startete das CEN mit dem Prozess zur Entwicklung der nächsten Generation der Eurocodes. Dies war der Beginn eines Arbeitsprogramms, das durch das technische Komitee CEN/TC250 infolge des Mandats M/515 [6] ausgearbeitet worden ist. Das Programm gliedert sich in vier sich überlappende Phasen mit 79 diskreten Aufgaben. Phase 1 des Werkes umfasst 29 Aufgaben, von denen vier den Eurocode 4 betreffen.

Die Aufgaben werden von Projektteams (SCi.Ti), bestehend aus einem Teamleiter und bis zu fünf weiteren Mitgliedern, durchgeführt. Die Mitglieder der Projektteams wurden durch ein Ausschreibungsverfahren ausgewählt und sind unter Vertrag bei der niederländischen Stiftung für Standardisierung (NEN), die das Programm im Auftrag von CEN verwaltet. Zusätzlich bestehen horizontale Arbeitsgruppen (HG-i.Ti) für Brücken und die Brandbemessung, die eine Vereinheitlichung der Bemessungsmodelle anstreben. Für die Erstellung neuer Teile der europäischen Normen für

Bauglas, faserverstärkte Baustoffe, Membranstrukturen und der Robustheit werden Arbeitsgruppen (WGi.Ti) eingerichtet. Bild 3 gibt eine Übersicht der bestehenden Struktur zur Überarbeitung der Eurocodes.

Bezogen auf Eurocode 4 werden die Hauptaufgaben (Tasks) durch die Projektteams entsprechend Tabelle 1 bearbeitet.

Tabelle 1: CEN/TC250/SC4 – Projektteams zur Entwicklung der zweiten Generation von Eurocode 4

Projekt-team	Phase	Aufgaben	
SC4.T1	1	• Überarbeitung von EN 1994-1-1, EN 1994-1-2 und EN 1994-2 • Berücksichtigung der Anforderungen aus der Industrie (Responds to Systematic Review) • Anpassung an den Stand der Technik • Vereinfachung, Klarstellung, Harmonisierung	
SC4.T2	1	• Erarbeitung eines Anhangs zur Bemessung von Stegöffnungen von Verbundträgern	
SC4.T3	1	• Ausarbeitung von Regelungen bzgl. des Mindestverdübelungsgrades von Verbundträgern bei äquidistanter Dübelanordnung • Ausarbeitung von Regelungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln in Kombination mit modernen (schlanken) Trapezblechprofilen	
SC4.T4	1	• Entwicklung eines neuen Anhangs H zu EN 1994-1-2 zur Bemessung von ausbetonierten Hohlprofilverbundstützen	
SC4.T5	2	• Entwicklung von Bemessungsregeln für Slim-Floor-Träger einschließlich der Anwendung von Betonfertigteilen	
SC4.T6	3	• Erstellung der Endfassung von EN 1994-1-1	• Einbindung der Ergebnisse der vorangehenden Phasen und Projektteams • Harmonisierung der Eurocodes • Berücksichtigung der Arbeit der Horizontal Groups H-G Bridges und H-G Fire
SC4.T7	3	• Erstellung der Endfassung von EN 1994-1-2	
SC4.T8	3	• Erstellung der Endfassung von EN 1994-2	

Bild 4 gibt einen Überblick der Zeitschiene bei der Einführung der Eurocodes in den letzten Jahren und für die aktuelle Überarbeitung der Eurocodes mit dem Ziel, im Zeitfenster bis 2025 die zweite Generation der europäischen Normen zu publizieren.

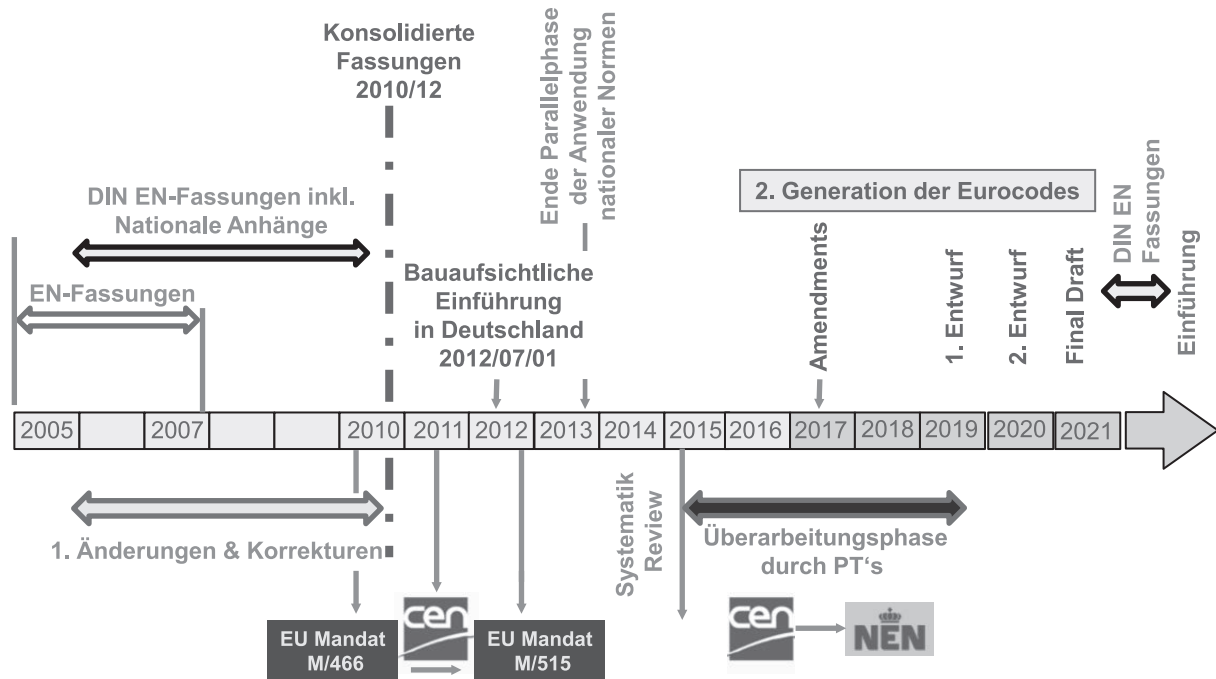


Bild 4: Zeitschiene, Einführung und Überarbeitung der Eurocodes

1.1.4 Inhalt und Gliederung der Norm

DIN EN 1994-1-1 [1] enthält zunächst ein nationales Vorwort, das den nationalen Status der Norm erläutert und hervorhebt. Es wird auch darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Norm in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang gilt. Ferner werden die maßgebenden Änderungen gegenüber den vorhergehenden Versionen der DIN EN 1994-1-1 [1], im speziellen DIN V EN 1994-1-1:1994-02 [33] und DIN EN 1994-1-1:2006-07 [31] mit der Berichtigung 1:2009-12 und DIN 18800-5:2007-03 angegeben. Textstellen mit Änderungen und Druckfehlerberichtigungen werden in der Norm mit „AC“ (AC: Corrigendum) gekennzeichnet.

Im Vorwort verweist DIN EN 1994-1-1 auf die Zuständigkeit des CEN/TC 250 und unterstreicht, dass das Dokument dem Status einer nationalen Norm entspricht. Es folgt die Beschreibung hinsichtlich des Hintergrunds für das Eurocode-Programm, s. a. Abschnitt 1.1.3.1. Es folgen Ausführungen zu Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes, zu den nationalen Fassungen der Eurocodes mit der Definition der NDPs und Hinweise zur Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETA). Abschließend werden besondere Hinweise speziell zu EN 1994-1-1 und dem nationalen Anhang zur EN 1994-1-1 gegeben. Dabei werden alle Abschnitte genannt, die national festgelegte Parameter (National Determined Parameters – NDPs) enthalten, s. a. Abschnitt 1.2.2.

Der Inhalt von DIN EN 1994-1-1 gliedert sich entsprechend Bild 5. Im ersten Kapitel werden der Anwendungsbereich und die allgemeinen und weiteren normativen Verweisungen (Bezugsnormen) aufgeführt, gefolgt von der Definition der Begriffe (Bezeichnungen) und Formelzeichen. Im zweiten Kapitel folgen die Grundlagen der Tragwerksplanung mit dem Verweis auf die Anforderungen gemäß DIN EN 1990 [6]. Dabei wird insbesondere darauf hingewiesen, dass für Verbundtragwerke die maßgebenden Beanspruchungszustände infolge der Belastungsgeschichte zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus wird auf die Basisvariablen in Bezug auf die Einwirkungen, Werkstoff- und Produkteigenschaften sowie die Klassifizierung der Einwirkungen eingegangen, letzteres auch bezogen auf Beanspruchungen aus Schwinden und Temperatur. Ebenfalls in diesem Kapitel enthalten ist die Erläuterung der Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten.

DIN EN 1994-1-1: Eurocode 4-1-1 (2012)

1	Allgemeines
2	Grundlagen der Tragwerksplanung
3	Werkstoffe
4	Dauerhaftigkeit
5	Tragwerksberechnung
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit
7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit
8	Verbundanschlüsse in Tragwerken des Hochbaus
9	Verbunddecken mit Profilblechen für Tragwerke des Hochbaus
Anhang A: Steifigkeit der Grundkomponenten von Verbundanschlüssen	
Anhang B: Experimentelle Untersuchungen	
Anhang C: Berücksichtigung des Schwindens	

Bild 5: Inhalt EN 1994-1-1 (Eurocode 4)

Das dritte Kapitel regelt die Werkstoffe Beton, Betonstahl, Baustahl, Verbindungs- und Verbundmittel sowie die Profilbleche für Verbunddecken in Tragwerken des Hochbaus. Da die Eigenschaften von Beton, Betonstahl sowie Baustahl bereits in den Eurocodes 2 und 3 (DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1993-1-1) enthalten sind, wird auf diese Bezugsnormen verwiesen. DIN EN 1994-1-1 enthält keine eigenen Regelungen für diese Baustoffe, jedoch Einschränkungen und besondere Hinweise für die Berechnung und Verwendung.

