

Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos,  
Johann-Dietrich Wörner (Hrsg.)

# Beton-Kalender 2020

**Schwerpunkte: Wasserbau,  
Konstruktion und Bemessung**

- **Topaktuell: Hintergrundinformationen und Erläuterungen zu DIN EN 1992 Teil 4, Ausgabe April 2019 zur Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Betonenthält sämtliches prüfungsrelevantes Wissen für das Bachelorstudium bietet Hintergrundwissen statt reiner Normenanwendung**

Der Beton-Kalender 2020 bietet eine solide Arbeitsgrundlage und ein topaktuelles und verlässliches Nachschlagewerk für die fehlerfreie Planung von Betonkonstruktionen. Besonders aktuell sind die Erläuterungen zur Bemessung der Verankerung von Befestigungen nach Eurocode 2 Teil 4.



12 / 2019 · ca. 1000 Seiten · ca. 120  
Abbildungen · ca. 200 Tabellen

Hardcover  
**ISBN 978-3-433-03268-8** ca. € 174\*  
**Fortsetzungspreis** ca. € 154\*

**Bereits vorbestellbar.**

## BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236  
marketing@ernst-und-sohn.de  
[www.ernst-und-sohn.de/bk20](http://www.ernst-und-sohn.de/bk20)

## ÜBER DAS BUCH

Der neue Beton-Kalender 2020 mit den Schwerpunkten Wasserbau sowie Konstruktion und Bemessung bietet eine solide Arbeitsgrundlage und ein topaktuelles und verlässliches Nachschlagewerk für die fehlerfreie Planung von Betonkonstruktionen. Unter dem Schwerpunktthema Wasserbau behandelt der Beton-Kalender Entwurf und Konstruktion von massiven Wasserbauwerken an Wasserstraßen. Diese werden zum Beispiel zur verkehrswirtschaftlichen Nutzung (Binnenschifffahrt), zur Wasserversorgung, zur Erhaltung der Vorflut für den Abfluss der Niederschläge und Entwässerungszwecke, zur Abwendung von Hochwasser- und Eisgefährdung oder zur Energiegewinnung durch Wasserkraft genutzt. Unter dem Schwerpunktthema Konstruktion und Bemessung versammelt der Beton-Kalender eine Reihe Beiträge zum aktuellen Wissensstand für Entwurf und Bemessung im Konstruktiven Hochbau: Bei der Konstruktion und Bemessung von Stahlbetonbauteilen sind

die Verankerungs- und die Bewehrungstechnik wesentliche Bestandteile. Nachdem im April 2019 endlich die europäischen Regeln in Eurocode 2 Teil 4 zur Bemessung der Verankerung von Befestigungen tragender und nichttragender Bauteile veröffentlicht wurde, werden in diesem Buch Erläuterungen zur Anwendung und Hintergrundinformationen gegeben. Die Planung von Maßnahmen zur Baugrundverbesserung sind häufig Bestandteil der Tragwerksplanung und wesentlich für die sichere Errichtung von Bauwerken. Ein Beitrag mit vertieften Erläuterungen und Beispielen zu den zahlreichen Verfahren vermittelt die notwendigen Kenntnisse. Außerdem wird der Standardbeitrag über Beton in neubearbeiteter Fassung vorgelegt. In bewährter Weise wird die Eurocode-Kommentierung in Kurzfassungen für einfache Anwendungsfälle und die schnelle Orientierung fortgeführt: diese Ausgabe enthält die Erläuterungen zu den Einwirkungsnormen DIN EN 1991 und die kommentierte Kurzfassung von DIN EN 1992-1 auf aktuellem Stand.

## BESTELLUNG

| Anzahl | ISBN / Bestell-Nr. | Titel               | Preis      |
|--------|--------------------|---------------------|------------|
|        | 978-3-433-03268-8  | Beton-Kalender 2020 | ca. € 174* |

☐ Privat ☐ Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:  
**Tel. +49 (0)30 47031-236**  
**Fax +49 (0)30 47031-240**  
[marketing@ernst-und-sohn.de](mailto:marketing@ernst-und-sohn.de)

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

[www.ernst-und-sohn.de/bk20](http://www.ernst-und-sohn.de/bk20)

Datum / Unterschrift

## Vorwort

Der Beton-Kalender 2020 behandelt schwerpunktmäßig die konstruktive Durchbildung und die Bemessung von Konstruktionen des Wasserbaus, die Baugrundverbesserung sowie aktuelle Themen aus dem konstruktiven Bereich der Betonbauweise.

