

Bemessung von Befestigungen in Beton

Einführung mit Beispielen

Thilo Pregartner

Thilo Pregartner
Bemessung von Befestigungen in Beton
Einführung mit Beispielen

Bemessung von Befestigungen in Beton

Einführung mit Beispielen

Thilo Pregartner

Dr.-Ing. Thilo Pregartner
Jahnstraße 6
68782 Brühl
E-Mail: thilo.pregartner@gmx.de

Titelbild: Wegkontrolliert spreizender Dübel
(MKT Metall-Kunststoff-Technik GmbH & Co. KG, Weilerbach)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-433-02930-5

© 2009 Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin

Alle Bücher des Verlages Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, irgendeine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.
Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Umschlaggestaltung: eiche.eckert° | Werbeagentur, Achern
Herstellung und Layout: Uta-Beate Mutz, Leipzig
Satz: le-tex publishing services, Leipzig
Druck: betz-druck GmbH, Darmstadt
Bindung: Litges & Dopf Buchbinderei GmbH, Heppenheim

Printed in Germany

Geleitwort

Verbindungen von tragenden Bauteilen miteinander oder von nicht tragenden Bauteilen mit der Tragkonstruktion werden täglich weltweit millionenfach ausgeführt. Verwendet werden im Betonbau u. a. Kopfbolzen und Dübel (Metallspreiz-, Hinterschnitt-, Verbund-, Verbundspreiz- und Schraubdübel). Um wirtschaftliche und sichere Befestigungen zu gewährleisten, muss der Ingenieur das passende Befestigungsmittel auswählen und die Befestigung sachgerecht planen und bemessen. Weiterhin ist die Befestigung vom Monteur ordnungsgemäß unter Beachtung der Montageanleitung des Herstellers der Befestigungsmittel und der vom Ingenieur erstellten Planunterlagen auszuführen.

In den letzten ca. 30 Jahren wurde das Tragverhalten von Befestigungen mit Kopfbolzen, Ankerschienen und Dübeln intensiv erforscht. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Dissertationen, Fachaufsätzen und zwei Fachbüchern beschrieben. An der Universität Stuttgart wurde vom Verfasser dieses Geleitwortes und seinen Mitarbeitern ein Verfahren zur Bemessung von Befestigungen, das CC-Verfahren (Concrete Capacity-Verfahren), entwickelt, das in mehreren Veröffentlichungen beschrieben und in nationalen und internationalen Regelwerken verankert ist.

In Europa sind die folgenden Richtlinien zu beachten:

- a) European Organisation for Technical Approvals (EOTA): ETAG 001 „Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für Metaldübel zur Verankerung in Beton, Anhang C Bemessungsverfahren für Verankerungen“. 1997, mit Ergänzungen 2001, 2006 und 2008.
- b) European Organisation for Technical Approvals (EOTA): „Design of Bonded Anchors“. Technical Report, 2007.
- c) DIN prEN/TS 1992-4:2009 „Bemessung von Befestigungen für Anwendungen in Beton“;

Teil 4-1: Allgemeine Regeln,

Teil 4-2: Kopfbolzen,

Teil 4-3: Ankerschienen,

Teil 4-4: Nachträglich montierte Dübel – Mechanische Systeme,

Teil 4-5: Nachträglich montierte Dübel – Chemische Systeme.

Das CC-Verfahren ist anwenderfreundlich. Allerdings ist die Bemessung relativ aufwendig, weil die Traglast von Befestigungen für alle Belastungsrichtungen und alle Versagensarten wirklichkeitsnah beschrieben wird. Daher erfolgt in der Praxis die Bemessung von Befestigungen nahezu ausschließlich mit Bemessungsprogrammen, die in der Regel von Herstellern von Befestigungsmitteln kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe der Bemessungsprogramme ist es möglich, nahezu jede Befestigungsaufgabe schnell zu lösen und den Ausnutzungs-

grad der Befestigung zu optimieren. Allerdings verleiten sie den Anwender dazu, die Bemessungsergebnisse zu übernehmen, ohne sie kritisch zu hinterfragen. Zahlreiche Anwender sind dazu vermutlich auch nicht in der Lage, weil ihnen das Basiswissen fehlt.

Hier setzt das von Herrn Dr.-Ing. Thilo Pregartner vorgelegte Buch „Bemessung von Befestigungen in Beton – Einführung mit Beispielen“ an. Es wendet sich an interessierte Anwender, die das Bemessungsverfahren besser verstehen und die einzelnen Schritte bei der Bemessung nachvollziehen wollen. Dazu wird zunächst das Bemessungsverfahren einfach, ausführlich und anschaulich mit Hilfe von einfachen Beispielen erläutert, wobei auf die Darlegung des wissenschaftlichen Hintergrundes soweit als möglich verzichtet wird. Auf Unterschiede in den einzelnen Richtlinien wird hingewiesen. Im Hauptteil des Buches wird die Bemessung von Befestigungen mit Dübeln und Kopfbolzen an Hand einer großen Zahl von praxisnahen Beispielen erklärt. Es werden das grundsätzliche Vorgehen bei der Bemessung und die Entscheidungskriterien für die richtige Auswahl eines Befestigungsmittels erläutert sowie jeder Einzelschritt der Bemessung dokumentiert. Um herstellerunabhängige Ergebnisse zu erhalten, erfolgt die Bemessung mit fiktiven Europäischen Technischen Zulassungen. Diese sind praxisnah, entsprechen jedoch keinem auf dem Markt vorhandenen Produkt.

Das Buch schließt eine bisher vorhandene Lücke, indem es die Bemessung von Befestigungen mit Dübeln und Kopfbolzen in Beton an Hand von praxisnahen Anwendungen detailliert Schritt für Schritt erläutert. Es kann wesentlich dazu beitragen, das Verständnis von Anwendern für das CC-Verfahren zu verbessern und es ermöglicht ihnen, die Ergebnisse einer mit einem Bemessungsprogramm durchgeführten Bemessung zu beurteilen. Weiterhin wird der Leser in die Lage versetzt, auch komplizierte Befestigungsaufgaben selbstständig sachgerecht zu lösen.

Ich wünsche dem Buch eine weite Verbreitung in Lehre und Praxis.

Stuttgart, im März 2009

Rolf Eligehausen

Vorwort

Die Idee für dieses Buch entstand aus meiner Arbeit heraus nach einem ereignisreichen Tag beim abendlichen „Dübelstammtisch“. Realisiert wurde das Buch in meiner Freizeit. Deshalb gebührt der erste und wichtigste große Dank meiner großartigen Frau Raquel, die mich stets unterstützt und motiviert hat und die die beste Tortilla nördlich von Spanien macht.

Ein weiterer großer Dank gebührt meinem beruflichen Ziehvater Prof. Dr.-Ing. *Rolf Eligehausen*. Er hat mich in die Befestigungstechnik eingeführt, zu einem „Dübelspezialisten“ ausgebildet und mir die Promotion auf diesem Gebiet ermöglicht. Dank seiner Geduld durfte ich in zahlreichen Diskussionen an seinem Wissen teilhaben.

Dank gebührt auch meinen Kollegen im Ingenieurbüro Eligehausen und Asmus. Von Ihnen habe ich viel gelernt.

Der Mittelpunkt in meinem Leben ist die Familie. Auch Ihr herzlichen Dank für die Geborgenheit und Unterstützung, die sie mir seit meiner Geburt gibt.

Ebenfalls viel beigetragen zum Gelingen dieses Buches haben die zahlreichen fachkundigen Freunde und Lektoren. *Philipp Grosser* hat das vorliegende Buch sehr intensiv studiert und durch seine Korrekturen und Vorschläge entscheidend verbessert. *Werner Fuchs* hat das Buch durch das Kapitel über die geschichtliche Entwicklung der Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton bereichert. Zahlreiche hilfreiche Vorschläge und Anregungen von *Werner Fuchs*, *Josef Schneider* und *Jörg Appl* haben die Struktur und Lesbarkeit optimiert. Viele Beispiele wurden mit dem Bemessungsprogramm für Dübel der Firma Nolasoft nachgerechnet. Für die Bereitstellung des Programms möchte ich mich bei *Utz Mayer* bedanken.

Stuttgart, Januar 2009

Thilo Pregartner

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau und Ziel des Buchs	1
2	Bezeichnungen und Formelzeichen	3
3	Geschichtliche Entwicklung der Bemessungsmethoden für Dübel in Deutschland	6
	<i>Dr.-Ing. Werner Fuchs</i>	
4	Vorgehensweise bei der Bemessung von Befestigungen	9
5	Bemessung von Metalldübeln und Kopfbolzen nach ETAG 001, Annex C bzw. CUAP und CEN TS	12
5.1	Allgemeines	12
5.2	Bearbeitungsstand der Bemessungsregelungen für Befestigungen in Beton	12
5.3	Versagensarten von Befestigungen in Beton	13
5.4	Mögliche Bemessungsverfahren	16
5.5	Anwendungsbereiche und Voraussetzungen der Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton	17
5.6	Kurze Einführung in die Systematik der verwendeten Bezeichnungen	19
5.7	Grundlagen des Bemessungsverfahrens	20
5.7.1	Allgemeine Grundlagen	20
5.7.2	Nachweis ungerissener Beton	25
5.7.3	Bemessung für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	25
5.8	Berechnung der Widerstände für Metalldübel und Kopfbolzen, Bemessungsverfahren A	26
5.8.1	Lastverteilung der Einwirkung auf die einzelnen Befestigungen einer Befestigungsgruppe	26
5.8.2	Belastung der Dübel bzw. Kopfbolzen durch Zugkräfte	34
5.8.2.1	Erforderliche Nachweise	34
5.8.2.2	Versagensart Stahlbruch	35
5.8.2.3	Versagensart Herausziehen	36
5.8.2.4	Versagensart Betonausbruch	38
5.8.2.5	Versagensart Spalten	51
5.8.2.6	Versagensart lokaler Betonausbruch bei randnahen Kopfbolzen	55
5.8.3	Belastung der Dübel bzw. Kopfbolzen durch Querkkräfte	61
5.8.3.1	Lastverteilung der Einwirkung auf die einzelnen Befestigungen	61
5.8.3.2	Erforderliche Nachweise	66
5.8.3.3	Versagensart Stahlbruch ohne Hebelarm	67
5.8.3.4	Versagensart Stahlbruch mit Hebelarm (Biegebeanspruchung)	68
5.8.3.5	Versagensart Betonkantenbruch, Berechnung nach [2]	71
5.8.3.6	Versagensart Betonkantenbruch, Berechnung nach [3], [4] und [9]	84
5.8.3.7	Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite	90
5.8.3.8	Querlasten mit wechselndem Vorzeichen	94