Kapitel 4 behandelt die Dauerhaftigkeit und verweist dabei im Wesentlichen auf die Dauerhaftigkeitsanforderungen an Beton und Betonstahl in DIN EN 1992-1-1 und für Baustahl gemäß DIN EN 1993-1-1 sowie DIN EN 1990. Für die Profilbleche wird auf EN 10326 verwiesen, ferner wird eine Mindestdicke für die Zinkbeschichtung von Profilblechen für Verbunddecken definiert.

Kapitel 5 setzt sich mit den Grundlagen der Tragwerksplanung auseinander. Diese umfassen die Idealisierung des Tragsystems, die globale Tragwerksberechnung, Imperfektionen, Verfahren für die Ermittlung der Schnittgrößen, hier insbesondere die Definition der mittragenden Breiten, die Erfassung des Einflusses der Rissbildung sowie die Berücksichtigung der Einflüsse aus Kriechen und Schwinden. Ferner werden im Kapitel 5 die Einflüsse aus der Belastungsgeschichte und spezielle Regelungen für Einwirkungen aus Temperatur behandelt. Ebenfalls werden die Randbedingungen zur Klassifizierung der Querschnitte angegeben, da sowohl die Verfahren der Schnittgrößenermittlung als auch die Bemessung von der Einstufung in die Querschnittsklassen abhängig sind.

Die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Verbundträger und Verbundstützen wird in Kapitel 6 behandelt. Dabei werden vorangehend die in DIN EN 1994-1-1 geregelten Querschnittsformen sowie die erforderlichen Nachweise festgelegt. Der Abschnitt umfasst die Bemessung für Biegung, Querkraft, Interaktionsnachweise, Nachweise der Längsschubtragfähigkeit, Stabilitätsnachweise, Nachweise der Lasteinleitung, bauliche Durchbildung und die Ermüdungsnachweise.

Das anschließende Kapitel 7 behandelt die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bezüglich der Begrenzung von Spannungen, der Verformungsbegrenzung sowie der Beschränkung der Rissbreite.

Verbundanschlüsse in Tragwerken des Hochbaus werden in Kapitel 8 behandelt. Dabei verweist DIN EN 1994-1-1 [1] vor allem auf die Regelungen von DIN EN 1993-1-8 [26]. Eurocode 3 Teil 1-8 regelt die Bemessung von Anschlüssen im Stahlbau. Die über die Regelungen der Stahlbaunormung hinausgehenden Anschlusskomponenten, explizit die zugbeanspruchte Längsbewehrung sowie die Stahlbetonkomponenten, werden in Kapitel 8 eingehender aufgeführt. In den zuvor genannten Kapiteln 6 und 7 werden ausschließlich Verbundträger und Verbundstützen behandelt. Die erforderlichen Nachweise für Verbunddecken werden für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit in Kapitel 9 geregelt.

DIN EN 1994-1-1 enthält im Weiteren drei informative Anhänge:

- Anhang A: Steifigkeit der Grundkomponenten von Verbundanschlüssen
- Anhang B: Experimentelle Untersuchungen
- Anhang C: Berücksichtigung des Schwindens des Betons bei Tragwerken des Hochbaus

Anhang A behandelt die Bestimmung der Steifigkeit der Grundkomponenten von Verbundanschlüssen für zugbeanspruchte Längsbewehrung, druckbeanspruchte Kontaktstücke und einbetonierte Stege von Stützenquerschnitten. Ebenfalls kann nach diesem Anhang der Einfluss der Nachgiebigkeit in der Verbundfuge berücksichtigt werden. Der Anhang stellt eine Ergänzung zu DIN EN 1993-1-8 dar. Anhang A besitzt gemäß DIN EN 1994-1-1/NA in Deutschland einen normativen Status.

Im Gegensatz zu der früheren nationalen Norm DIN 18800-5 ist in DIN EN 1994-1-1 auch die Bemessung auf der Grundlage von Versuchen in Anhang B geregelt. In den ehemaligen nationalen Normen war dies bewusst ausgelassen, da national die Angaben zur Ermittlung der Längsschubtragfähigkeit von Verbunddecken sowie die Tragfähigkeiten für spezielle Verbundmittel in bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt waren. DIN EN 1994-1-1 regelt experimentelle Untersuchungen zu Verbundmitteln und Verbunddecken in Anhang B. Dieser Anhang ist jedoch gemäß dem nationalen Anwendungsdokument DIN EN 1994-1-1/NA [2] nur informativ zu verstehen, s. a. Abschnitt 1.2.2. Diese Regelungen für experimentelle Untersuchungen wurden in DIN EN 1994-1-1 [1] aufgenommen, da bis dato keine Richtlinie für Europäische Zulassungen (ETA) existiert. Mit der Einführung derartiger Richtlinien verliert Anhang B seine Gültigkeit. Da in Deutschland nur die Anwendung von Bauprodukten mit einer entsprechenden nationalen bauaufsichtlichen Zulassung bzw. europäisch technischen Zulassungen (ETA) appliziert wird, bildet Anhang B die Grundlage für die Festlegung von Bemessungswerten für Verbundmittel und Verbunddecken im Rahmen der Erarbeitung besonderer technischer Regeln (europäische oder nationale bauaufsichtliche Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1).

Anhang C gibt Endschwindmaße für die Berücksichtigung des Schwindens des Betons bei Tragwerken des Hochbaus an. Dabei werden vier verschiedene Werte angegeben, einmal für trockene Umgebungsbedingungen für Normal- und Leichtbeton und für andere Umweltbedingungen sowie für betongefüllte Hohlprofile jeweils für Normal- und Leichtbeton. Dieser stark vereinfachte Ansatz zur Bestimmung der Schwindwerte soll eine Erleichterung bei der Bestimmung der Endschwindmaße darstellen. Allerdings ist festzustellen, dass die Endschwindmaße nach Anhang C teilweise erheblich von den nach DIN EN 1992-1-1 [14] ermittelten Werten abweichen, s. a. Abschnitt 3.1. Dies liegt u. a. daran, dass das Verhältnis der Betonquerschnittsfläche zu der den Umgebungsbedingungen direkt ausgesetzten Betonoberfläche nicht berücksichtigt wird. Für das Schwinden sind jedoch die Massigkeit eines Bauteils ebenso wie die Abschottung der Betonoberfläche durch ein Verbundblech von Bedeutung. Ferner werden in Anhang C weder die Betonfestigkeitsklasse noch die Zementgüte variiert werden. In Deutschland ist Anhang C mit seinem stark vereinfachten Ansatz zur Ermittlung der Endschwindmaße nicht anzuwenden, hier gelten die Verfahren nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.1.4 und Anhang B.

Im Hochbau sind in den letzten Jahren bei teilweise vorgefertigten Verbundträgern und Flachdecken mit integrierten Stahlprofilen Kopfbolzendübel in horizontaler Lage eingesetzt worden, bei denen in Dickenrichtung des Gurtes Spaltzugkräfte entstehen. Bei kleinen Randabständen der Dübel ergibt sich im Vergleich zu Dübeln in vertikaler Position, bei denen die Spaltzugkräfte in Gurtquerrichtung (Scheibenbeanspruchungen) wirken, eine abgeminderte Dübeltragfähigkeit. Für diesen Sonderfall der Dübeltragfähigkeit werden die Bemessungswerte der Tragfähigkeit im normativen Anhang C der DIN EN 1994-2 [4] angegeben. DIN EN 1994-1-1 für die Bemessung von Verbundtragwerken des Hochbaus enthält dazu keine eigenen Regelungen.

1.2 Normative Verweise, Nationale Anwendungsdokumente und NDPs

1.2.1 Normative Verweise

Als Bezugsnormen verweist DIN EN 1994-1-1 hinsichtlich der Grundlagen der Tragwerksplanung auf DIN EN 1990 [6], für die Einwirkungen auf DIN EN 1991 mit den verschiedenen Teilen, für den Beton auf die EN 1992-1-1, für den Stahl auf EN 1993, Teile 1-1, 1-3, 1-5, 1-8 und 1-9 sowie auf die DIN EN 10025, Teile 1 bis 6. Darüber hinaus auf die EN 10149, Teile 2 und 3, und auf Europäische Technische Bewertung ETAs für die verschiedenen Produkte. Hinsichtlich der brandschutztechnischen Bemessung ist darüber hinaus DIN EN 1994-1-2 anzuwenden. Zusätzlich sind jeweils die nationalen Anwendungsdokumente zu berücksichtigen.