Ein respektvoller Umgang mit der Natur, die Auswirkungen der Klimaveränderung und die Interaktion von Bauwerken mit der natürlichen und auch künstlich geschaffenen Umwelt erfordern eine stete Aktualisierung des Wissens. Der interaktive Zusammenhang zwischen einer von der Natur ausgelösten Ursache, ihrer Wirkung und den entsprechenden Schutzbauwerken stellt im Bauwesen eine ingenieurmäßige Herausforderung dar – von der Modellierung der Einwirkungen, über die Strukturmechanik und die Werkstoffwissenschaften, die Geotechnik und die Bodenverbesserung bis hin zum Konstruktiven Ingenieurbau. Der Baustoff Beton muss zunehmend multidimensionalen Anforderungen an das verhaltens- und verformungsgesteuerte Langzeitverhalten, aus veränderlichen Umwelteinwirkungen und aus ästhetischen Gesichtspunkten entsprechen. Hierzu gibt es aktualisierte Beiträge und neues Wissen im vorliegenden Beton-Kalender 2020 in praxisnah aufbereiteter Form.

Die kausalen Zusammenhänge können dabei naturwissenschaftlich erfasst werden, jedoch die Auswirkungen auf die Planung der Betonzusammensetzung sowie der Durchbildung der Betonkonstruktionen sind vielfach nur mit Versuchen und zunehmend mit Modellen der numerischen Approximation und der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu erfassen. Hier gilt es mit Mut neue Erfahrungen mit verformungskompatiblen Entwurfskonzepten zu sammeln.

In beiden Teilen dieses Jahrgangs wurden aktuelle Themen zusammengestellt, um ein Nachschlagewerk für die Ingenieurpraxis, aber auch für den wissenschaftlich interessierten Leser zu erstellen.

Im Teil 1 führen *Frank Dehn*, *Udo Wiens* und *Harald S. Müller* in die aktualisierten Themen der Betonzusammensetzung bei spezifischen Einwirkungen ein. Dabei werden neue Erkenntnisse für die Langzeitbeanspruchung sowie die Dauerhaftigkeit behandelt.

Das Kapitel Betonstahl und Spannstahl wurde von *Jörg Moersch* und *Sven Junge* auf einen aktuellen Stand gebracht.

Mit der Spanngliedverankerung beim Rückbau von Brücken befassen sich *David Sanio* und *Peter Mark*.

Anhand von konkreten Beispielen werden temporäre Quer- und Längsvorspannungen für die verschiedenen Phasen des Teilabbruchs dargestellt.

Einen aktuellen Überblick zur Bemessung von Verankerungen in Beton nach neuem Eurocode EN 1992-4 geben *Rainer Mallée*, *Werner Fuchs* und *Rolf Eligehausen*.

Die Verankerungs- und Bewehrungstechnik erfährt gerade durch nachträgliche Ergänzungsarbeiten ständige Herausforderungen. Dazu hat *Thomas Sippel* Befestigungsprodukte, Bemessungsregeln und deren konstruktive Anwendungsbedingungen in übersichtlicher Form zusammengestellt.

Zu den Schwerpunkten dieser Ausgabe passend, gibt *Claus Kunz* eine bautechnische Einführung zu massiven Verkehrs-Wasserbauwerken.

Mit der Gestaltung und Planung von Schutzbauwerken im Bereich von Wildbächen beschäftigen sich *Jürgen Suda* und *Konrad Bergmeister*. Dabei wird den Ursachen der Einwirkungen, deren Modellierung, der Bemessung sowie der konstruktiven Durchbildung und der Betonzusammensetzung dieser Ingenieurbauwerke breiter Raum gegeben. Auch die Inspektion und Erhaltung sowie die Lebensdauer dieser Schutzbauwerke werden in diesem Beitrag behandelt.

Teil 2 beginnt mit dem Beitrag zur Baugrundverbesserung von *Robert Thurner*, *Clemens Kummerer* und *Roman Marte*. Die verschiedenen Maßnahmen und deren Wirkungsweise sowie die Verfahren werden erläutert und durch Anwendungsbeispiele ergänzt.