5.8.4	Interaktion bei Zug- und Querkraft	95
5.9	Berechnung der Widerstände für Verbund- bzw. Injektionsdübel, Bemessungsverfahren A	95
5.9.1	Bemessung von Verbund- bzw. Injektionsdübeln nach ETAG 001, Annex C	96
5.9.2	Bemessung von Verbund- bzw. Injektionsdübeln nach Technical Report TR 029	98
5.9.2.1	Belastung durch Zugkräfte	98
5.9.2.2	Belastung durch Querkräfte	108
5.10	Berechnung der Widerstände von Kopfbolzen bei Verwendung von Rückhängebewehrung	109
5.10.1	Belastung durch Zugkräfte	110
5.10.2	Belastung durch Querkräfte	113
5.11	Zusätzliche Nachweise zur Gewährleistung der Bauteiltragfähigkeit	117
5.11.1	Konstruktive Details	117
5.11.2	Schubtragfähigkeit des Bauteils	118
5.11.3	Widerstand gegen Spaltkräfte	119
5.12	Berechnung der Widerstände, Bemessungsverfahren B	120
5.13	Berechnung der Widerstände, Bemessungsverfahren C	123
6	Grundlegende Beispiele für das Bemessungsverfahren A	125
6.1	Belastung durch Zugkräfte	125
6.1.1	Betonausbruch und Spalten	125
6.1.2	Lokaler Betonausbruch (randnahe Kopfbolzen)	134
6.1.3	Versagensart Betonausbruch und kombiniertes Versagen durch Betonausbruch und Herausziehen (nur für Verbunddübel)	140
6.2	Belastung durch Querkräfte	148
6.2.1	Betonkantenbruch, Berechnung nach [2]	148
6.2.2	Betonkantenbruch, Berechnung nach [3], [4] bzw. [9]	155
6.2.3	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite	160
7	Leitfaden für die Auswahl von geeigneten Befestigungsmitteln	163
8	Fiktive Beispiele für Europäische Technische Zulassungen (ETA)	170
8.1	Metalldübel für Bemessungsverfahren A	171
8.1.1	Stahlbolzendübel (ETA für Einzelbefestigung im gerissenen und ungerissenen Beton)	171
8.1.2	Hülsendübel (ETA für Einzelbefestigung im gerissenen und ungerissenen Beton)	172
8.1.3	Hinterschnittdübel (ETA für Einzelbefestigung im gerissenen und ungerissenen Beton)	173
8.1.4	Einschlaganker (ETA für Einzelbefestigung im ungerissenen Beton)	174
8.2	Kopfbolzen für Bemessungsverfahren A	175
8.2.1	Kopfbolzen (ETA für Einzelbefestigung im gerissenen Beton)	175

8.3	Verbund- und Injektionsdübel für Bemessungsverfahren A	176
8.3.1	Verbunddübel nach ETAG 001, Annex C (ETA für Einzelbefestigung im ungerissenen Beton)	176
8.3.2	Verbunddübel nach TR 029 (ETA für Einzelbefestigung im ungerissenen Beton)	177
8.3.3	Verbunddübel nach TR 029 (ETA für Einzelbefestigung im gerissenen und ungerissenen Beton)	178
8.4	Metalldübel für Bemessungsverfahren B und C	179
8.4.1	Einschlaganker (ETA für <i>Mehrfachbefestigung</i> im gerissenen und ungerissenen Beton)	179
8.4.2	Betonschraube (ETA für <i>Einzelbefestigung</i> im gerissenen und ungerissenen Beton)	179
8.4.3	Deckenabhänger (ETA für <i>Mehrfachbefestigung</i> im gerissenen und ungerissenen Beton)	180
9	Bemessungsbeispiele	181
9.1	Beispiele für Einzelbefestigungen, Bemessungsverfahren A	182
9.1.1	Zugbelastung	182
9.1.1.1	Einzeldübel in der Fläche, gerissener Beton, Hinterschnittdübel	182
9.1.1.2	Einzeldübel in der Ecke, gerissener Beton, Hinterschnittdübel	185
9.1.1.3	Einzeldübel in der Ecke, ungerissener Beton, Hülsendübel	188
9.1.1.4	Einzelanker in der Ecke, gerissener Beton, Kopfbolzen	192
9.1.1.5	Einzeldübel in der Fläche, gerissener Beton, Verbunddübel nach TR 029	197
9.1.1.6	Einzeldübel in der Stirnseite, ungerissener Beton, Verbunddübel nach TR 029	201
9.1.2	Querbelastung	206
9.1.2.1	Einzeldübel am Rand, gerissener Beton, Hülsendübel	206
9.1.2.2	Einzeldübel am Rand, gerissener Beton, Hülsendübel	209
9.1.2.3	Einzeldübel am Rand, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	213
9.1.2.4	Einzeldübel am Rand, Belastung durch Biegung, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	216
9.1.2.5	Einzeldübel in der Ecke, gerissener Beton, Verbunddübel nach TR 029	221
9.1.3	Zug- und Querbefestigung	225
9.1.3.1	Einzeldübel in der Fläche, ungerissener Beton, Einschlagdübel	225
9.2	Beispiele für Befestigungen mit Dübelgruppen, Bemessungsverfahren A	230
9.2.1	Zugbelastung	230
9.2.1.1	4er-Gruppe am Rand, ungerissener Beton, Stahlbolzendübel	230
9.2.1.2	2er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	234
9.2.2	Querbelastung	238
9.2.2.1	4er-Gruppe am Rand, ungerissener Beton, Stahlbolzendübel	238
9.2.2.2	4er-Gruppe am Rand, ungerissener Beton, Stahlbolzendübel, Langlöcher	243

9.2.3	Zug- und Querbelastung	248
9.2.3.1	4er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Kopfbolzen	248
9.2.3.2	3er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	255
9.2.3.3	3er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Hinterschnittdübel	262
9.2.4	Momentenbelastung (Biegung)	270
9.2.4.1	2er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Hülsendübel	270
9.2.4.2	6er-Gruppe in der Fläche, gerissener Beton, Hinterschnittdübel	276
9.2.4.3	4er-Gruppe in der Fläche, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	281
9.2.4.4	4er-Gruppe in der Fläche, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	286
9.2.5	Torsionsbelastung	292
9.2.5.1	2er-Gruppe am Rand, ungerissener Beton, Einschlaganker	292
9.2.5.2	2er-Gruppe in der Ecke, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	297
9.2.5.3	4er-Gruppe in der Fläche, ungerissener Beton, Verbunddübel (Bemessung nach ETAG 001, Annex C)	307
9.2.5.4	4er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Hülsendübel	311
9.2.6	Anwendungsbeispiele	318
9.2.6.1	Stütze in Streifenfundament, 4er-Gruppe in schmalem Bauteil, gerissener Beton, Hülsendübel	318
9.2.6.2	Stütze in Fundament, 4er-Gruppe in schmalem Bauteil, gerissener Beton, Hinterschnittdübel	325
9.2.6.3	Geländerbefestigung (Oberseite Bauteil), 4er-Gruppe am Rand, gerissener Beton, Stahlbolzendübel	332
9.2.6.4	Geländerbefestigung (Stirnseite Bauteil), 4er-Gruppe in schmalem Bauteil, gerissener Beton, Verbunddübel nach TR 029	341
9.3	Beispiele Bemessungsverfahren B und C	352
9.3.1	2er-Gruppe in der Bauteilecke, gerissener Beton, Bemessungsverfahren B	352
9.3.2	Befestigung einer abgehängten Decke, Bemessungsverfahren C	355
10	Zusammenfassung der Arbeits- bzw. Berechnungsschritte des CC-Verfahrens	357
11	Literatur	364

1 Aufbau und Ziel des Buchs

Die Bemessung von Befestigungen in Beton wird in der Praxis nahezu ausschließlich mit Bemessungsprogrammen realisiert, die in der Regel von den Herstellern von Befestigungssystemen kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Diese Programme ermöglichen die einfache und benutzerfreundliche Bemessung von Befestigungen unter verschiedenen Randbedingungen. Mit Vergleichsrechnungen kann schnell ein optimales Befestigungselement aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Befestigungsmittel für die vorliegende Bemessungssituation gefunden und der Auslastungsgrad maximiert werden. Die Nutzung solcher Programme verleitet jedoch den Anwender dazu, das Ergebnis der computergestützten Berechnung nicht kritisch zu hinterfragen.

Das vorliegende Buch wendet sich an interessierte Anwender von Bemessungsprogrammen für Befestigungen in Beton, die den Hintergrund der durchgeführten Berechnungsschritte nachvollziehen möchten. Mit den dargestellten Bemessungsbeispielen ist es letztendlich möglich, beliebige Anwendungsfälle ohne Unterstützung von Rechenprogrammen zu bemessen. Das Bemessungsverfahren ist im vorliegenden Buch bewusst einfach, ausführlich und anschaulich beschrieben, um es neben Ingenieuren auch Meistern, Studenten und Berufsschülern zugänglich zu machen.

Das Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton, das dem derzeitigen Stand der Technik entspricht (CC-Verfahren), wird ausführlich wissenschaftlich in [5] bzw. [6] hergeleitet und stark verkürzt in den Bemessungsrichtlinien [1], [2], [3], [4] und [9] erklärt. Für den praktischen Ingenieur, der das Verfahren anwenden möchte, können diese Quellen teilweise schwer verständlich sein. Der theoretische Hintergrund der Bemessungsverfahren ist komplex und basiert auf bruchmechanischen Ansätzen in Verbindung mit empirischen Gleichungen. An diesem Punkt soll das vorliegende Buch ansetzen. Es ist der notwendige Schritt, das Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton anschaulich und Schritt für Schritt zu erklären und mit Hilfe von Anwendungsbeispielen zu verdeutlichen. Auf die wissenschaftlichen Hintergründe der einzelnen Berechnungsformeln wird dabei nur so wenig als möglich eingegangen. Mit dem durch dieses Buch vermittelten Verständnis des Bemessungsverfahrens ist es dem Anwender möglich, computergestützte Ergebnisse zu interpretieren, gegebenenfalls kritisch zu hinterfragen und Anwendungen, die nicht mit den vorhandenen Programmen berechnet werden können, zu bemessen.

Im vorliegenden Buch wird das Bemessungsverfahren für Befestigungen mit Metalldübeln, Hinterschnittdübeln und Verbunddübeln in Beton nach ETAG 001, Annex C, [1] bzw. [2] und [3], und CEN TS [9], und für Verbunddübel zusätzlich nach TR 029 [4] erläutert und durch Beispiele verdeutlicht. Die Bemessung von Kopfbolzen wird anhand der CUAP [7] erklärt. Die Vorgehensweise nach [7] basiert auf der Bemessung nach ETAG 001, Annex C, mit einigen Modifikationen. Die Bemessung von Ankerschienen wird nicht behandelt.