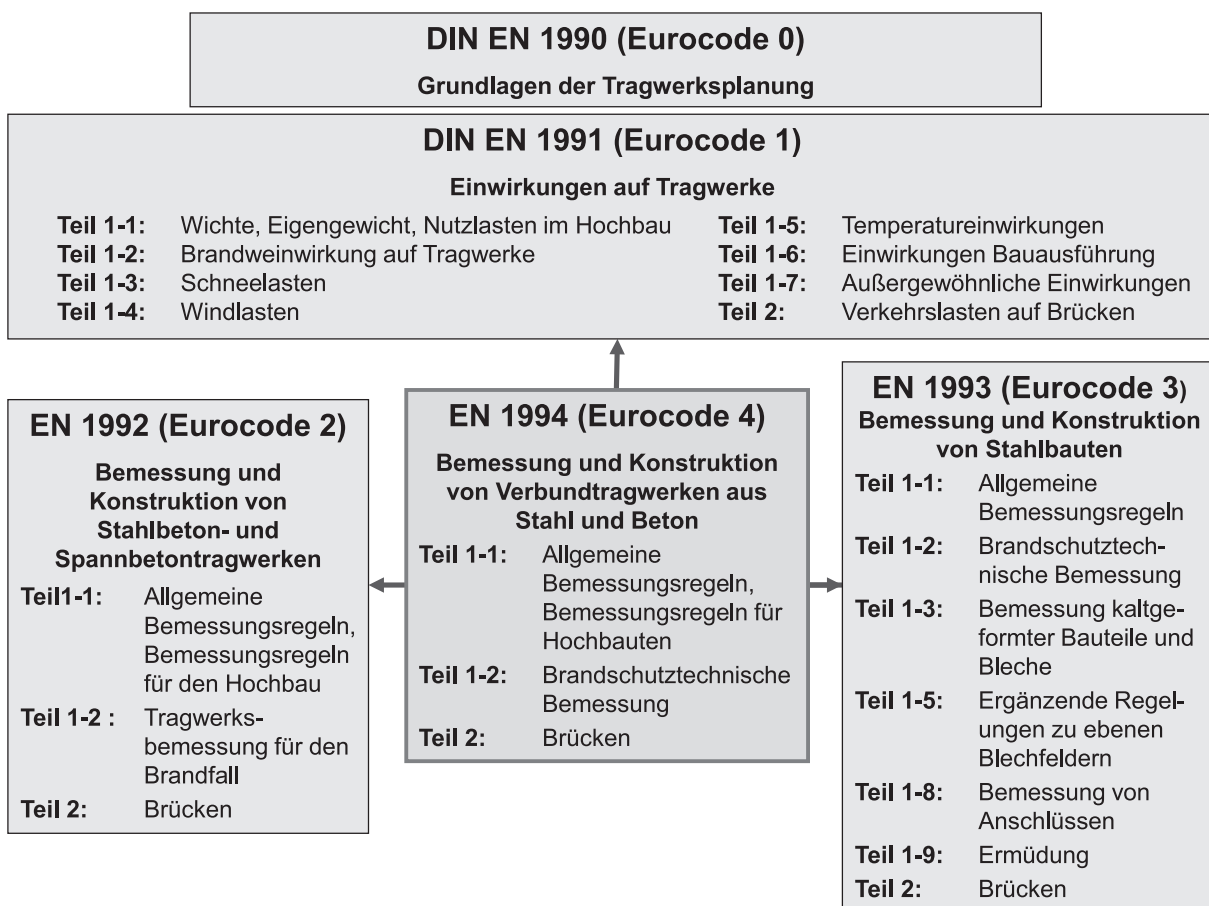


Bild 6: In Deutschland eingeführte europäische Regelwerke für Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton und die wichtigsten Bezugsnormen

Neben den Bemessungsnormen gelten für Stahlbauteile die DIN EN 1090-2 [66] bezüglich der Herstellung und Montage von Stahlbauten sowie für die Materialeigenschaften die Regelwerke der Normenreihe DIN EN 10025, [67] bis [70]. Für die Stahlsortenauswahl im Hinblick auf die Bruchzähigkeit und das Verhalten in Dickenrichtung ist DIN EN 1993-1-10 [29] zu beachten.

1.2.2 Nationales Anwendungsdokument und NDPs

Für alle europäischen Normen für die Bemessung und Ausführung im Bauwesen ist der gleiche Aufbau festgelegt worden. Dieser wird charakterisiert durch die nationale EN-Fassung (z. B. DIN-EN) einschließlich den normativen oder informativen Anhängen. Parallel dazu sind die Nationalen Anhänge gültig, siehe Bild 7. Die in Deutschland bauaufsichtlich eingeführten DIN EN-Fassungen der Eurocodes gelten immer im Zusammenhang mit den entsprechenden Nationalen Anhängen (NA). Die Nationalen Anhänge enthalten im Wesentlichen:

- Vorschriften zur Verwendung der informativen Anhänge; z. B. Anwendungsbereich des nationalen Anhangs,
- national festzulegende Parameter (NDP: Nationally Determined Parameter), umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, z. B. Teilsicherheitsbeiwerte,
- ergänzende, nicht widersprechende Angaben (NCI: *Non-contradictory Complementary Information*),
- landesspezifische Daten, z. B. für Eurocode 1 ergänzende Informationen bzgl. Schnee- oder Windzonenkarten.

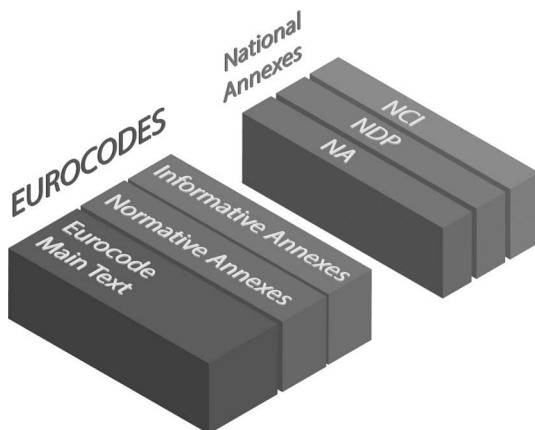


Bild 7: Struktur und Aufbau der Eurocodes in Verbindung mit dem Nationalen Anhang

DIN EN 1994-1-1/NA [2] grenzt zunächst den Anwendungsbereich ab (NA 1) und definiert nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1994-1-1:2010-12 [1]. Es folgen die NCIs und NDPs. Insgesamt enthält der Nationale Anhang fünf „non-contradictory complementary informations“, dies sind zum Beispiel die Verweise auf die DIN-Fassungen der verschiedenen Bemessungsnormen anstelle der Verweise auf die EN-Fassungen (NCI zu 2.1). Im Weiteren wird der Vergrößerungsfaktor α für die Vorverdrehungen nach DIN EN 1993-1-1 [11], Abschnitt 5.3.2 definiert, bei dessen Anwendung der Einfluss der Belastungsgeschichte auf die aus den Imperfektionen resultierenden Beanspruchungen vernachlässigt werden darf (NCI zu 5.4.2.4(1)). Das NCI zu Abschnitt 6.7.2(1)P der DIN EN 1994-1-1 erläutert die Vorgehensweise beim dem allgemeinen Bemessungsverfahren für Verbundstützen und gibt ergänzende Informationen, sodass der Normentext und die Anwendung verständlicher werden. Diesbezüglich wird auf Abschnitt 6.7.1 und Bild 167 verwiesen. Ferner erläutert das NCI zu Abschnitt 6.7.3.3(4) die Ermittlung der Kriechzahl für betongefüllte Hohlprofilverbundstützen, s. a. Bild 187. Bezüglich des Abschnitts 6.8.3.6 der DIN EN 1994-1-1 stellt das zugehörige NCI klar, dass Verbundstützen mit ausbetonierten, geschweißten Kastenquerschnitten in die Knickspannungslinie b einzustufen sind.

In verschiedenen Abschnitten der Eurocodes werden Beiwerte und Berechnungsparameter empfohlen, die teilweise in den Nationalen Anhängen (NA) abweichend definiert werden. Diese national festgelegten Parameter werden als *National Determined Parameter* NDP bezeichnet und sind für die Bemessung national bindend. Grundsätzlich widersprechen die Festlegungen solcher nationalen Parameter der Grundidee einer europaweit harmonisierten Bemessungsnorm. Jedoch besteht im Rahmen dieser nationalen Dokumente die Möglichkeit, länderspezifischen Anforderungen gerecht zu werden und so Anpassungen vorzunehmen. Die Anzahl der NDPs in den drei Teilen der EN 1994 ist relativ übersichtlich. DIN EN 1994-1-1 [1] enthält insgesamt 20 Verweise auf NDPs, davon betreffen allein elf die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die national festgelegten Parameter in DIN EN 1994-1-1/NA [2].

Tabelle 2: National festgelegte Parameter NDPs in EN 1994-1-1

Nummer	Abschnitt	Betreff	EN 1994-1-1 (empfohlener Wert)	DIN EN 1994-1-1/NA (national verbindlich)
1	2.4.1.1 (1)	Teilsicherheitsbeiwert für Spannstahl γ_P <i>DIN EN 1994-1-1/NA: Für ungünstige Auswirkungen gilt $\gamma_P = 1,1$ und für günstige Auswirkungen $\gamma_P = 1,0$.</i>	1,00	1,1/1,0
2	2.4.1.2 (5)	Teilsicherheitsbeiwert für γ_V für Verbundmittel, <i>DIN EN 1994-1-1 übersetzt „γ_V für Kopfbolzendübel“</i>	1,25	s. a. 6.6.3.1(1)
3	2.4.1.2 (6)	Teilsicherheitsbeiwert für die Längsschubkrafttragfähigkeit von Verbunddecken γ_{VS}	1,25	1,25 ¹⁾
4	2.4.1.2 (7)	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit von schubbeanspruchten Kopfbolzendübeln $\gamma_{Mf,s}$ <i>DIN EN 1994-1-1/NA: Für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} gilt DIN EN 1993-1-9 unter Berücksichtigung von DIN EN 1993-1-9/NA. Für Kopfbolzendübel ist der Wert $\gamma_{Mf,s} = 1,25$ zu verwenden.</i>	1,00	1,25
5	3.1 (4)	Endschwindmaße EN 1994-1-1: Die empfohlenen Werte nach Anhang C <i>DIN EN 1994-1-1/NA: Werte nach DIN EN 1992-1-1</i>	Annex C for buildings	Werte nach DIN EN 1992-1-1
6	3.5 (2)	Profilbleche für Verbunddecken, Minstdicke des Bleches	0,7	0,7
7	6.4.3 (1)	Biegedrillknicken, vereinfachter Nachweis ohne direkte Berechnung	–	2)
8	6.6.3.1 (1)	Teilsicherheitsbeiwert für γ_V für Kopfbolzendübel im Fall des Betonversagens	1,25	1,5
9	6.6.3.1 (3)	Anordnung der Dübel so, dass Spaltzugkräfte in Gurt-dickenrichtung auftreten	–	3)
10	6.6.4.1 (3)	Profilbleche mit Rippen parallel zur Trägerachse, Regelungen zur Verbindung der Profilbleche mit dem Träger	–	4)
11	6.8.2 (1)	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit $\gamma_{Mf,s}$ für Kopfbolzendübel	1,0	1,25 ⁵⁾