Die Zwangsbeanspruchungen und die Rissbreitenbeschränkung in Stahlbetonbauteilen auf der Grundlage der Verformungskompatibilität behandeln *Nguyen Viet Tue* und *Dirk Schlicke*. Erstmals im Beton-Kalender werden dabei aktuelle Forschungsergebnisse zur Bemessung unter Berücksichtigung der Riss- und Verformungsentwicklung vorgestellt.

Mit den Auswirkungen des EuGH-Urteils vom 16. Oktober 2014 über die Anpassung des nationalen Bauproduktenrechts beschäftigt sich *Tina Gerschler*. Hierbei werden neben den rechtlichen Randbedingungen auch bisherige Erfahrungen mit der Umsetzung in Deutschland berücksichtigt.

Umfassend hat wiederum *Frank Fingerloos* Normen und Regelwerke in einem Kapitel zusammengestellt.

Der Beton-Kalender 2020 umfasst spezielle, aber für die Sicherung der Lebensräume wichtige Themengebiete. Die Herausgeber des Beton-Kalenders konnten mit kompetenten Autoren ein Buch für die Ingenieurpraxis und wissenschaftliche Vertiefung auf der Grundlage von aktuellen Forschungsergebnissen und Normenvorschriften erstellen. Wir wünschen den Lesern viel Freude und Erfolg beim Umsetzen in innovative und nachhaltige Ingenieurbauwerke.

September 2019

Prof. Dr.-Ing. mult. Dr.-Ing. E. h.  
Konrad Bergmeister

Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult.  
Johann-Dietrich Wörner

# Inhaltsübersicht

## 1

|            |                                                                                             |      |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|            | <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....                                                             | VII  |
|            | <b>Anschriften</b> .....                                                                    | XVII |
| <b>I</b>   | <b>Beton</b> .....                                                                          | 1    |
|            | Frank Dehn, Harald S. Müller, Udo Wiens                                                     |      |
| <b>II</b>  | <b>Betonstahl und Spannstahl</b> .....                                                      | 175  |
|            | Jörg Moersch, Sven Junge                                                                    |      |
| <b>III</b> | <b>Spanngliedverankerung beim Rückbau von Brücken</b> .....                                 | 249  |
|            | David Sanio, Peter Mark                                                                     |      |
| <b>IV</b>  | <b>Bemessung von Verankerungen in Beton nach EN 1992-4</b> .....                            | 293  |
|            | Rainer Mallée, Werner Fuchs, Rolf Eligehausen                                               |      |
| <b>V</b>   | <b>Verankerungs- und Bewehrungstechnik</b> .....                                            | 409  |
|            | Thomas M. Sippel                                                                            |      |
| <b>VI</b>  | <b>Massive (Verkehrs-)Wasserbauwerke –<br/>ein aktueller bautechnischer Überblick</b> ..... | 473  |
|            | Claus Kunz                                                                                  |      |
| <b>VII</b> | <b>Wildbachsperrren</b> .....                                                               | 501  |
|            | Jürgen Suda, Konrad Bergmeister                                                             |      |
|            | <b>Stichwortverzeichnis</b> .....                                                           | XXI  |

## Inhaltsübersicht

# 2

|             |                                                                                                                                    |      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|             | <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....                                                                                                    | V    |
|             | <b>Anschriften</b> .....                                                                                                           | XV   |
| <b>VIII</b> | <b>Baugrundverbesserung</b> .....                                                                                                  | 725  |
|             | Robert Thurner, Clemens Kummerer, Roman Marte                                                                                      |      |
| <b>IX</b>   | <b>Zwangbeanspruchung und Rissbreitenbeschränkung in<br/>Stahlbetonbauteilen auf Grundlage der Verformungskompatibilität</b> ..... | 831  |
|             | Nguyen Viet Tue, Dirk Schlicke                                                                                                     |      |
| <b>X</b>    | <b>Die Anpassung des nationalen Bauproduktenrechts nach dem Urteil<br/>des EuGH vom 16. Oktober 2014</b> .....                     | 889  |
|             | Tina Gerschler                                                                                                                     |      |
| <b>XI</b>   | <b>Normen und Regelwerke</b> .....                                                                                                 | 913  |
|             | Frank Fingerloos                                                                                                                   |      |
|             | <b>Stichwortverzeichnis</b> .....                                                                                                  | 1245 |