Nach einem kurzen geschichtlichen Überblick zur Bemessung von Befestigungen in Kapitel 3 und einer Zusammenfassung zur Vorgehensweise bei der Bemessung (Kapitel 4), werden in Kapitel 5 die Bemessungsregeln bzw. -richtlinien und die Gleichungen zur Ermittlung der Widerstände von Befestigungen in Beton erklärt. Ziel der Erklärung des Bemessungsverfahrens ist es, nicht den Text der Richtlinien zu kopieren, sondern die Vorgehensweise bei der Bemessung möglichst anschaulich Schritt für Schritt zu erläutern. Dazu wurden einfache Beispiele in den ersten Teil des Buchs aufgenommen, um die dargestellten Gleichungen und Regeln direkt anhand eines ersten Beispiels zu verdeutlichen. Nach dem theoretischen Teil folgt ein Kapitel mit „grundlegenden Beispielen“ (Kapitel 6). In diesen Beispielen wird keine vollständige Bemessung durchgeführt, sondern es wird die Vorgehensweise bei der Bemessung mit dem CC-Verfahren systematisch getrennt für mögliche Versagensarten anhand der Variation verschiedener Parameter anschaulich erklärt. Kapitel 6 wird zum grundlegenden Verständnis des Bemessungsverfahrens beitragen.

In Kapitel 7 wird erläutert, wie in der Praxis die Auswahl eines geeigneten Befestigungsmittels durchgeführt werden kann. Es werden die wichtigsten Entscheidungskriterien für die Dübelauswahl dargelegt.

In Kapitel 9 werden dann zahlreiche praxisnahe Anwendungsbeispiele durchgerechnet. In allen Bemessungsbeispielen in diesem Buch werden fiktive Befestigungsmittel mit fiktiven Zulassungen verwendet. In den Bemessungsbeispielen wird auf die jeweilige Zulassung verwiesen. Die Beispielzulassungen sind in Kapitel 8 dargestellt. Sie sind praxisnah, entsprechen jedoch keinen auf dem Markt befindlichen Produkten.

Kapitel 10 fasst die Gleichungen des CC-Verfahrens übersichtlich zusammen. Dieser Abschnitt ist als Arbeitshilfe bei der Lösung praktischer Aufgaben gedacht und soll ebenfalls das Studium des vorliegenden Buchs erleichtern, so dass das erlangte Wissen anhand von Beispielen überprüft werden kann.

2 Bezeichnungen und Formelzeichen

Einwirkungen und Widerstände

F	Kraft allgemein (resultierende Kraft)
N	Normalkraft (Zug/Druck)
V	Querkraft/Schubkraft
M	Moment
γ	Teilsicherheitsbeiwert

Indizes

S	Einwirkung
R	Widerstand
M	Material
k	charakteristischer Wert
d	Bemessungswert
t	Torsion
s	Stahlversagen
c	Betonversagen
cp	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite („Pryout“)
p	Herausziehen
sp	Spalten
cb	Betonausbruch an der Bauteilseite bei Kopfbolzen („Blowout“)
re	Wert gültig für Rückhängebewehrung
u	maximaler Wert, Bruchwert
y	Fließgrenze
1	Richtung 1 (z. B. x- Richtung)
2	Richtung 2 (z. B. y- Richtung)
min	minimaler Wert (z. B. Achs- und Randabstände)
cr	charakteristischer Wert (z. B. Achs- und Randabstände)
N	Wert für Bemessung bei Zugbelastung
V	Wert für Bemessung bei Querbelastrung
s	als Index eines ψ -Wertes: Randeinfluss
h	als Index eines ψ -Wertes: Einfluss der Plattendicke
ec	als Index eines ψ -Wertes: Einfluss der Exzentrizität
re	als Index eines ψ -Wertes: Bewehrungseinfluss
ucr	als Index eines ψ -Wertes: ungerissener Beton
cr	als Index eines ψ -Wertes: gerissener Beton
g	als Index eines ψ -Wertes: Gruppeneinfluss

Wichtige Beispiele für Bezeichnungen von Einwirkungen und Widerständen

N_{Sd}	Bemessungswert der Einwirkung (Normalkraft)
V_{Sd}	Bemessungswert der Einwirkung (Querkraft)
M_{Sd}	Bemessungswert der Einwirkung (Moment)

$N_{Rd,s}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Stahlversagen (Zugkraft)
$N_{Rd,c}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Betonausbruch (Zugkraft)
$N_{Rd,p}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Herausziehen (Zugkraft)
$N_{Rd,sp}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Spalten (Zugkraft)
$N_{Rd,cb}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart lokaler Betonausbruch (Zugkraft)
$V_{Rd,s}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Stahlversagen (Querkraft)
$V_{Rd,c}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Betonkantenbruch (Querkraft)
$V_{Rd,cp}$	Bemessungswert des Widerstandes, Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Querkraft)
$N_{Rk,c}^0$	Grundwert des charakteristischen Widerstandes, Versagensart Betonausbruch, Einzeldübel in der Fläche
$V_{Rk,c}^0$	Grundwert des charakteristischen Widerstandes, Versagensart Betonkantenbruch, Einzeldübel am Rand
$N_{Rk,s}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Stahlversagen (Zugkraft)
$N_{Rk,c}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Betonausbruch (Zugkraft)
$N_{Rk,p}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Herausziehen (Zugkraft)
$N_{Rk,sp}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Spalten (Zugkraft)
$N_{Rk,cb}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart lokaler Betonausbruch (Zugkraft)
$V_{Rk,s}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Stahlversagen (Querkraft)
$V_{Rk,c}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Betonkantenbruch (Querkraft)
$V_{Rk,cp}$	charakteristischer Widerstand, Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Querkraft)
N^h	Belastung des höchstbelasteten Dübels einer Gruppe (Normalkraft, z. B. N_{Sd}^h)
V^h	Querbelastung des höchstbelasteten Dübels einer Gruppe (z. B. V_{Sd}^h)

Beton und Stahl

$f_{ck,cube}$	charakteristische Betondruckfestigkeit (Wert gemessen an Würfeln mit Kantenlänge 150 mm)
f_{yk}	charakteristische Fließgrenze des Stahls
f_{uk}	charakteristische Zugfestigkeit des Stahls
A_s	Spannungsquerschnitt des Stahls
W_{el}	elastisches Widerstandsmoment

Abstände und Dimensionen

a_i	Abstand zwischen den äußeren Dübeln benachbarter Befestigungsgruppen in Richtung i
b	Breite Betonplatte
c_i	Randabstand in Richtung i
c_{cr}	charakteristischer Randabstand für Bemessungsverfahren B oder C
$c_{cr,N}$	charakteristischer Randabstand für Bemessungsverfahren A, Versagensart Betonausbruch (Zug)
$c_{cr,sp}$	charakteristischer Randabstand für Bemessungsverfahren A, Versagensart Spalten (Zug)
$c_{cr,V}$	charakteristischer Randabstand für Bemessungsverfahren A, Versagensart Betonkantenbruch (Querlast)
c_{min}	minimaler Randabstand
d	Durchmesser des Ankerbolzens oder Gewindes
d_{nom}	Außendurchmesser des Dübels
d_0	Bohrlochdurchmesser
h	Dicke der Betonplatte
h_{min}	minimale Dicke der Betonplatte
h_{ef}	effektive Verankerungstiefe
l_f	Bettungslänge des Dübels bei Bemessung für Betonkantenbruch
s_i	Achsabstand von Dübeln in einer Gruppe in Richtung i
s_{cr}	charakteristischer Achsabstand für Bemessungsverfahren B oder C
$s_{cr,N}$	charakteristischer Achsabstand für Bemessungsverfahren A, Versagensart Betonausbruch (Zug)
$s_{cr,sp}$	charakteristischer Achsabstand für Bemessungsverfahren A, Versagensart Spalten (Zug)
$s_{cr,V}$	charakteristischer Achsabstand für Bemessungsverfahren A, Versagensart Betonkantenbruch (Querlast)
s_{min}	minimaler Achsabstand
s_{Bew}	Achsabstand vorhandener Bewehrung
I	Trägheitsmoment

Wichtige Bezeichnungen in den Bemessungsgleichungen

A	Projizierte Fläche (z. B. $A_{c,N}$ (Betonausbruch), $A_{c,sp}$ (Spalten), $A_{c,V}$ (Betonkantenbruch))
A^0	Grundwert der projizierten Fläche (i. d. R. Einzeldübel ohne Einfluss eines weiteren Randes (z. B. $A_{c,N}^0$ (Betonausbruch), $A_{c,sp}^0$ (Spalten), $A_{c,V}^0$ (Betonkantenbruch))
ψ	Abminderungs- oder Erhöhungsfaktoren für verschiedene Einflüsse (z. B. $\psi_{s,N}$ (Betonausbruch-Randeeinfluss), $\psi_{h,V}$ (Betonkantenbruch-Einfluss Plattendicke))

3 Geschichtliche Entwicklung der Bemessungsmethoden für Dübel in Deutschland

Dr.-Ing. Werner Fuchs

In den Verankerungsgrund eingemörtelte Stahlteile (Mörtelanker) beherrschten über mehr als 2000 Jahre hinweg bis ins 20. Jahrhundert hinein die nachträgliche Befestigungstechnik. Die Bemessung dieser Befestigungen beruhte rein auf Erfahrung. 1920 schließlich wurde durch John Rawlings in England mit der Erfindung des ersten Metallspreizdübels in der Befestigungstechnik ein Wandel hinsichtlich Produktvielfalt und Bemessung eingeleitet.

Die konsequente Umsetzung der Dübeltechnik auf dem Markt erfolgte allerdings erst ab ca. 1960 mit kleinen Dübeldurchmessern, da zu dieser Zeit die Bohrtechnik noch nicht dazu in der Lage war, größere Bohrlöcher mit akzeptablem wirtschaftlichen Aufwand herzustellen. Die Entwicklung elektrischer Bohrmaschinen hatte gerade erst begonnen. Die Dübel wurden mit technischen Daten zur Anwendung vermarktet, die auf der Vermutung beruhten, dass Zuglasten die ungünstigste Beanspruchungsrichtung darstellen. Da keine Erfahrungen mit der Dübeltechnik vorlagen, beruhten die empfohlenen Lasten der Dübelhersteller im Wesentlichen auf der Auswertung von Zugversuchen, die in der Mitte von Betonplatten in ungerissenem Beton durchgeführt wurden. Die empfohlene Last wurde aus dem Mittelwert der Versuchsergebnisse, der durch einen globalen Sicherheitsbeiwert mit dem Wert $\gamma = 4$ bis 5 dividiert wurde, bestimmt.