Nummer	Abschnitt	Betreff	EN 1994-1-1 (empfohlener Wert)	DIN EN 1994-1-1/NA (national verbindlich)
12	6.8.2	Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Ermüdung Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Ff} für die verschiedenen Arten von Ermüdungsbelastungen	–	6)
13	9.1.1 (2)P	Verbunddecken, Begrenzung der Anwendung auf gedrungene Rippengeometrie Eine gedrungene Rippengeometrie wird durch einen oberen Grenzwert für das Verhältnis b_r/b_s definiert.	0,6	0,6
14	9.6 (2)	Verbunddecken, Durchbiegungen infolge des Blecheigen- gewichts und des Frischbetons dürfen den Grenzwert $\delta_{s,max}$ nicht überschreiten	L/180	L/180
15	9.7.3 (4)	Teilsicherheitsbeiwert für die Längsschubkrafttragfähigkeit von Verbunddecken γ_{VS}	1,25	1,25 ⁷⁾
16	9.7.3 (8)	Teilsicherheitsbeiwert für die Längsschubkrafttragfähigkeit von Verbunddecken γ_{VS} <i>Anmerkung 1: Es gilt die Regelung zu 2.4.1.2(6) dieses Nationalen Anhanges.</i>	1,25	1,25 ⁸⁾
17		<i>Anmerkung 2: Die Längsschubtragfähigkeit $\tau_{u,Rd}$ ist beson- deren technischen Regeln (europäische oder nationale bauaufsichtliche Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1) zu entnehmen.</i>		
18	9.7.3 (9)	Reibungskoeffizienten für Verbundbleche μ	0,5	9)
19	Annex A	(informativer Anhang): Steifigkeit der Grundkomponenten von Verbundanschlüssen bei Tragwerken des Hochbaus	–	Anhang A hat einen normativen Status
20	Anhang B	(informativer Anhang): Experimentelle Untersuchungen	–	10)
21	Annex B.2.5 (1)	(informativer Anhang): Experimentelle Untersuchungen, Versuchsauswertung Push-out-Tests, Teilsicherheits- beiwert für die Verdübelung γ_V	1,25	11)
22	Annex B.3.6 (5)	(informativer Anhang): Experimentelle Untersuchungen, Versuchsauswertung für Verbunddecken, Teilsicherheits- beiwert γ_{VS}	1,25	12)
23	Annex C	(informativer Anhang): Berücksichtigung des Schwindens des Betons bei Tragwerken des Hochbaus	–	Anhang C ist nicht anzuwen- den

Nummer	Abschnitt	Betreff	EN 1994-1-1 (empfohlener Wert)	DIN EN 1994-1-1/NA (national verbindlich)
1) DIN EN 1994-1-1/NA: Es gilt der empfohlene Wert, wenn nicht in anderen besonderen technischen Regeln (z. B. europäische oder nationale Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1) abweichende Angaben enthalten sind. 2) DIN EN 1994-1-1/NA gibt eine detailliertere Tabelle mit Differenzierung zwischen IPE, HEA und HEB Profilen an. 3) DIN EN 1994-1-1/NA verweist auf 1994-2:2010-12, 6.6.4 und DIN EN 1994-2:2010-12, Anhang C. 4) DIN EN 1994-1-1/NA: Es dürfen nur Befestigungsmittel verwendet werden, wenn ihre Verwendung in besonderen technischen Regeln unter Bezugnahme auf diese Norm geregelt ist. 5) DIN EN 1994-1-1/NA: Es gilt die Regelung zu 2.4.1.2(7) dieses Nationalen Anhanges. 6) DIN EN 1994-1-1/NA: Es gilt DIN EN 1993-1-9 unter Berücksichtigung von DIN EN 1993-1-9/NA und DIN EN 1992-1-1 unter Berücksichtigung von DIN EN 1992-1-1/NA. 7) DIN EN 1994-1-1/NA zu Anmerkung 1: Es gilt die Regelung zu 2.4.1.2(6) dieses Nationalen Anhanges. DIN EN 1994-1-1/NA zu Anmerkung 2 und 3: Die Werte m und k sind besonderen technischen Regelungen (europäischen oder nationalen bauaufsichtlichen Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1) zu entnehmen. 8) DIN EN 1994-1-1/NA zu Anmerkung 1: Es gilt die Regelung zu 2.4.1.2(6) dieses Nationalen Anhanges. DIN EN 1994-1-1/NA zu Anmerkung 2: DIN EN 1994-1-1/NA zu Anmerkung 2: Die Längsschubtragfähigkeit $\tau_{u,Rd}$ ist besonderen technischen Regeln (europäische oder nationale bauaufsichtliche Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1) zu entnehmen. 9) DIN EN 1994-1-1/NA: Die Längsschubtragfähigkeit $\tau_{u,Rd}$ ist besonderen technischen Regeln (europäische oder nationale bauaufsichtliche Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1) zu entnehmen. 10) DIN EN 1994-1-1/NA: Der Anhang B hat einen informativen Status. Er bildet die Grundlage für die Festlegung von Bemessungswerten für Verbundmittel und Verbunddecken im Rahmen der Erarbeitung besonderer technischer Regeln (europäische oder nationale bauaufsichtliche Zulassungen auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1). 11) DIN EN 1994-1-1/NA: Der Teilsicherheitsbeiwert ist nach DIN EN 1990:2010-12, Anhang D zu ermitteln. 12) DIN EN 1994-1-1/NA: Der Teilsicherheitsbeiwert ist nach DIN EN 1990:2010-12, Anhang D zu ermitteln.				

1.3 Annahmen

Der Entwurf von Verbundkonstruktionen auf der Grundlage des Eurocode 4 sowie die Ausführung entsprechend DIN EN 1992-1 und DIN EN 1090 setzt voraus, dass ausreichend qualifiziertes Personal sowohl bei der Tragwerksplanung als auch bei der Fertigung und bei der Fertigungsüberwachung eingesetzt wird. Ferner muss vorausgesetzt werden, dass das Tragwerk entsprechend der im Entwurf festgelegten Nutzungsbedingungen auch genutzt wird und eine ausreichende und sachgerechte Instandhaltung während der Lebensdauer gegeben ist. Bei der Nutzung ist dabei insbesondere von Bedeutung, dass die nach DIN EN 1991 angesetzten Einwirkungen die tatsächliche Nutzung abdecken und in Sonderfällen, in denen die Einwirkungen vom Bauherrn festgelegt werden, keine nennenswerten Abweichungen auftreten. Verbundkonstruktionen zeichnen sich oft durch ihre hohe Schlankheit aus. Bei derartigen Randbedingungen kann die Schwingungsanfälligkeit im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit und die Materialermüdung von Bedeutung sein. Insbesondere wenn die Lasten projektspezifisch vom Bauherrn festgelegt werden, ist auf eine genaue Spezifikation im Hinblick auf eine ausreichend genaue Beschreibung des dynamischen Aspektes zu achten. Eine wesentliche Voraussetzung ist ferner, dass die verwendeten Baustoffe den Vorgaben der jeweiligen Eurocodes entsprechen. Weitere wesentliche Voraussetzungen können den entsprechenden Abschnitten 1.3 in DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1993-1-1 sowie DIN EN 1990 entnommen werden.

1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln

Die Eurocodes unterscheiden bei den Regelungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln. Im Normentext wird diese Unterscheidung durch Kennzeichnung der Prinzipien durch Absatzklammern und dem zusätzlichen Buchstaben P. Prinzipien enthalten allgemeine Festlegungen und Grundsätze sowie Festlegungen von Begriffen. Von den allgemeinen Festlegungen und Bemessungsgrundsätzen darf bei der Anwendung nicht abgewichen werden, da ansonsten das gesamte Sicherheitskonzept des jeweiligen Eurocodes nicht mehr gilt. Die Prinzipien enthalten insbesondere Anforderungen an die Tragwerksidealisierung und die zu verwendenden Rechenmodelle. In Einzelfällen werden bezüglich der Rechenmodelle auch Alternativen genannt. Ein typisches Beispiel von Prinzipien bei der Tragwerksidealisierung ist die Festlegung, dass bei der Schnittgrößenermittlung von Verbundträgern die Einflüsse aus der Rissbildung im Beton, die Einflüsse aus dem Kriechen sowie bei einer nichtlinearen Berechnung auch die Einflüsse aus der Nachgiebigkeit der Verdübelung zu berücksichtigen sind.

Die Anwendungsregeln sind in der Fachwelt allgemein anerkannte Regelungen, die die Grundsätze und Anforderungen der Prinzipien erfüllen und ein entsprechendes Sicherheitsniveau sicherstellen. Die Anwendungsregeln werden im Normentext durch Absatzklammern gekennzeichnet. Abweichende Anwendungsregeln sind zulässig, wenn nachgewiesen werden kann, dass sie mit den maßgebenden Prinzipien übereinstimmen und im Hinblick auf die Bemessungsergebnisse bezüglich der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit, die bei Anwendung der Eurocodes erwartet werden, mindestens gleichwertig sind. Eine Abweichung ist z. B. dann zulässig, wenn auf eine auf der Grundlage der Eurocodes erteilte bauaufsichtliche Zulassung zurückgegriffen werden kann oder wenn ein wissenschaftlich begründetes genaueres Berechnungsmodell z. B. im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall verwendet wird.

1.5 Bezeichnungen, Begriffe und Definitionen

1.5.1 Bezeichnungen

DIN EN 1994-1-1:2010-12 [1] verwendet als Bezugsnormen für den Stahlbau die Teile 1-1, 1-3, 1-5, 1-8 und Teil 1-9 [20], [23], [25], [26], [27] und für den Massivbau DIN EN 1992-1-1 [14]. Hinsichtlich des Sicherheitskonzeptes wird auf DIN EN 1990 [6] verwiesen. Durch die europäische Harmonisierung der Bemessungsnormen kann weitestgehend normenübergreifend auf gleiche Bezeichnungen, Formelzeichen und Indizes rekuriert werden. Ferner erhalten physikalische Kenngrößen, Festigkeiten und Querschnittskenngrößen einen zusätzlichen Index, wenn sie sich auf die einzelnen Baustoffe beziehen.