# Inhaltsverzeichnis

## 1

|          |                                              |           |          |                                                                            |           |
|----------|----------------------------------------------|-----------|----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I</b> | <b>Beton</b> .....                           | <b>1</b>  |          |                                                                            |           |
|          | Frank Dehn, Harald S. Müller, Udo Wiens      |           |          |                                                                            |           |
| <b>1</b> | <b>Einführung und Definition</b> .....       | <b>3</b>  | <b>4</b> | <b>Junger Beton</b> .....                                                  | <b>50</b> |
| 1.1      | Allgemeines .....                            | 3         | 4.1      | Bedeutung und Definition .....                                             | 50        |
| 1.2      | Definition .....                             | 3         | 4.2      | Hydratationswärme .....                                                    | 50        |
| 1.3      | Klassifizierung von Beton .....              | 4         | 4.3      | Verformungen .....                                                         | 50        |
| 1.3.1    | Betonarten .....                             | 4         | 4.4      | Dehnfähigkeit und Rissneigung .....                                        | 51        |
| 1.3.2    | Betonklassen .....                           | 5         | 4.5      | Bestimmung der Festigkeit<br>von jungem Beton .....                        | 53        |
| 1.3.3    | Betonfamilie .....                           | 7         |          |                                                                            |           |
| <b>2</b> | <b>Ausgangsstoffe</b> .....                  | <b>8</b>  | <b>5</b> | <b>Lastunabhängige Verformungen</b> .....                                  | <b>53</b> |
| 2.1      | Zement .....                                 | 8         | 5.1      | Allgemeines .....                                                          | 53        |
| 2.1.1    | Arten und Zusammensetzung .....              | 8         | 5.2      | Temperaturdehnung .....                                                    | 53        |
| 2.1.2    | Bautechnische Eigenschaften .....            | 12        | 5.3      | Schwinden .....                                                            | 54        |
| 2.1.3    | Bezeichnung, Lieferung und<br>Lagerung ..... | 14        | 5.3.1    | Ursachen .....                                                             | 54        |
| 2.1.4    | Anwendungsbereiche .....                     | 15        | 5.3.2    | Mathematische Beschreibung .....                                           | 56        |
| 2.1.5    | Zementhydratation .....                      | 19        | <b>6</b> | <b>Festigkeit und Verformung von<br/>Festbeton</b> .....                   | <b>58</b> |
| 2.1.6    | Der Zementstein .....                        | 20        | 6.1      | Strukturmerkmale .....                                                     | 58        |
| 2.2      | Gesteinskörnungen für Beton .....            | 22        | 6.2      | Druckfestigkeit .....                                                      | 58        |
| 2.2.1    | Allgemeines .....                            | 22        | 6.2.1    | Spannungszustand und Bruchverhalten<br>von Beton bei Druckbeanspruchung .. | 58        |
| 2.2.2    | Art und Eigenschaften des Gesteins ..        | 23        | 6.2.2    | Einflüsse auf die Druckfestigkeit ....                                     | 59        |
| 2.2.3    | Schädliche Bestandteile .....                | 24        | 6.2.2.1  | Ausgangsstoffe und<br>Betonzusammensetzung .....                           | 59        |
| 2.2.4    | Kornform und Oberfläche .....                | 28        | 6.2.2.2  | Erhärtungsbedingungen und Reife ....                                       | 60        |
| 2.2.5    | Größtkorn und<br>Kornzusammensetzung .....   | 28        | 6.2.2.3  | Prüfeinflüsse .....                                                        | 64        |
| 2.3      | Betonzusatzmittel .....                      | 31        | 6.2.3    | Festigkeitsklassen .....                                                   | 65        |
| 2.3.1    | Definition .....                             | 31        | 6.3      | Zugfestigkeit .....                                                        | 65        |
| 2.3.2    | Arten von Zusatzmitteln .....                | 31        | 6.3.1    | Bruchverhalten und Bruchenergie ....                                       | 66        |
| 2.3.3    | Anwendungsgebiete .....                      | 32        | 6.3.2    | Einflüsse auf die Zugfestigkeit .....                                      | 66        |
| 2.3.4    | Weitere Anforderungen .....                  | 33        | 6.3.3    | Zentrische Zugfestigkeit .....                                             | 67        |
| 2.4      | Betonzusatzstoffe .....                      | 34        | 6.3.4    | Biegezugfestigkeit .....                                                   | 67        |
| 2.4.1    | Definitionen .....                           | 34        | 6.3.5    | Spaltzugfestigkeit .....                                                   | 67        |
| 2.4.2    | Inerte Stoffe und Pigmente .....             | 34        | 6.3.6    | Verhältnismerte für Druck- und<br>Zugfestigkeit .....                      | 68        |
| 2.4.3    | Puzzolanische Stoffe .....                   | 34        | 6.4      | Festigkeit bei mehrachsiger<br>Beanspruchung .....                         | 69        |
| 2.4.4    | Latent-hydraulische Stoffe .....             | 39        | 6.5      | Spannungs-Dehnungsbeziehungen ...                                          | 69        |
| 2.4.5    | Organische Stoffe .....                      | 40        | 6.5.1    | Elastizitätsmodul und Querdehnzahl ..                                      | 70        |
| 2.5      | Zugabewasser .....                           | 40        | 6.6      | Einfluss der Zeit auf Festigkeit und<br>Verformung .....                   | 71        |
| <b>3</b> | <b>Frischbeton und Nachbehandlung</b> .....  | <b>40</b> | 6.6.1    | Die zeitliche Entwicklung von<br>Festigkeit und Elastizitätsmodul ....     | 71        |
| 3.1      | Allgemeine Anforderungen .....               | 40        | 6.6.2    | Verhalten bei Dauerstand-<br>beanspruchung .....                           | 72        |
| 3.2      | Mehlkorngehalt .....                         | 41        | 6.6.3    | Zeitabhängige Verformungen .....                                           | 72        |
| 3.3      | Rohdichte und Luftgehalt .....               | 41        | 6.6.3.1  | Definitionen .....                                                         | 72        |
| 3.4      | Verarbeitbarkeit und Konsistenz ....         | 42        | 6.6.3.2  | Kriechverhalten von Beton .....                                            | 73        |
| 3.5      | Transport und Einbau .....                   | 44        |          |                                                                            |           |
| 3.6      | Entmischen .....                             | 46        |          |                                                                            |           |
| 3.7      | Nachbehandlung .....                         | 47        |          |                                                                            |           |
| 3.7.1    | Nachbehandlungsarten .....                   | 47        |          |                                                                            |           |
| 3.7.2    | Dauer der Nachbehandlung .....               | 48        |          |                                                                            |           |
| 3.7.3    | Zusätzliche Schutzmaßnahmen .....            | 49        |          |                                                                            |           |