Der Durchbruch der konstruktiven nachträglichen Befestigungstechnik erfolgte etwa um 1970 mit der Verbreitung der Hammerbohrtechnik. Hierdurch war es möglich große Bohrlöcher wirtschaftlich herzustellen, so dass auch Dübel mit großen Durchmessern zur Übertragung hoher Lasten verankert werden konnten. Die mangelnde Erfahrung und der unzureichende Kenntnisstand zum Tragverhalten solcher Dübel führten in diesem Zeitraum zu mehreren Unfällen, unglücklicherweise auch mit tödlichem Ausgang. Daher wurde das damalige Institut für Bautechnik, Berlin (IfBt) aktiv und gründete 1972 den Sachverständigenausschuss SVA „Ankerschienen und Dübel“. Die Aufgabe des SVA bestand zunächst darin, Anwendungsbedingungen festzulegen. Daraus wurden reproduzierbare Versuche und einheitliche Auswertemethoden und -kriterien definiert und in Zulassungsleitlinien dokumentiert.

Auf Grundlage dieser ersten Zulassungsleitlinien konnten 1975 Zulassungsbescheide für Metaldübel als Einzelbefestigung mit großen Rand- und Achsabständen zur Anwendung im ungerissenen Beton erstellt werden. Kurze Zeit später folgten Zulassungsbescheide für Einlegeteile. Sie enthielten zulässige Lasten, denen eine statistische Versuchsauswertung auf Basis der 5%-Fraktile zugrunde lag. Der globale Sicherheitsbeiwert gegen die Versagensart Stahlbruch wurde zu $\gamma = 1,75$ gegen den charakteristischen Widerstand (5%-Fraktile) angesetzt, der globale Sicherheitsbeiwert gegen den charakteristischen Widerstand bei der Versagensart Betonbruch betrug $\gamma = 3,0$. Die angegebene zulässige Last

galt für alle Beanspruchungsrichtungen. Es wurde immer noch davon ausgegangen, dass die Zugbeanspruchung der maßgebende Versagensfall ist. Es zeigte sich jedoch rasch, dass die in diesen ersten Zulassungsbescheiden angegebenen Anwendungsbedingungen bei weitem nicht den Anforderungen der Baupraxis genügten.

Folgerichtig erschienen, basierend auf dem Wissenszuwachs in der Befestigungstechnik, 1978 Zulassungsbescheide, in denen auch die Anwendung von Zweifachbefestigungen geregelt wurde, und im Jahre 1979 die erste Zulassung für einen einzelnen Dübel zum Einsatz im gerissenen Beton. Die zulässige Last betrug in diesem Fall für einen Dübel mit einer Verankerungstiefe von 80 mm jedoch nur 1,5 kN. In diesem Zeitraum wurde auch das sogenannte Kappa-Verfahren entwickelt [20], mit dem zugbeanspruchte Zwei- und Vierfachbefestigungen mit kleinen Randabständen unter Berücksichtigung des Einflusses der Betonfestigkeit des Verankerungsgrundes bemessen werden konnten. Daraufhin erschienen 1984 sogenannte Zulassungen der neueren Generation für Dübel in gerissenem und ungerissenem Beton, die es ermöglichten praxisgerechte nachträgliche Befestigungen herzustellen. Dabei wurden den Dübeln zulässige Lasten nach Lastklassen zugeordnet. Diese zulässigen Lasten galten noch immer für alle Beanspruchungsrichtungen.

Basierend auf dem Kappa-Verfahren, das 1988 zur Anwendung auf Querlasten erweitert wurde [21], wurde 1990 das CC-Verfahren (CC Concrete Capacity, in den USA: CCD Concrete Capacity Design) entwickelt, mit dessen Hilfe der Widerstand bei der Versagensart Betonausbruch bei allen Beanspruchungsrichtungen einfacher und durch den Ansatz eines Betonausbruchwinkels von 35° auch wirtschaftlicher als mit dem Kappa-Verfahren berechnet werden konnte. Nähere Informationen hierzu enthält [18].

Das CC-Verfahren zur Bemessung von Verankerungen mit der Versagensart Betonausbruch wurde 1993 in der Bemessungsrichtlinie des DIBt [22] berücksichtigt. Das dort enthaltene Bemessungsverfahren unterscheidet die Bemessung nach dem Widerstand in unterschiedlichen Beanspruchungsrichtungen und für verschiedene Versagensarten. Zudem wurde das Sicherheitskonzept geändert. Es werden charakteristische Widerstände berechnet und daraus mit Hilfe von Teilsicherheitsbeiwerten Entwurfswiderstände ermittelt, die größer sein müssen als die Entwurfseinwirkungen. Die zur Berechnung erforderlichen Werte sind einer neuen Zulassungsgeneration zu entnehmen. Der Name CC-Verfahren steht inzwischen als Synonym für dieses Bemessungsverfahren.

Nachdem über 20 Jahre hinweg vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) nationale „Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen“ erteilt wurden, wurde im Jahre 1998 die erste Europäische Technische Zulassung veröffentlicht, die eine europaweit harmonisierte Verwendung der Befestigungsmittel erlaubt. Damit hat im Vorschriftenwesen der Befestigungstechnik eine neue Zeitrechnung eingesetzt. Dies zeigt nicht zuletzt die in Bild 3.1 zwischen 1998 und 2008 dargestellte Zunahme der für nachträgliche Befestigungsmittel erteilten Europäisch Technischen Zulassungen, die die produktspezifischen Grundwerte für die Bemessung nach dem aktuellen Stand des CC-Verfahrens enthalten.

Dazu wurde das Verfahren aus der DIBt-Richtlinie von 1993 mit geringfügigen Modifikationen in die europäische Zulassungsleitlinie ETAG 001, Annex C [2] bzw. [3], und in 2008 mit weiteren geringen Änderungen in prEN1992-4, [9] übernommen. Damit steht den Planern, Ausführenden und Ingenieuren ein ausgereiftes Werkzeug zur sicheren und wirtschaftlichen Bemessung der Verankerung von Befestigungsmitteln zur Verfügung, das im Folgenden eingehend in der Anwendung beschrieben wird.

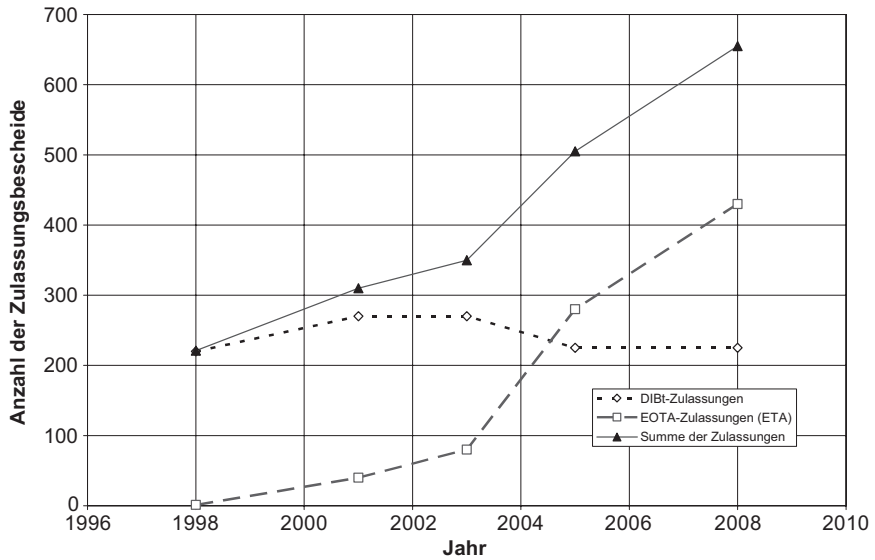


Bild 3.1 Zunahme der Anzahl der Zulassungsbescheide seit Einführung der Europäischen Technischen Zulassungen

4 Vorgehensweise bei der Bemessung von Befestigungen

Das grundlegende Ziel der Bemessung von Befestigungen ist es den Nachweis zu erbringen, dass der Bemessungswert der Einwirkung S_d kleiner ist als der Bemessungswert des Widerstandes R_d , Gl. (3.1). Die Grundlagen zur Durchführung dieses Bemessungsnachweises werden im folgenden Kapitel 5 ausführlich erläutert.

$$S_d \leq R_d \quad (3.1)$$

mit

S_d Bemessungswert der Einwirkung

R_d Bemessungswert des Widerstandes.

Die Bemessung von Befestigungen mit dem CC-Verfahren wird stets für Befestigungspunkte durchgeführt. Ein Befestigungspunkt kann aus einem oder mehreren Dübeln bzw. Kopfbolzen bestehen. Die Dübel oder Kopfbolzen müssen dabei durch eine gemeinsame Ankerplatte miteinander verbunden sein. Als Beispiel zeigt Bild 4.1 drei Befestigungspunkte: eine Befestigung mit einem Einzeldübel, eine Ankerplatte mit zwei Dübeln (2er-Gruppe) und eine Ankerplatte mit vier Dübeln (4er-Gruppe).

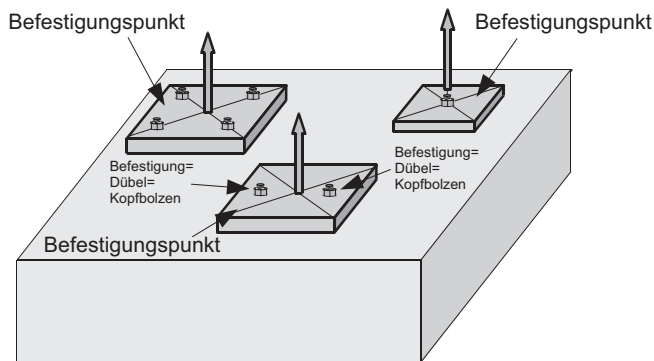


Bild 4.1 Beispiele von drei Befestigungspunkten (Dübel oder Kopfbolzen, die durch eine gemeinsame Ankerplatte miteinander verbunden sind): Einzeldübel, 2er-Gruppe und 4er-Gruppe

Zur Berechnung des Bemessungswertes der Einwirkung S_d auf einen Befestigungspunkt müssen die äußeren Belastungen der Ankerplatte der zu bemessenden Befestigung aus statischen Berechnungen bekannt sein. In den statischen Berechnungen wird in der Regel angenommen, dass die Befestigungen unverschieblich sind. Diese Annahme ist eine Vereinfachung, da Befestigungen infolge angreifender Lasten Verschiebungen aufweisen. Sie liefert jedoch für die meisten Anwendungsfälle ausreichend genaue Ergebnisse. Auf die Ermittlung der äußeren

ren Belastungen der Ankerplatte wird im Folgenden nicht weiter eingegangen. Sie werden als bekannt aus den statischen Berechnungen vorausgesetzt. Aus den Bemessungswerten der angreifenden äußeren Belastungen (Normalkräfte, Querkkräfte, Biegemomente oder Torsionsmomente) werden im ersten Schritt der Bemessung die Dübelkräfte der einzelnen Dübel oder Kopfbolzen des zu bemessenden Befestigungspunktes berechnet. Aus den Kräften der Einzeldübel kann dann die Exzentrizität der resultierenden Kraft berechnet werden. Diese geht als Ausgangswert in die Bemessungsgleichungen ein. Weiterhin wird die Belastung des höchstbelasteten Dübels einer Befestigungsgruppe für einzelne Bemessungsnachweise benötigt. Die Berechnung der Verteilung der Dübelkräfte in einer Befestigungsgruppe ist in Kapitel 5.8.1 beschrieben.