Bei der Erarbeitung der Norm ergab sich die Schwierigkeit, dass teilweise in Eurocode 2 und Eurocode 3 gleiche Indizes für unterschiedliche Bezüge verwendet werden. So charakterisiert beispielsweise in Eurocode 2 die Bezeichnung f_y den Wert der Streckgrenze für Betonstahl, während in Eurocode 3 parallel mit der gleichen Bezeichnung der Wert der Streckgrenze des Baustahls beschrieben wird. Da in Eurocode 4 beide Baustoffe gleichzeitig verwendet werden, ist eine Klarstellung bzw. neue Definition der Bezeichnungen erforderlich, auch wenn dies zu einer Abweichung gegenüber den Bezugsnormen führt. Es wird in DIN EN 1994-1-1 der Index „a“ für Baustahl, „c“ für Beton, „s“ für Betonstahl und „p“ für Spannstahl sowie „yp“ für Profilbleche verwendet. Diese Indizes werden auch für die Bezeichnung der Teilschnittgrößen der einzelnen Querschnittsteile verwendet. Ferner werden neue Bezeichnungen für die Elemente und Spezifikationen des Verbundbaus eingeführt und weitere Indizes bezüglich der Verbundtragfähigkeit definiert. Die Bezeichnungen und Formelzeichen werden in DIN EN 1994-1-1, Abschnitt 1.5 und 1.6 vorab definiert. Dabei werden teilweise Bezeichnungen mehrfach verwendet; so steht beispielsweise h_c sowohl für die Bezeichnung der Betongurtdicke einer Vollbetonplatte bzw. der Gesamtstärke des Betongurtes einschließlich der Profilblechhöhe und des Aufbetons (s. a. Abschnitt 6) als auch für die Aufbetonhöhe oberhalb des Profilbleches (s. a. Abschnitt 9).

1.5.2 Begriffe und Definitionen

Auf die wichtigsten im Eurocode 4 enthaltenen Definitionen wird nachfolgend eingegangen.

1. **Verbundbauteil (composite member):** *Tragendes Bauteil, dessen Elemente aus Beton und warmgewalztem oder kaltverformtem Baustahl bestehen, und bei dem Verbundmittel den Schlupf und die Trennung der Einzelelemente Stahl und Beton begrenzen.* Zur Abgrenzung gegenüber dem Massivbau müsste hier noch ergänzt werden, dass die Stahlbauteile eine nicht zu vernachlässigende Eigenbiegesteifigkeit aufweisen müssen. Vor diesem Hintergrund fallen z. B. unter einen Betonquerschnitt gedübelte Flachbleche wegen der fehlenden Eigenbiegesteifigkeit nicht in den direkten Anwendungsbereich des Eurocode 4.
2. **Verdübelung (shear connection):** *Verbindung zur Übertragung der Längsschubkräfte zwischen Beton und Stahl eines Verbundbauteils mit ausreichender Tragfähigkeit und Steifigkeit, die es erlaubt, die beiden Komponenten als ein tragendes Bauteil zu bemessen.* Mit den im Eurocode 4 geregelten Verbundmitteln ist die o. g. Voraussetzung immer erfüllt. Bei Verwendung von neuen Verbundmitteln ist stets gesondert zu prüfen, ob die Anforderungen des Eurocodes erfüllt werden. Dies gilt insbesondere auch bezüglich der Verformungskapazität der Dübel bei Anwendung von Nachweisverfahren mit plastischer Umlagerung der Längsschubkräfte und gegebenenfalls auch bezüglich der Ermüdungsfestigkeit bei Tragwerken unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung.
3. **Verbundtragwirkung (composite action):** *Tragverhalten, wenn die Verbundwirkung nach dem Erhärten des Betons wirksam wird.* Bezüglich der Verbundtragwirkung ist insbesondere im Rahmen der Tragwerksplanung die Frage der Herstellung des Verbundes in einem Alter früher als 28 Tage von Bedeutung. In diesen Fällen sind in den entsprechenden Bauzuständen zusätzliche Untersuchungen erforderlich. Dies gilt insbesondere bei Tragwerken unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung, weil eine frühe Vorschädigung zu einer Reduzierung der Ermüdungsfestigkeit führen kann.
4. **Verbundträger (composite beam):** *Überwiegend auf Biegung beanspruchtes Verbundbauteil.* Bezüglich der Eigenbiegesteifigkeit des Stahlquerschnitts wird auf Punkt 1 verwiesen. Bei Trägern ist die Beanspruchung der Verdübelung stark von der Querschnittsform abhängig. Dies gilt insbesondere für die plastische Umlagerung von Längsschubkräften und dem damit einhergehenden Schlupf in der Verbundfuge. Für teilweise verdübelte Träger werden im Eurocode Vorgaben für den Querschnitt gemacht. Bei abweichenden Stahlquerschnitten wie z. B. T-Querschnitten sind in der Regel zusätzliche Untersuchungen erforderlich.
5. **Verbundstütze (composite column):** *Überwiegend auf Druck und Biegung beanspruchtes Verbundbauteil.* Verbundstützen sind im Abschnitt 6.7 des Eurocode 4 geregelt. Da die Nachweisverfahren durch Versuche abgesichert sind, ist der Anwendungsbereich genau zu beachten. Insbesondere ist eine wesentliche Voraussetzung, dass die Stahlbauteile für die jeweilige Biegeachse schubfest miteinander verbunden sind. Wenn z. B. zwei voneinander unabhängige angeordnete Stahlprofile zur Anwendung kommen sollen, sind besondere Überlegungen bezüglich der Längsschubkräfte erforderlich.
6. **Verbunddecke (composite slab):** *Deckenkonstruktion, bei der ein profiliertes Blech zunächst als Schalung dient und im Endzustand mit dem erhärtenden Beton zusammenwirkt und als Zugbewehrung der fertig gestellten Decke dient.* Die Definition bezieht sich selbstverständlich auch auf Deckensysteme, bei denen profilierte Stahlbleche in Kombination mit Betonstahl verwendet werden. In der Praxis kommen auch Decken zur Ausführung, bei denen die Profilbleche nicht bis über die Auflager geführt werden oder bei denen andere Lastenleitungskonstruktionen in Form von Auflagerschuh oder Aufhängungen ausgeführt werden. Diese Lastenleitungselemente sind nicht im Eurocode 4 geregelt und müssen auf

der Grundlage von bauaufsichtlichen Zulassungen oder anderer technischer Spezifikationen beurteilt werden.

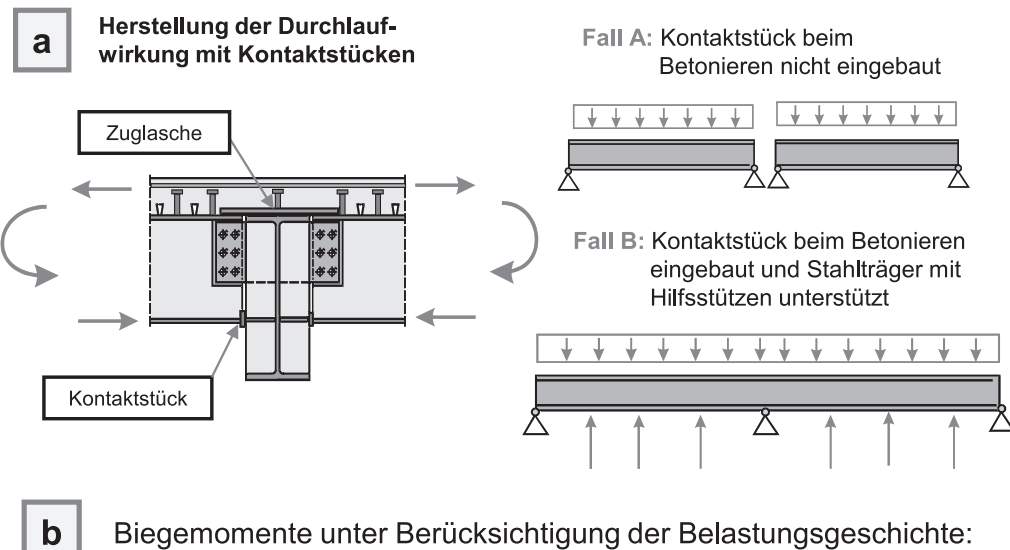
7. **Tragwerke in Verbundbauweise:** *Tragwerk, bei dem alle Bauteile als Verbundbauteile ausgebildet sind oder bei dem Verbundbauteile in Kombination mit Stahlbauteilen verwendet werden.* Die Definition des Eurocode 4 geht von der klassischen Definition für übliche Tragwerke des Hochbaus aus, bei denen z. B. im Geschossbau Verbundträger in Kombination mit Stahlstützen ausgeführt werden, wie dies bei klassischen Parkhäusern der Fall ist. In der Praxis werden selbstverständlich auch Verbundbauteile in Kombination mit Massivbauteilen ausgeführt. In jedem Fall ist hier bei statisch unbestimmten Systemen darauf zu achten, dass bei Mischbauweisen infolge des zeitabhängigen Verhaltens des Betons Zwangsbeanspruchungen auftreten und nicht alle im Eurocode 4 angegebenen Nachweisverfahren angewandt werden können. Dies gilt insbesondere dann, wenn im Grenzzustand der Tragfähigkeit Anforderungen an die Rotationsfähigkeit der Querschnitte gestellt werden.
8. **Verbundanschluss:** *Verbindungen zwischen Verbundbauteilen oder zwischen Verbund- und Stahlbeton- oder Stahlbauteilen, bei denen die Bewehrung bei der Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit des Anschlusses berücksichtigt wird.* Die Definition der Verbindungen basiert auf der Klassifikation in DIN EN 1993-1-8 [26]. Bei der Verbindung von Verbundbauteilen mit Betonbauteilen sind zusätzlich die Regelungen nach DIN EN 1992-4 [19] zu beachten.
9. **Tragwerk mit Eigengewichtsverbund:** *Tragwerk oder Verbundbauteil, bei dem die Einwirkungen aus dem Betoneigengewicht durch eine Unterstützung des Stahltragwerks oder durch andere unabhängige Bauteile bis zu einem Zeitpunkt aufgenommen werden, bei dem der Beton planmäßige Beanspruchungen übertragen kann.*
10. **Tragwerk ohne Eigengewichtsverbund:** *Tragwerk oder Verbundbauteil, bei dem die Einwirkungen aus Betongewicht vom nicht unterstützten Stahltragwerk übernommen werden.*
11. **Biegesteifigkeit ohne Berücksichtigung der Rissbildung (uncracked flexural stiffness):** *Biegesteifigkeit $E_a J_1$ des Verbundquerschnitts, bei der das Flächenmoment zweiten Grades J_1 des mittragenden Querschnitts unter der Annahme berechnet wird, dass der Betonquerschnitt nicht gerissen ist.* Die ideale Biegesteifigkeit des ungerissenen Verbundquerschnitts wird durch das Verhältnis der Elastizitätsmoduli bestimmt. Insbesondere der Elastizitätsmodul des Betons ist infolge der Nacherhärtung zeitabhängig und zusätzlich stark von der Art der verwendeten Zuschläge abhängig. Bei hohen Anforderungen an die Verformungsberechnung ist dies gegebenenfalls zu berücksichtigen.
12. **Biegesteifigkeit mit Berücksichtigung der Rissbildung (cracked flexural stiffness):** *Biegesteifigkeit $E_a J_2$ des Verbundquerschnitts, bei der das Flächenmoment zweiten Grades J_2 des mittragenden Querschnitts mit dem Gesamtstahlquerschnitt (Baustahl und Betonstahl) ohne Berücksichtigung von zugbeanspruchten Betonquerschnittsteilen berechnet wird.* Die sogenannte Biegesteifigkeit im reinen Zustand II ohne Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen stellt einen Grenzfall dar, der in der Realität so nicht auftritt, da die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen stets zu einer Vergrößerung der Biegesteifigkeit führt. Die Biegesteifigkeit J_2 wird daher bei der Tragwerksidealisierung im Eurocode 4 als Hilfsgröße zur näherungsweisen Bestimmung der Steifigkeitsverteilung benutzt. Bei Nachweis der Querschnittstragfähigkeit darf sie dann verwendet werden, wenn die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen nicht zu einer Vergrößerung der Beanspruchungen im Querschnitt führt. Dies ist in der Regel bei Stahlquerschnitten der Fall.

- 13. Vorspannung (prestress):** *Verfahren, mit dem im Betonquerschnitt eines Verbundquerschnitts durch Spannglieder oder planmäßig eingeprägte Deformationen planmäßig Druckspannungen erzeugt werden.* Im Hoch- und Industriebau erfolgt ein planmäßiges Vorspannen mithilfe von Spanngliedern mit und ohne Verbund relativ selten. Das Vorspannen mittels eingepprägter Deformationen, wie z. B. mittels planmäßiger Stützensenkungen, wird in Einzelfällen durchgeführt, um das Verhalten unter Gebrauchslasten bezüglich der Rissbildung zu verbessern oder abhebenden Kräften beim Lagesicherheitsnachweis entgegenzuwirken. Dabei ist immer zu beachten, dass Beanspruchungen aus planmäßig eingepprägten Deformationen durch Kriechen stark abgebaut werden.
- 14. Voller Verbund (full shear connection):** liegt vor, wenn eine Erhöhung der Anzahl der Verbundmittel nicht mehr zu einer Steigerung der Momententragfähigkeit führen kann. Der Verdübelungsgrad η liegt dann bei 1,0.
- 15. Teilweiser Verbund (partial shear connection):** liegt vor, wenn die Momententragfähigkeit durch die Anzahl der Verbundmittel bestimmt wird. Der Verdübelungsgrad η ist in diesen Fällen kleiner 1,0.
- 16. Starrer Verbund (full interaction):** Bei starrer Verdübelung ist der Einfluss des Schlupfes so klein, dass seine Auswirkungen auf die Teilschnittgrößen, Spannungen und Verformungen vernachlässigbar sind. Im Querschnitt stellt sich eine Dehnungsverteilung mit einer Dehnungsnulllinie ein (Ebenbleiben des Gesamtquerschnitts). Die Verformungen und Spannungen können nach der Theorie des starren Verbundes berechnet werden.
- 17. Nachgiebiger Verbund (flexible shear connection):** Bei nachgiebigem Verbund stellt sich im Querschnitt eine Dehnungsverteilung mit zwei Nulllinien ein. Die Annahme vom Ebenbleiben des Querschnitts gilt nur noch für die Teilquerschnitte. Der nachgiebige Verbund führt zu einer Umlagerung der Teilschnittgrößen auf den Stahlquerschnitt und zu einer Reduzierung der Längsschubkräfte.

1.6 Bautechnische Unterlagen

Bei Verbundbauteilen können die ausreichende Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit entscheidend durch die Montage und die Betonierreihenfolge beeinflusst werden. Wenn z. B. bei der Bauausführung von den Vorgaben der Tragwerksplanung abgewichen wird und bei Trägern ohne Eigengewichtsverbund auf der Baustelle unplanmäßig Trägerunterstützungen vorgesehen werden, kann es im Endzustand zu erheblichen Abweichungen bei den Verformungen kommen.

Ein weiteres Beispiel zeigt Bild 8a. Der dargestellte Durchlaufträger kann z. B. nach den dargestellten Varianten A und B hergestellt werden, bei denen die Durchlaufwirkung durch Anordnung eines Kontaktstückes am Trägeruntergurt zu einem beliebigen Zeitpunkt hergestellt werden kann. Im Fall A wird das Kontaktstück erst nach dem Betonieren angeordnet. Die Betonierlasten wirken somit auf einfeldrige Stahlträger. Nach Erhärten des Betons und Anordnung des Kontaktstückes wirkt der Träger im Endzustand für die Ausbau- und Verkehrslasten sowie für die Zwangsschnittgrößen aus Schwinden als Durchlaufträger in Verbundbauweise. Im Fall B wird der Träger zusätzlich mit Hilfsstützen unterstützt und das Kontaktstück wird bereits vor dem Betonieren eingebaut. Sämtliche Lasten wirken somit auf den durchlaufenden Verbundträger. Wie Bild 8b verdeutlicht, wirken sich die unterschiedlichen Herstellungsverfahren insbesondere auf die Trägerverformungen und die Schnittgrößen an der Innenstütze (Rissbreitenbeschränkung und Bemessung des Anschlusses) aus.



b Biegemomente unter Berücksichtigung der Belastungsgeschichte:

	Fall A Ohne Hilfsstützen und Durchlaufwirkung nach Betonieren	Fall B Mit Hilfsstützen und Durchlaufwirkung vor Betonieren
Trägereigengewicht		
Betonierlasten		
Freisetzen der Hilfsstützen		
Ausbaulasten		
Verkehrslasten		
Gesamtmoment		
Risserzeugendes Stützmoment	kleiner	größer
Verformungen Überhöhungen	größer	kleiner
Beanspruchung in Kontaktstücken / Laschen	kleiner	größer

Bild 8: Einfluss der Belastungsgeschichte und Einfluss von Systemwechseln auf die Schnittgrößen und Verformungen

Die Beispiele verdeutlichen, dass bei Verbundtragwerken stets eine Montageanweisung erforderlich ist, in der insbesondere Angaben

- zur Reihenfolge und zum Zeitablauf des Betoniervorgangs,
- zum Zeitpunkt für das Montieren bzw. Entfernen von Hilfsunterstützungen,
- zum Zeitpunkt und Einbau von Kontaktstücken bei Trägern, bei denen die Durchlaufwirkung an Trägerstößen mittels Kontaktstücken erst nach dem Betonieren der Betonplatte hergestellt wird,
- zu erforderlichen Überhöhungen bei Trägern und Decken,
- zu dem Zeitpunkt und der Größe von planmäßig eingetragenen Deformationen (z. B. Absenken von Durchlaufträgern an Mittelstützen) sowie zu den erforderlichen Kontrollmaßnahmen,
- zur Lage beim Betonieren sowie zur Betonierrichtung bei Verbundstützen,
- zu erforderlichen Stabilisierungsmaßnahmen im Bauzustand zur Vermeidung von Stabilitätsproblemen

enthalten sein müssen. Bei großen Trägerüberhöhungen müssen auch die Unternehmer für die Ausbaugewerke über sich noch einstellende Verformungen aus Kriechen und Schwinden informiert werden, um eventuelle Schäden an Ausbauteilen und Fassaden zu verhindern. Auch für den Rohbauer ist die Information über die Verformungen während des Betoniervorgangs sowie eventuelle Unterstützungsmaßnahmen von großer Wichtigkeit. Aufgrund der Trägerverformungen während des Betoniervorgangs (Rückgang der Trägerüberhöhung) kann es bei großen Trägerüberhöhungen durchaus zu Zwangsbeanspruchungen auf das Gesamtsystem kommen. Ferner können unplanmäßige Unterstützungen zu ungewollten Systemumlagerungen mit Auswirkungen auf die bleibende Trägerüberhöhung und Rissbildung führen. Daher sind die Auswirkungen der Betonierreihenfolge und Unterstützungsmaßnahmen vorab zu untersuchen und klar festzulegen.