Im zweiten Schritt der Bemessung wird überprüft, ob die Anwendungsbedingungen der zu bemessenden Befestigungssituation durch die in der Zulassung des gewählten Befestigungsmittels angegebenen Werte abgedeckt sind. Beispielsweise werden die vorhandenen Achs- und Randabstände mit den Werten aus der Zulassung verglichen. Die Überprüfung der zulässigen Anwendungsbedingungen wird ausführlich in den einzelnen Bemessungsbeispielen in Kapitel 9 gezeigt. Der Bemessungswert des Widerstandes R_d (Tragfähigkeit) der zu bemessenden Befestigungssituation wird dann mit Hilfe des CC-Verfahrens berechnet. Zur Berechnung des charakteristischen Widerstandes stehen drei unterschiedliche Bemessungsverfahren zur Verfügung: Bemessungsverfahren A, B und C. Die Unterschiede zwischen diesen Bemessungsverfahren werden in Kapitel 5.4 erläutert. Die Ermittlung des maßgebenden Widerstandes (charakteristischer Wert und Bemessungswert) eines Befestigungspunktes für das ausführlichste Bemessungsverfahren (Bemessungsverfahren A) wird im Wesentlichen in Kapitel 5.8 erklärt. Bei der Berechnung des Widerstandes einer Befestigungssituation sind in der Regel die unterschiedlichen möglichen Versagensarten einer Befestigung in Beton (z. B. Betonausbruch, Herausziehen oder Stahlversagen, vgl. Kapitel 5.3) zu berücksichtigen. Einige Nachweise werden dabei für die höchstbelastete Befestigung geführt (z. B. Stahlversagen), während bei anderen Nachweisen (z. B. Betonausbruch) die Gruppentragfähigkeit berechnet wird. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit der Befestigungssituation wird letztendlich durch den Vergleich des ermittelten maßgebenden Bemessungswertes des Widerstandes mit dem Bemessungswert der Einwirkung nachgewiesen, Gl. (3.1). Zusätzlich muss bei einer Bemessung von Befestigungen auch der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden. Hinweise hierzu enthält Kapitel 5.7.3.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Bauteile, in denen Befestigungen ausgeführt werden, durch die Dübelkräfte und durch die Einwirkungen auf die Dübel beansprucht werden. Deshalb ist die Einhaltung verschiedener konstruktiver Regelungen erforderlich und der Nachweis der Bauteiltragfähigkeit für die angreifenden Dübelkräfte ist zu führen. In Kapitel 5.11 sind die erforderlichen Regelungen und Nachweise zusammengefasst.

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Bemessung von Befestigungen ist in Bild 4.2 dargestellt.

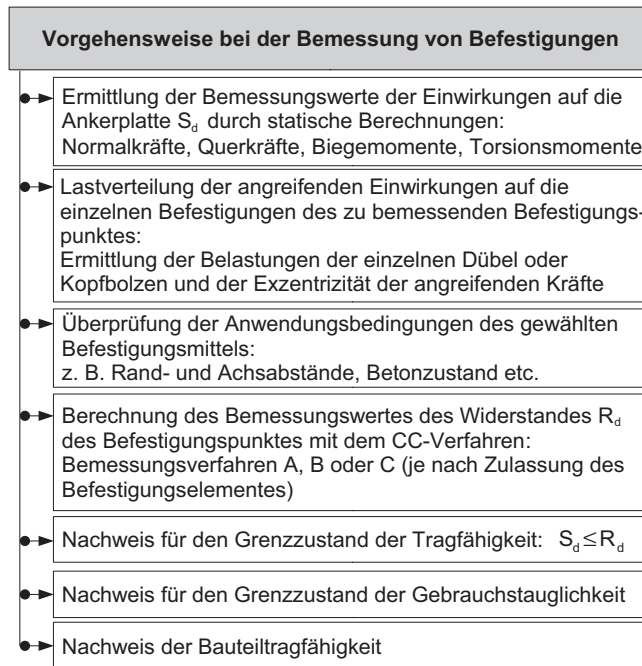


Bild 4.2 Zusammenfassung der Vorgehensweise bei der Bemessung von Befestigungen

5 Bemessung von Metalldübeln und Kopfbolzen nach ETAG 001, Annex C bzw. CUAP und CEN TS

5.1 Allgemeines

Metalldübel, Hinterschnittdübel oder Kopfbolzen mit europäisch technischer Zulassung (European Technical Approval, ETA) und einige Befestigungsmittel mit nationaler deutscher bauaufsichtlicher Zulassung werden nach heutigem Stand der Technik, dem CC-Verfahren, bemessen.

Das CC-Verfahren ist ein anschauliches und modernes Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton, das bei der Bemessung die unterschiedlichen möglichen Versagensarten eines Befestigungselementes unter Zugbelastung und Querbelastung in Beton unterscheidet.

Die Abkürzung „CC“ steht für den englischen Begriff „Concrete Capacity“, weil Befestigungssysteme die Tragfähigkeit des Betons ausnutzen. Die wissenschaftlichen Grundlagen des CC-Verfahrens und dessen Ableitung sind ausführlich in [5] und [6] erklärt.

In einigen älteren bauaufsichtlichen Zulassungen (in der Regel nationale Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik, DIBt) findet sich noch die Bemessung mit dem so genannten κ -Verfahren (κ = Kappa, Vorläufer des CC-Verfahrens, [5]). Diese Zulassungen verlieren jedoch in den nächsten Jahren ihre Gültigkeit oder werden durch ETA-Zulassungen ersetzt, die dann auf dem CC-Verfahren basieren werden. Im vorliegenden Buch wird deshalb auf das κ -Verfahren nicht eingegangen. Für interessierte Leser wird auf die jeweiligen Zulassungen oder [5] verwiesen.

In Kapitel 5.8 wird zunächst das CC-Verfahren zur Bemessung von Metaldübeln, Hinterschnittdübeln sowie von Kopfbolzen erklärt, da deren Tragverhalten ähnlich ist. Die Bemessung von Verbund- bzw. Injektionsdübeln in Beton wird in Kapitel 5.9 getrennt erläutert, da für Verbunddübel derzeit zwei Bemessungsverfahren zur Verfügung stehen und das Tragverhalten von Verbunddübeln deutlich vom Verhalten von Kopfbolzen und Metaldübeln abweicht.

5.2 Bearbeitungsstand der Bemessungsregelungen für Befestigungen in Beton

Das CC-Verfahren zur Bemessung von Befestigungen mit Metaldübeln in Beton ist im Annex C der ETAG 001 beschrieben, [2] und [3]. Der Annex C wurde im Laufe des Jahres 2008 überarbeitet und an den aktuellen Stand der Technik angepasst. Der bis 2008 gültige Annex C, [2], wird in einer Übergangsphase in einigen Zulassungen bzw. Bemessungsprogrammen noch als Referenz verwendet werden. Die wesentlichen Regelungen bzw. Unterschiede werden daher im vorliegenden Buch ebenfalls erläutert.

Die derzeit gültige Fassung des Annex C ist in [3] dargestellt. Diese aktuellen Regelungen sind ebenfalls in der Bemessungsrichtlinie für Verbunddübel (TR 029, [4]) berücksichtigt (siehe Kapitel 5.9.2). Die Regelungen in [3] entsprechen dem derzeitigen Stand der Technik und werden in den folgenden Kapiteln erläutert. Bei der Erklärung des Bemessungsverfahrens für Metaldübel und

Kopfbolzen in Beton wird im Folgenden hervorgehoben, welche Passagen aus der aktuelleren Bemessungsrichtlinie [3] oder aus der bis 2008 gültigen Fassung [2] entnommen wurden.

Für Verbunddübel ist zu beachten, dass derzeit zwei gültige Bemessungsverfahren zur Verfügung stehen. Das Bemessungsverfahren für Verbunddübel nach ETAG 001, Annex C, basiert auf dem Bemessungsverfahren für Metalldübel in Beton mit Modifikationen zur Berücksichtigung des Tragverhaltens von Verbunddübeln. Das neue Bemessungsverfahren nach TR 029 [4] berücksichtigt hingegen typische Versagensarten von Verbunddübeln in Beton genauer durch zusätzliche Gleichungen. In Kapitel 5.9 werden für Verbunddübel beide Bemessungsverfahren erklärt.

Die Bemessung von Kopfbolzen in Beton wird in Anlehnung an den Annex C der ETAG 001 durchgeführt. Sie ist beispielsweise in den jeweiligen Zulassungen von Kopfbolzen beschrieben. Eine produktunabhängige Darstellung der Bemessung von Kopfbolzen in Beton enthält die CUAP für „Stahlplatten mit einbetonierten Ankerbolzen“, [7]. Diese CUAP (CUAP Common Understanding Assessment Procedure) ist ausschließlich in Verbindung mit ETAG 001 gültig. Im vorliegenden Buch werden die Regelungen für Kopfbolzen entsprechend [7] dargestellt. Kopfbolzen, die nach [7] bemessen werden können, müssen ein Verhältnis zwischen Kopf- und Schaftdurchmesser größer als 1,6 aufweisen. Im Laufe des Jahres 2009 wird eine Vornorm veröffentlicht, in der die Bemessung von Befestigungen in Beton allgemein geregelt ist (Normenentwurf prEN 1992-4, im Folgenden als „CEN TS“ bezeichnet, [9]). Die aktuellen Regelungen aus [3], [4] und [7] für Befestigungen mit Metalldübeln, Hinterschnittdübeln, Verbunddübeln und Kopfbolzen sind ebenfalls im Entwurf der Bemessungsnorm für Befestigungen in Beton CEN TS [9] berücksichtigt. Der Unterschied zwischen dem seit 2008 gültigen Annex C bzw. TR 029 und CEN TS bei der Bemessung von Metalldübeln, Hinterschnittdübeln, Verbunddübeln und Kopfbolzen in Beton ist gering. Die Bemessungsnorm fasst im Grunde alle bisher beschriebenen Richtlinien zusammen. Der Inhalt von [9] ist zusätzlich in Teilbereichen wesentlich umfassender, da unter anderem zusätzlich die Bemessung von Ankerschienen, die Bemessung bei Ermüdungsbelastung und seismischer Belastung berücksichtigt werden.