Bei hohen Anforderungen an die Verformungen ist insbesondere zu beachten, dass der Elastizitätsmodul des Betons von der Art der verwendeten Zuschläge abhängt. Es sollten dann bereits im Planungsstadium Vorgaben für die Betonrezeptur gemacht und gegebenenfalls auch entsprechende Eignungsprüfungen durchgeführt werden. Siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.

Bauteilen. Die bei statisch bestimmten Systemen auftretenden Eigenspannungszustände werden als primäre Beanspruchungen bezeichnet. In statisch unbestimmten Systemen treten aufgrund der Verträglichkeitsbedingungen zusätzliche Zwängungen auf, die als sekundäre Beanspruchungen (Zwangbeanspruchungen) bezeichnet werden. Die zugehörigen Einwirkungen, im Allgemeinen Auflagerkräfte, werden als indirekte Einwirkungen behandelt (Bild 10).

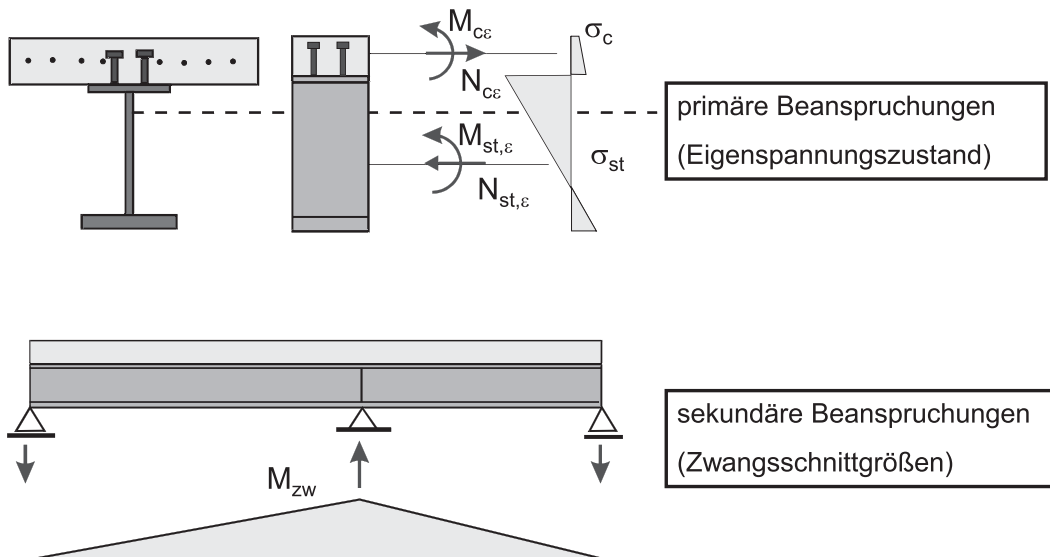


Bild 10: Primäre und sekundäre Beanspruchungen

2.4 Nachweise mit Teilsicherheitsbeiwerten

2.4.1 Bemessungswerte

2.4.1.1 Bemessungswert für Einwirkungen

Die Bemessungswerte der Einwirkungen sind nach DIN EN 1991 zu ermitteln.

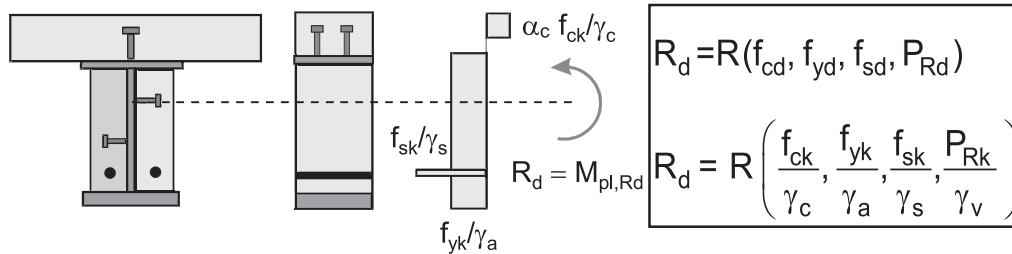
Bei Verbundtragwerken kann der Beanspruchungszustand mittels planmäßig eingetragener Deformationen vorteilhaft beeinflusst werden. Da planmäßig eingetragene Deformationen in DIN EN 1990 nicht behandelt werden, mussten in DIN EN 1994-1-1 zusätzliche Regelungen aufgenommen werden. Die Unsicherheiten bezüglich der Beanspruchungen resultieren bei planmäßig eingetragenen Deformationen in erster Linie aus den Streuungen der Steifigkeit (Elastizitätsmodul des Betons und Rissbildung) sowie den zeitabhängigen Einflüssen aus dem Kriechen. Für Tragwerke, die nach elastischen Berechnungsverfahren bemessen werden, wurden auf der Grundlage probabilistischer Untersuchungen [71] die in Tabelle 3 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte ermittelt. Für die primären und sekundären Beanspruchungen aus dem Schwinden darf der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_F = 1,0$ zugrunde gelegt werden.

Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte für sekundäre Beanspruchungen aus Schwinden und planmäßig eingetragenen Deformationen nach DIN EN 1994-1-1 und DIN EN 1994-1-1/NA

Einwirkung	Auswirkung	
	ungünstig	günstig
Sekundäre Beanspruchungen aus Schwinden	1,0	1,0
planmäßig eingetragene Deformationen	1,1	1,0

2.4.1.2 Bemessungswert des Tragwiderstandes

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d wird bei Anwendung elastischer und plastischer Berechnungsverfahren mit den Bemessungswerten der Werkstofffestigkeiten $f_{i,d}$ ermittelt. Sie ergeben sich aus den charakteristischen Werten der Festigkeiten $f_{i,k}$ und den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerten γ_M nach Bild 11.



Kombination	Baustahl, Profilbleche $\gamma_a = \gamma_{Mi}$	Betonstahl γ_s	Beton γ_c	Verbund- mittel γ_v
Ständige und vorübergehende Bemessungssituationen	$\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M1} = 1,1$ $\gamma_{M2} = 1,25$	1,15	1,5	1,25
außergewöhnliche Kombinationen	$\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M1} = 1,0$ $\gamma_{M2} = 1,15$	1,0	1,3	1,0
Nachweis gegen Ermüdung	DIN EN 1993-1-9 DIN EN 1993-1-9/NA	1,15	1,5	1,25

Bild 11: Bemessungswert des Tragwiderstandes und Teilsicherheitsbeiwerte γ_M nach DIN EN 1994-1-1 sowie Bezugsnormen

Für den Nachweis nach DIN EN 1994-1-1 [1] sind die charakteristischen Werte der Festigkeit für Beton (f_{ck}) sowie Beton- und Spannstahl (f_{sk} bzw. f_{pk}) in DIN EN 1992-1-1 [14] und DIN EN 1992-1-1/NA [17] geregelt. Der Bemessungswert der Streckgrenze für Baustahl wird in Übereinstimmung mit DIN EN 1993-1-1 [20] und DIN EN 1993-1-1/NA [21] festgelegt. Dabei entspricht der Teilsicherheitsbeiwert γ_a zur Ermittlung des Bemessungswertes der Streckgrenze in DIN EN 1994-1-1 dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mi} nach DIN EN 1993-1-1/NA [21]. In Abhängigkeit vom Versagenszustand sind die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen:

- γ_{M0} Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (bei Anwendung von Querschnittsnachweisen ohne Stabilitätsgefahr),
- γ_{M1} Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen),
- γ_{M2} Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung.

Wenn die Querschnittstragfähigkeit elastisch oder plastisch ermittelt wird und keine Stabilitätsgefahr besteht, darf in Anlehnung an DIN EN 1993-1-1/NA [21] der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_a = \gamma_{M0} = 1,0$ zugrunde gelegt werden. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} für die Nachweise der Ermüdung ist DIN EN 1993-1-9 unter Berücksichtigung von DIN EN 1993-1-9/NA [28] zu entnehmen. Verbundmittel sind in Abschnitt 6.6 der DIN EN 1994-1-1 geregelt. Für Kopfbolzendübel wird in DIN EN 1994-1-1/NA [2] in Abschnitt 6.6.3.1 für das Betonversagen ein mit $\gamma_v = 1,5$ von DIN EN 1994-1-1 mit $\gamma_v = 1,25$ abweichender Teilsicherheitsbeiwert angegeben. Auf die Notwendigkeit dieser Änderung wird in Abschnitt 6.6.3 noch genauer eingegangen. Hinsichtlich der Ermüdung ist für Kopfbolzendübel der Wert $\gamma_{Mf,s} = 1,25$ zu verwenden.

Beim Ansatz des Bemessungswertes der Betondruckfestigkeit f_{cd} finden sich in EC 2 und EC 4 Unterschiede bezüglich des in EC 2 enthaltenen Dauerstandsbeiwertes α_{cc} . Im Eurocode 4 (Fassung 2010) wird bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Betondruckfestigkeit kein Beiwert α_{cc} entsprechend EC 2 berücksichtigt. Die Herleitung der Modelle zur Ermittlung der rechnerischen Tragfähigkeiten von Verbundquerschnitten nach Eurocode 4 erfolgte auf der Grundlage von statistischen Auswertungen in Anlehnung an EN 1990 [64]. Die Anpassung der Berechnungsmodelle an die Versuchsergebnisse erfolgte dabei im Rahmen der Erarbeitung des Eurocode 4 durch Einführung eines weiteren Anpassungsfaktors, der z. B. bei plastischer Bemessung durch einen Faktor 0,85 bei der Ermittlung der plastischen Tragfähigkeit des Betongurtes berücksichtigt wird. Dieser Faktor berücksichtigt neben Dauerstandseffekten bei der Betondruckfestigkeit auch die Anpassung an Versuchsergebnisse. In der aktuellen Fassung des Eurocodes werden durch die Reduktion des Spannungsbereichs um den Wert 0,85 für den Anwender nicht ersichtlich zwei unterschiedliche Einflussparameter miteinander vermischt. Der Ansatz unterschiedlicher Bemessungswerte der Betondruckfestigkeit in Eurocode 2 und Eurocode 4 führt bei der praktischen Anwendung auch zu einer unklaren Situation in der Bemessung. So basieren z. B. die Nachweise des Fachwerkmodells für die Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes auf den Gleichungen nach DIN EN 1992-1-1 unter Berücksichtigung des Beiwertes α_{cc} , während die Druckkraft im Betongurt aus dem Bemessungswert der Betondruckfestigkeit nach DIN EN 1994-1-1 ohne Ansatz von α_{cc} ermittelt wird. Dies bedeutet, dass in der Nachweisführung für den Betongurt unterschiedliche Definitionen für den Bemessungswert der Betondruckfestigkeit verwendet werden. Bei der derzeitigen Überarbeitung des EC 4 wird angestrebt, den Bemessungswert der Betondruckfestigkeit in Eurocode 2 und Eurocode 4 wieder identisch zu regeln und andere für Verbundquerschnitte erforderliche Abminderungsfaktoren, die z. B. bei plastischer Bemessung den Einfluss der Dehnungsbeschränkung bei tiefliegender plastischer Nulllinie von Trägern erfassen, durch weitere Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen. Auf diese Weise wird zukünftig für den Anwender besser ersichtlich, welche Parameter bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Bedeutung sind.

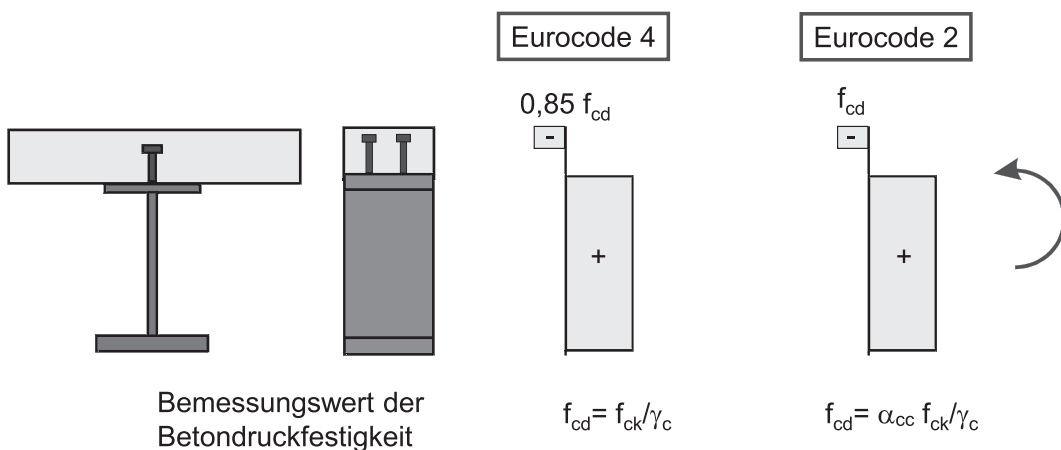


Bild 12: Zur Festlegung des Bemessungswertes der Betondruckfestigkeit nach Eurocode 4 und Eurocode 2

2.4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit – Kombinationsregeln

In den Grenzzuständen der Tragfähigkeit ist die Bedingung $E_d \leq R_d$ (nach EN 1990: E = effects of actions, R = resistance) nachzuweisen, wobei E_d die mit den Bemessungswerten der Einwirkungen F_d (nach EN 1990: F = direct actions, forces applied to the structure, indirect actions as imposed deformations, temperature etc.) ermittelten Beanspruchungen (z. B. Schnittgrößen) und die mit den Bemessungswerten der Widerstandsgrößen ermittelten Beanspruchbarkeiten R_d sind (siehe Bild 9). Die Bemessungswerte der Einwirkungen ergeben sich in den Grenzzuständen der

Tragfähigkeit aus dem mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F und gegebenenfalls mit einem Kombinationsbeiwert ψ_i vervielfachten charakteristischen Wert der Einwirkung F_k . Die charakteristischen Werte F_k sind dabei den entsprechenden Teilen der DIN EN 1991 zu entnehmen, s. a. Bild 6. DIN EN 1990 [6] unterscheidet im Grenzzustand der Tragfähigkeit prinzipiell sechs verschiedene Grenzzustände:

EQU: Verlust der Lagesicherheit des Tragwerks oder eines seiner Teile

STR: Versagen oder übermäßige Verformungen des Tragwerks oder seiner Teile

GEO: Versagen oder übermäßige Verformungen des Baugrundes

FAT: Ermüdungsversagen des Tragwerks oder seiner Teile

UPL: Verlust der Lagesicherheit des Tragwerks oder des Baugrundes aufgrund von Hebungen durch Wasserdruck (Auftriebskraft) oder sonstigen vertikalen Einwirkungen

HYD: hydraulisches Heben und Senken, interne Erosion und das Rohrleitungssystem im Baugrund aufgrund von hydraulischen Gradienten

In DIN EN 1990/NA [7], Tabelle NA.A1.2(A), Tabelle NA.A1.2(B), Tabelle NA.A1.2(C), sowie DIN EN 1990 [6], Tabelle A1.3 und Tabelle A1.4, sind die für die jeweilige Bemessungssituation (zuvor genannte Grenzzustände) maßgebenden Bemessungswerte der Einwirkungen definiert, die sich i. d. R. aus der Multiplikation des entsprechenden Teilsicherheitsbeiwertes mit dem charakteristischen Wert der Einwirkung ergeben.

Sicherheitskonzept für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen mit Ausnahme der Ermüdung

DIN EN 1990, Abschnitt 6.4.3.2:

$$E_d = E_d (\sum \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{ki})$$

Sicherheitskonzept für außergewöhnliche Bemessungssituationen

DIN EN 1990, Abschnitt 6.4.3.3:

$$E_d = E_d (\sum G_{kj} + P_k + A_d + \psi_{1,1} Q_{k1} + \sum \psi_{2,i} Q_{ki})$$

- | | |
|--------------------------------------|---|
| G_k | - charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung |
| P_k | - charakteristischer Wert der Vorspannung
(Spanngliedvorspannung oder planmäßig eingeprägte Deformationen) |
| Q_{k1} | - charakteristischer Wert der vorherrschenden veränderlichen Einwirkung |
| Q_{ki} | - charakteristischer Wert einer nicht vorherrschenden veränderlichen Einwirkung |
| A_d | - Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung |
| ψ_{0i} | - Kombinationsbeiwert |
| $\gamma_{Gj}, \gamma_P, \gamma_{Qi}$ | - Teilsicherheitsbeiwerte |

Bild 13: Kombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Bei der Kombination mehrerer Einwirkungen wird in Übereinstimmung mit DIN EN 1990 zwischen ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen (Grundkombination) und außergewöhnlichen Bemessungssituationen unterschieden. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit gegen Versagen des Tragwerks durch Bruch oder übermäßige Verformung in Bild 13 angegeben. Die Kombinationsbeiwerte im Hochbau ergeben sich nach DIN EN 1990/NA [7], Tabelle NA.A.1.1.

2.4.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit – Kombinationsregeln

Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung die festgelegten Bedingungen C_d für die Funktion und die äußere Erscheinung (z. B. Rissbreite oder Verformung) nicht mehr erfüllt sind, d. h., die Bedingung $E_d \leq C_d$ muss nachgewiesen werden. Hierbei ist E_d der jeweilige Bemessungswert der Lastauswirkungen. Bei den Bemessungswerten E_d der Lastauswirkungen werden die in Bild 14 angegebenen Einwirkungskombinationen unterschieden. DIN EN 1990 definiert die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit als Grenzzustände, die

- die Funktion des Tragwerks oder eines seiner Teile unter normalen Gebrauchsbedingungen oder
- das Wohlbefinden der Nutzer oder
- das Erscheinungsbild des Bauwerks betreffen.

Im Detail werden die im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit festzulegenden Bedingungen C_d in Bild 14 angegeben.

Seltene Kombination:
$$E_d = E \left\{ \sum G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$

Häufige Kombination:
$$E_d = E \left\{ \sum G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

Quasi-ständige Kombination:
$$E_d = E \left\{ \sum G_{k,j} + P_k + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

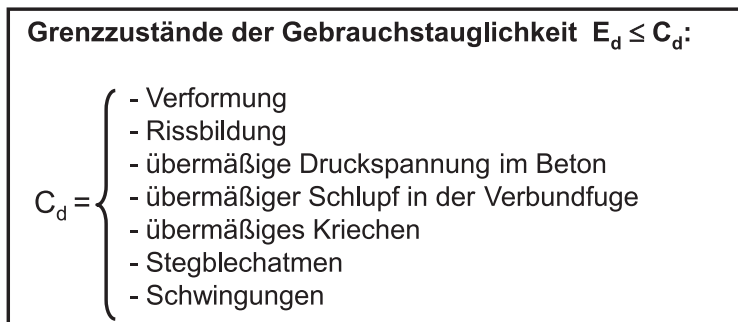


Bild 14: Einwirkungskombinationen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

DIN EN 1990 [6] klassifiziert Tragwerke entsprechend ihrer Nutzungsdauer in die Klassen 1 bis 5. Dabei repräsentiert die „geplante Nutzungsdauer“ die angenommene Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgesehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass jedoch eine wesentliche Instandsetzung erforderlich ist. Die Klassifizierung erfolgt nach der Plangröße der Nutzungsdauer von 10 Jahren für Klasse 1, bis 100 Jahre für Klasse 5 entsprechend Tabelle 4. Die Nutzungsdauer ist auch für die Definition der Einwirkungen und Bemessungssituationen nach DIN EN 1990 von Bedeutung, da, sofern der charakteristische Wert der Einwirkungen auf statistischer Grundlage festgelegt werden kann, er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit gewählt wird, sodass er während des „Bezugszeitraumes“ nicht überschritten wird, wobei die geplante Nutzungsdauer des Tragwerks und die Dauer der Bemessungssituation berücksichtigt werden.