5.3 Versagensarten von Befestigungen in Beton

Bei der Bemessung einer Befestigung mit dem CC-Verfahren werden unterschiedliche mögliche Versagensarten einer Befestigungssituation untersucht. Die Versagensart mit dem geringsten Bemessungswert des Widerstandes („geringste Traglast“) ist bei der Bemessung maßgebend.

Für *Zugbelastung* unterscheidet das CC-Verfahren die Versagensarten Stahlbruch, Herausziehen des Befestigungselementes, Betonausbruch und Spalten des Betons, Bild 5.1. Zusätzlich ist bei randnahen Kopfbolzen und Zugbelastung die Versagensart lokaler Betonausbruch („Blowout“) zu berücksichtigen, Bild 5.1.

Für *Querbelastung* werden die Versagensarten Stahlbruch (Abscheren des Bolzens oder Biegeversagen), Betonkantenbruch und Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite („Aushebeln des Betons“, „Pryout“) unterschieden, Bild 5.2.

Fotos der einzelnen Versagensarten sind beispielhaft in Bild 5.3 (Zug) und in Bild 5.4 (Querlast) gezeigt.

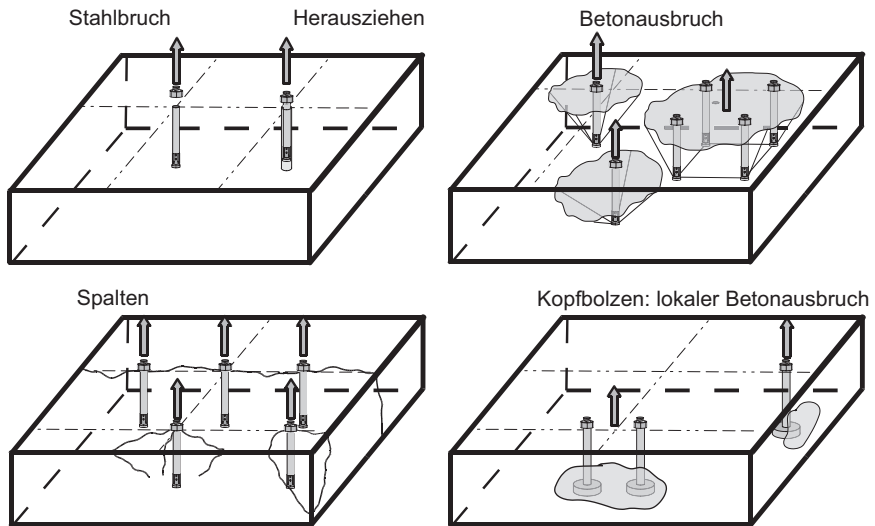


Bild 5.1 Mögliche Versagensarten eines Befestigungselementes unter Zugbelastung in Beton

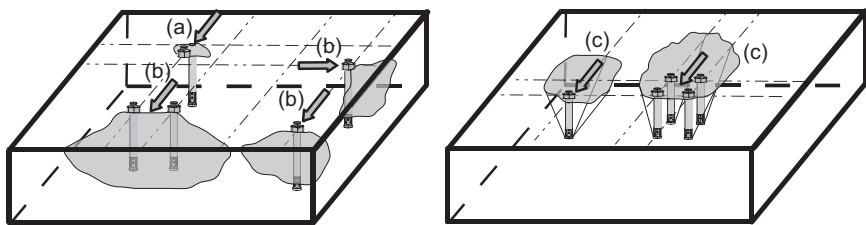


Bild 5.2 Mögliche Versagensarten eines Befestigungselementes unter Querbelastung in Beton; (a) Stahlbruch, (b) Betonkantenbruch, (c) Betonausbruch lastabgewandte Seite

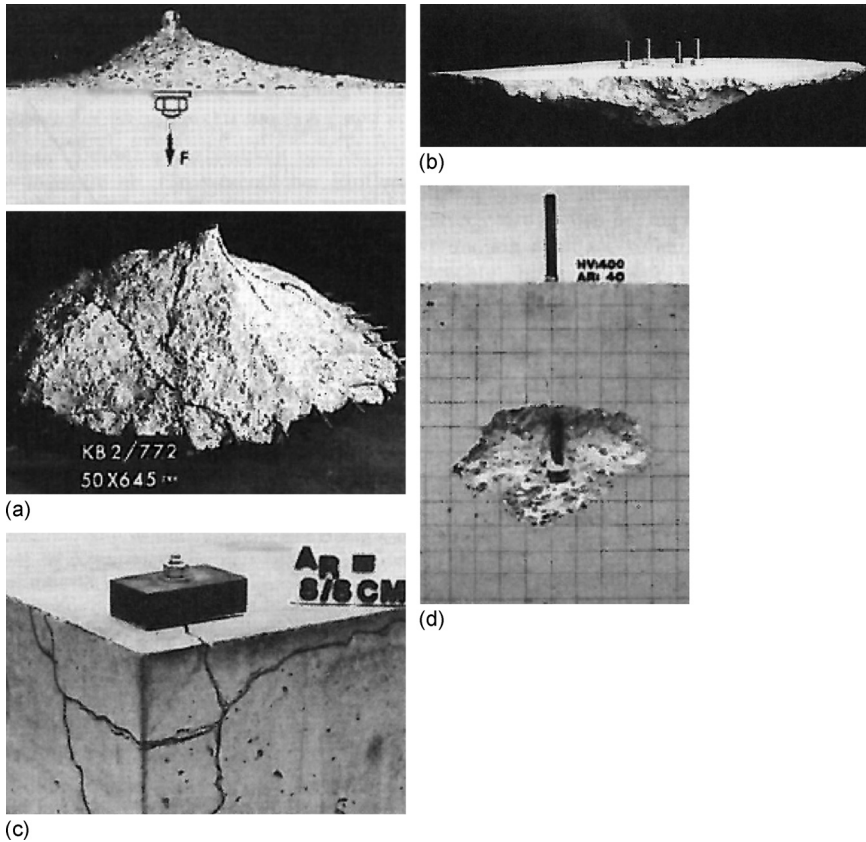


Bild 5.3 Mögliche Versagensarten eines Befestigungselementes unter Zugbelastung in Beton, Fotos aus [5], Quellen [10] bis [12]

(a) Versagensart Betonausbruch, (b) Versagensart Betonausbruch (Gruppe), (c) Versagensart Spalten (hier bei der Montage), (d) Versagensart lokaler Betonausbruch (Kopfbolzen)

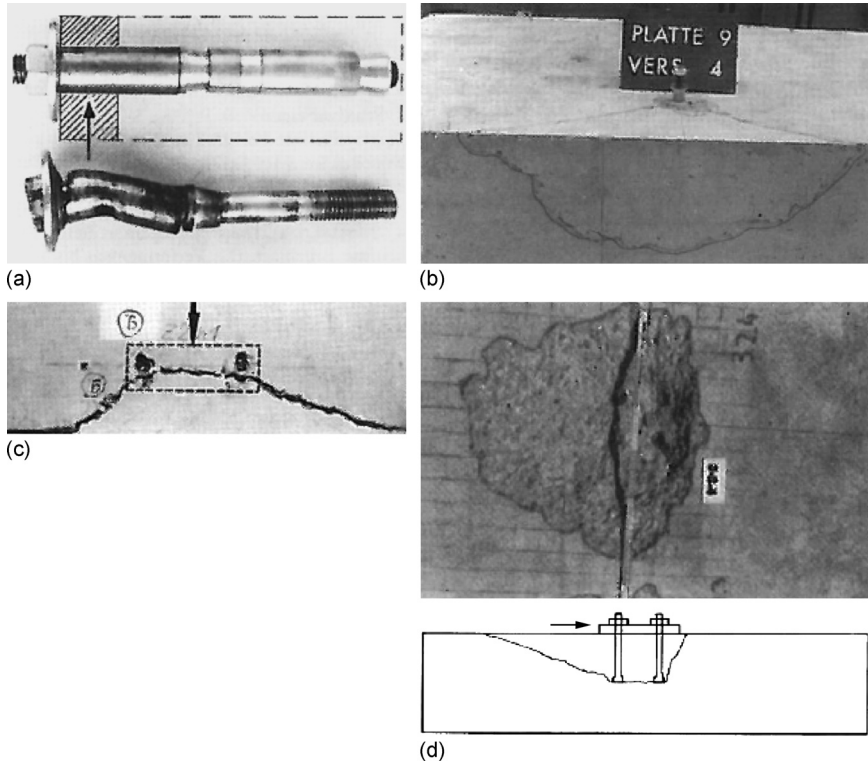


Bild 5.4 Mögliche Versagensarten eines Befestigungselementes unter Querbelastung in Beton, Fotos aus [5], Quellen [13] bis [16]

(a) Versagensart Stahlversagen unter Querlast, (b) Versagensart Betonkantenbruch, (c) Versagensart Betonkantenbruch (Gruppe), (d) Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite

5.4 Mögliche Bemessungsverfahren

In den Bemessungsrichtlinien ETAG 001, Annex C, und CEN TS werden drei Bemessungsverfahren unterschieden: Bemessungsverfahren A, B und C. Das anzuwendende Bemessungsverfahren für das gewählte Befestigungselement ist in der jeweiligen Zulassung angegeben.

Bemessungsverfahren A ist das ausführlichste zur Verfügung stehende Verfahren. Es wird im Folgenden eingehend erläutert. Der charakteristische Widerstand wird unter Berücksichtigung aller möglichen Versagensarten, des Einflusses der Betondruckfestigkeit, der Einflüsse von Rand- und Achsabständen und des Einflusses der Lastrichtung auf den charakteristischen Widerstand berechnet. Die Berechnung der charakteristischen Widerstände mit dem Bemessungsverfahren A wird in Kapitel 5.8 bis 5.10 beschrieben.

Im Vergleich zum Bemessungsverfahren A ist das *Bemessungsverfahren B* ein vereinfachtes Verfahren. In der Zulassung eines entsprechenden Befestigungselementes sind ein Bemessungswert des Widerstandes und die zugehörigen

charakteristischen Abstände (Rand- und Achsabstand) angegeben. Der angegebene Widerstand gilt für eine Einzelbefestigung in der Fläche für alle Lastrichtungen und alle Betonfestigkeitsklassen. Unterschiedliche Versagensarten, wie zum Beispiel in Bild 5.1 oder Bild 5.2 dargestellt, werden nicht berücksichtigt. Der Einfluss von Rändern und Gruppen auf den charakteristischen Widerstand wird vereinfacht bei der Bemessung berücksichtigt. Dies führt zu einem geringeren Rechenaufwand bei der Bemessung, jedoch auch zu konservativeren Widerständen. Das Bemessungsverfahren B wird in Kapitel 5.12 beschrieben. Das *Bemessungsverfahren C* ist das einfachste Bemessungsverfahren. Ein Bemessungswert des Widerstandes ist unter Einhaltung der angebenen Mindestabstände (Rand- und Achsabstand) gültig für alle Lastrichtungen, Betonfestigkeitsklassen und Versagensarten. Gruppen oder Ränder werden nicht berücksichtigt. Das Bemessungsverfahren C wird in Kapitel 5.13 beschrieben.

5.5 Anwendungsbereiche und Voraussetzungen der Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton

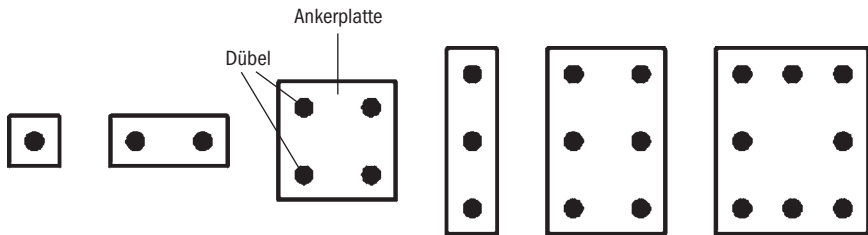
Der Anwendungsbereich des Bemessungsverfahrens nach ETAG 001, Annex C, TR 029, CEN TS und CUAP (Kopfbolzen) deckt im Wesentlichen Betone der Betonfestigkeitsklassen zwischen C20/25 und C50/60 ab. Abweichungen von diesem Festigkeitsbereich sind in den entsprechenden Zulassungen angegeben. In allen folgenden Bemessungsgleichungen muss die Festigkeit des Betons, ermittelt an Würfeln mit Kantenlänge 150 mm, verwendet werden (Bezeichnung: $f_{ck,cube}$). Die angegebenen Bereiche der Betonfestigkeitsklassen müssen bei der Anwendung und bei der Bemessung von Befestigungen eingehalten werden, da die Eignung der Befestigungsmittel im Zulassungsverfahren nur in Betonen der angegebenen Festigkeitsklassen nachgewiesen wurde.

Es können Befestigungen im gerissenen und ungerissenen Beton bemessen werden. In der Regel ist von gerissenem Beton auszugehen. Ungerissener Beton muss durch zusätzliche Berechnungen nachgewiesen werden (siehe Kapitel 5.7.2).

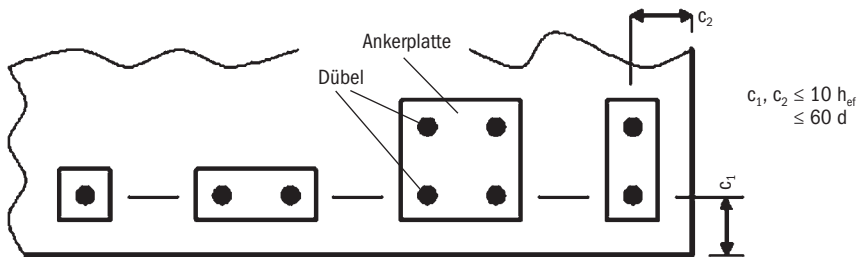
Der zulässige Anwendungsbereich eines Befestigungsmittels ist ebenfalls in der jeweiligen Zulassung (z. B. ETA) genau definiert. Es gibt Zulassungen für Dübel, die im gerissenen *und* ungerissenen Beton bzw. *nur* im ungerissenen Beton eingesetzt werden dürfen. Weiterhin sind in den Zulassungen die zulässigen Umgebungsbedingungen hinsichtlich Korrosion (z. B. Innenräume oder Außenbereich) und Temperatur definiert. Die Angaben in den Zulassungen sind stets genauestens bei vorliegenden Anwendungsfällen zu berücksichtigen.

Das Bemessungsverfahren gilt für Einzeldübel und Dübelgruppen unter der Annahme einer ausreichend steifen Ankerplatte. Die einwirkenden Lasten werden nach der Elastizitätstheorie gleichmäßig auf die Einzeldübel einer Dübelgruppe verteilt. In einer Befestigungsgruppe dürfen nur Befestigungselemente des gleichen Typs, Herstellers, Durchmessers und der gleichen Verankerungstiefe verwendet werden.

Nach [3] und [4] bzw. [9] gilt das Verfahren für randferne Befestigungen (Randabstand $c > 10 \cdot h_{ef}$ (h_{ef} Verankerungstiefe) und $60 \cdot d$ (d Nenndurchmesser der Ankerstange)) für Dübelgruppen mit 1 bis 8 Befestigungsmitteln in einer quadratischen oder rechteckigen Anordnung für Belastungen in alle Richtungen. Für randnahe Befestigungen (Randabstand $c \leq 10 \cdot h_{ef}$ und $60 \cdot d$) gilt diese Regelung nur, wenn die Befestigungsgruppen ausschließlich auf Zug belastet sind. Bei randnahen Befestigungen mit Querbelastung ist das Bemessungsverfahren auf Gruppen mit 1 bis 4 Befestigungsmitteln beschränkt (siehe Bild 5.5). Befestigungen mit Kopfbolzen können für Befestigungsgruppen mit rechteckiger Anordnung bis zu neun Bolzen je Ankerplatte berechnet werden, [7].



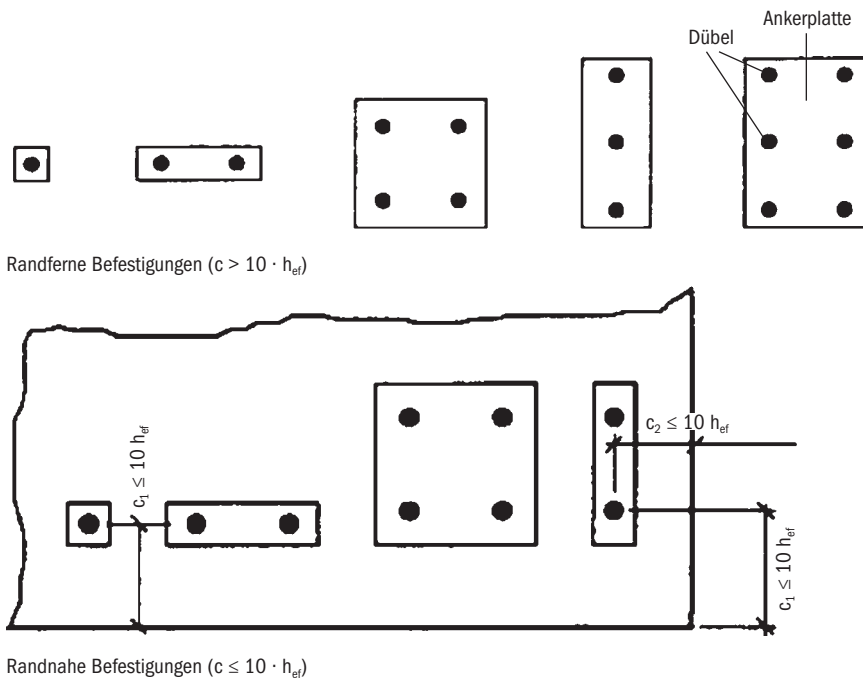
Randferne Befestigungen ($c > 10 \cdot h_{ef}$ und $60 \cdot d$), Zugbelastung und Querbelastung
 Randnahe Befestigungen ($c \leq 10 \cdot h_{ef}$ und $60 \cdot d$), nur Zugbelastung



Randnahe Befestigungen ($c \leq 10 \cdot h_{ef}$ und $60 \cdot d$), bei Querbelastung

Bild 5.5 Anwendungsbereich der Bemessungsverfahren nach ETAG 001, Annex C und TR 029, [3] und [4]

Nach [2] (bis 2008 gültige Version des Annex C) gilt das Verfahren für randferne Befestigungen (Randabstand $c > 10 \cdot h_{ef}$) für Dübelgruppen mit 1 bis 6 Einzeldübeln in einer quadratischen oder rechteckigen Anordnung. Für randnahe Befestigungen (Randabstand $c \leq 10 \cdot h_{ef}$) ist das Verfahren gültig für Gruppen mit $n = 1$ Dübel bis $n = 4$ Dübel, Bild 5.6.



Randnahe Befestigungen ($c \leq 10 \cdot h_{ef}$)

Bild 5.6 Anwendungsbereich des Bemessungsverfahrens nach ETAG 001, Annex C, [2]

Die Befestigungsmittel dürfen durch vorwiegend ruhende Lasten (statische und quasi-statische Lasten) beansprucht sein. Die Bemessung für Ermüdungsbelastung oder Erdbebenbelastung ist mit dem Bemessungsverfahren nach ETAG 001, Annex C, nicht möglich. Bemessungsansätze für Ermüdungsbelastungen enthält [9] (CEN TS). Auf die Bemessung bei Ermüdungsbeanspruchung wird im Folgenden nicht weiter eingegangen.

Benachbarte Dübel werden als Gruppenbefestigung bzw. Dübelgruppe bezeichnet, wenn die Einzeldübel ($n \geq 1$ bis maximal 6 bzw. 8; bei Kopfbolzen 9) durch ein Anbauteil miteinander verbunden sind. Der Achsabstand zwischen benachbarten Dübelgruppen muss größer sein als der charakteristische Achsabstand s_{cr} für die jeweilige Versagensart. Die Bedeutung des charakteristischen Achsabstandes wird in Kapitel 5.8 ausführlich erläutert.

5.6 Kurze Einführung in die Systematik der verwendeten Bezeichnungen

Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen ist es sinnvoll zuerst eine kurze Einführung in die Systematik der wichtigsten verwendeten Formelzeichen und Symbole zu geben.

Zugkräfte werden mit „N“ und Querkräfte mit „V“ bezeichnet. Die ersten Indizes der Kräfte zeigen an, dass es sich bei „S“ um eine Einwirkung und bei „R“ um einen Widerstand (Befestigung) handelt. Der zweite Index unterscheidet

charakteristische Werte (Index „k“) von Bemessungswerten (Index „d“). Der dritte Index bei Widerständen bezeichnet die Versagensart (z. B. „c“ für Betonausbruch, „p“ für Herausziehen etc.).

Abstände werden mit s (Achsabstand) und c (Randabstand) bezeichnet. Mögliche Indizes sind die Richtungen „1“ oder „2“ und „min“ für den minimalen Wert. Weiterhin werden im Bemessungsverfahren so genannte charakteristische Abstände verwendet. Sie haben den Index „cr“ und als zweiten Index eine Bezeichnung für die Lastrichtung „N“ oder „V“. Die Bauteildicke wird mit „h“ bezeichnet.

Die Verankerungstiefe wird mit „ h_{ef} “ und die Betondruckfestigkeit mit „ $f_{ck,cube}$ “ bezeichnet. Teilsicherheitsbeiwerte werden mit „ γ “ bezeichnet. Der erste Index des Teilsicherheitsbeiwertes kennzeichnet, ob es sich um einen Material Sicherheitsbeiwert („M“) oder um einen Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung („Q“ oder „G“) handelt. Der zweite Index des Teilsicherheitsbeiwertes der Widerstandsseite bezeichnet erneut die Versagensart (z. B. „c“ für Betonausbruch).

Typische Bezeichnungen für geometrische Maße des CC-Verfahrens sind in Bild 5.7 dargestellt.

Weitere Formelzeichen und Symbole werden später im Text erklärt. Die Systematik ist jedoch bei allen Bezeichnungen ähnlich.

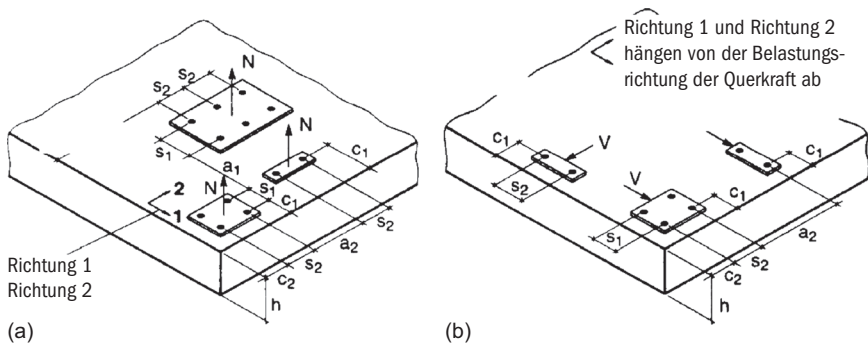


Bild 5.7 Definition der Bezeichnungen von Achs- und Randabständen für das CC-Verfahren, [2]: (a) Dübel mit zentraler Zugbelastung, (b) Dübel mit Querbeltung bei randnahen Befestigungen

5.7 Grundlagen des Bemessungsverfahrens

5.7.1 Allgemeine Grundlagen

Die Bemessung von Befestigungen basiert auf einem Bemessungsverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten. Der Nachweis der Tragsicherheit ist erbracht, wenn der Bemessungswert der Einwirkung S_d (z. B. Eigengewicht oder Windlast) kleiner ist als der maßgebende Bemessungswert des Widerstandes R_d (z. B. Tragfähigkeit für die Versagensart Betonausbruch), Gl. (3.1).

Der Bemessungswert der Einwirkung wird aus den charakteristischen Werten der Einwirkung S_k und den Teilsicherheitsbeiwerten der Einwirkung γ_Q bzw. γ_G berechnet, Gl. (5.1). Bei den Einwirkungen wird zwischen ständiger Einwirkung G_k (z. B. Eigengewicht) und veränderlicher Einwirkung Q_k (z. B. Verkehrslasten) unterschieden. Gl. (5.1) gilt für ständige Lasten und Verkehrslasten, die in gleicher Richtung wirken.

$$S_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k \quad (5.1)$$

mit

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

G_k charakteristischer Wert der Einwirkung, ständige Last

Q_k charakteristischer Wert der Einwirkung, veränderliche Last bzw. Verkehrslast.

Wirken ständige Lasten G_k und veränderliche Last Q_k in unterschiedliche Richtungen sind die Kombinationen nach Gl. (5.2) bis Gl. (5.4) zu untersuchen. Die Kombination mit dem maximalen Bemessungswert der Einwirkung ist maßgebend. Weitere Details zur Ermittlung der Bemessungswerte der Einwirkung bzw. weitere mögliche Lastkombinationen für kompliziertere Belastungen können [17] entnommen werden.

$$S_d = 1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k \quad (5.2)$$

$$S_d = 1,00 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k \quad (5.3)$$

$$S_d = 1,35 \cdot G_k \quad (5.4)$$

Der Bemessungswert des Widerstandes R_d wird aus dem charakteristischen Widerstand R_k und dem Teilsicherheitsbeiwert des Widerstandes γ_M berechnet, Gl. (5.5). Die Sicherheit von Bauwerken obliegt den einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft. Deshalb können die Teilsicherheitsbeiwerte für den Materialwiderstand γ_M entsprechend der Bauproduktenrichtlinie unter Umständen unterschiedlich in verschiedenen Ländern sein. Für Befestigungen werden jedoch bisher in allen Mitgliedsstaaten die nachfolgend angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte verwendet.

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (5.5)$$

mit

R_d Bemessungswert des Widerstandes

R_k charakteristischer Widerstand

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand.

Der charakteristische Widerstand R_k für die verschiedenen Versagensarten wird entweder mit Hilfe von Gleichungen berechnet (z. B. Versagensart Betonausbruch) oder er kann der Zulassung entnommen werden (z. B. Stahlversagen).

oder Herausziehen). Der Teilsicherheitsbeiwert des Widerstandes ist für jede Versagensart getrennt in der Zulassung angegeben. Er kann sich für verschiedene Versagensarten unterscheiden, weil z. B. unterschiedliche Materialien die Versagensart bestimmen.

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Betonversagensarten (Betonausbruch, Spalten, Herausziehen, Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite, lokaler Betonausbruch und Betonkantenbruch) von Befestigungen, die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen, wird nach Gl. (5.6) berechnet.

$$\gamma_{Mc} = \gamma_{Msp} = \gamma_{Mp} = \gamma_{Mcp} = \gamma_{Mcb} = \gamma_c \cdot \gamma_2 \quad (5.6)$$

mit

γ_{Mc} Teilsicherheitsbeiwert für die Versagensart Betonausbruch und Betonkantenbruch [-]

γ_{Msp} Teilsicherheitsbeiwert für die Versagensart Spalten [-]

γ_{Mp} Teilsicherheitsbeiwert für die Versagensart Herausziehen [-]

γ_{Mcp} Teilsicherheitsbeiwert für die Versagensart Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite [-]

γ_{Mcb} Teilsicherheitsbeiwert für die Versagensart lokaler Betonausbruch bei Kopfbolzen [-]

γ_c = 1,5 Teilsicherheitsbeiwert für Beton [-]

γ_2 Montagesicherheitsbeiwert [-]

$\gamma_2 = 1,0$ für Systeme mit hoher Montagesicherheit

$\gamma_2 = 1,2$ für Systeme mit normaler Montagesicherheit

$\gamma_2 = 1,4$ für Systeme mit geringer Montagesicherheit, die dennoch akzeptabel ist.

Für Versagensarten unter Querlast (Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite und Betonkantenbruch) gilt:

$\gamma_2 = 1,0$.

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Betonversagensarten kann Werte von $\gamma_{Mc} = 1,5, 1,8$ und $2,1$ annehmen. Aus Gl. (5.6) wird deutlich, dass der Teilsicherheitsbeiwert von Befestigungssystemen bei Betonversagensarten und Zugbelastung von der Montagesicherheit des Befestigungssystems abhängt. Die Montagesicherheit eines Befestigungssystems wird im Zulassungsverfahren aus Versuchen bestimmt, bei denen der Einfluss von kleinen Montageungenauigkeiten auf die Tragfähigkeit untersucht wird. Systeme mit einer hohen Montagesicherheit weisen nur geringe Abminderungen der Tragfähigkeit durch Montageungenauigkeiten auf. Der Teilsicherheitsbeiwert für solche Systeme ist entsprechend geringer ($\gamma_2 = 1,0$ und $\gamma_{Mc} = 1,5$). Systeme mit geringer Montagesicherheit sind entsprechend den Prüfrichtlinien akzeptabel, haben jedoch einen größeren Teilsicherheitsbeiwert ($\gamma_2 = 1,4$ und $\gamma_{Mc} = 2,1$) und dadurch bei gleichem charakteristischen Widerstand einen geringeren Bemessungswert des Widerstandes.

Für die Versagensart Herausziehen wird der gleiche Teilsicherheitsbeiwert wie für die Betonversagensarten bei Zugbelastung angewendet.

Einlegeteile haben in der Regel einen Montagesicherheitsbeiwert von $\gamma_2 = 1,0$ und damit einen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{Mc} = 1,5$.

Bei Querbelastung hat die Montagesicherheit eines Befestigungssystems keinen Einfluss auf die Größe des Teilsicherheitsbeiwertes bei Betonversagen ($\gamma_{Mc} = \gamma_{Mcp} = 1,5$).

Für die Versagensart Stahlversagen berechnet sich der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand in Abhängigkeit vom Verhältnis der Streckgrenze f_{yk} zur Zugfestigkeit des Stahls f_{uk} . Er unterscheidet sich für Versagensarten unter Zugbelastung und Querbelastung. Weiterhin ist zu beachten, dass in der Dübelbemessung größere Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlversagen angesetzt werden als in gängigen Stahlbaunormen, da bei der Bemessung von Befestigungen die Zugtragfähigkeit f_{uk} angesetzt wird. Bei der Bemessung im Stahlbau wird hingegen im Allgemeinen die Fließgrenze f_{yk} verwendet. Auf Grund der Berücksichtigung der Zugtragfähigkeit f_{uk} bei der Bemessung nimmt der Teilsicherheitsbeiwert für Stahlversagen γ_{Ms} mit zunehmender Duktilität des Stahls zu (Verhältnis f_{yk}/f_{uk} wird kleiner), da ebenfalls eine ausreichende Sicherheit gegen Fließen des Stahls erforderlich ist.

Der Teilsicherheitsbeiwert für Stahlversagen wird bei Zugbelastung nach Gl. (5.7) und bei Querbelastung (Querbelastung mit und ohne Hebelarm) nach Gl. (5.8) berechnet. Der Teilsicherheitsbeiwert für Stahlversagen von Rückhängebewehrung wird nach Gl. (5.9) berechnet.

Zuglast

$$\gamma_{Ms} = \frac{1,2}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,4 \quad (5.7)$$

mit

γ_{Ms} Teilsicherheitsbeiwert für Stahlversagen [-]

f_{yk} Fließgrenze des Stahls [N/mm²]

f_{uk} Zugfestigkeit des Stahls [N/mm²].

Querlast

$$\gamma_{Ms} = \frac{1,0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,25 \text{ für } f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \text{ und } f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \quad (5.8)$$

$$\gamma_{Ms} = 1,5 \text{ für } f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \text{ oder } f_{yk}/f_{uk} > 0,8$$

mit

γ_{Ms} Teilsicherheitsbeiwert für Stahlversagen [-]

f_{yk} Fließgrenze des Stahls [N/mm²]

f_{uk} Zugfestigkeit des Stahls [N/mm²].

Bewehrung

$$\gamma_{Ms, re} = 1,15 \quad (5.9)$$