|           |                                                                                                              |            |           |                                                                              |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.6.3.3   | Vorhersageverfahren . . . . .                                                                                | 75         | 10.2.5    | Festbetonverhalten von<br>Konstruktionsleichtbeton . . . . .                 | 119        |
| 6.6.4     | Verhalten bei dynamischer<br>Beanspruchung . . . . .                                                         | 77         | 10.2.6    | Zur Planung von Bauwerken aus<br>Konstruktionsleichtbeton . . . . .          | 122        |
| 6.6.5     | Ermüdung . . . . .                                                                                           | 78         | 10.2.7    | Selbstverdichtender<br>Konstruktionsleichtbeton . . . . .                    | 123        |
| <b>7</b>  | <b>Dauerhaftigkeit . . . . .</b>                                                                             | <b>81</b>  | 10.3      | Porenbeton . . . . .                                                         | 124        |
| 7.1       | Überblick über die Umwelt-<br>bedingungen, Schädigungs-<br>mechanismen und<br>Mindestanforderungen . . . . . | 82         | 10.4      | Haufwerksporiger Leichtbeton . . . . .                                       | 124        |
| 7.2       | Widerstand gegen das Eindringen<br>aggressiver Stoffe . . . . .                                              | 89         | <b>11</b> | <b>Faserbeton . . . . .</b>                                                  | <b>126</b> |
| 7.3       | Korrosionsschutz der Bewehrung im<br>Beton . . . . .                                                         | 91         | 11.1      | Allgemeines . . . . .                                                        | 126        |
| 7.3.1     | Allgemeine Anforderungen . . . . .                                                                           | 91         | 11.2      | Zusammenwirken von Fasern und<br>Matrix . . . . .                            | 126        |
| 7.3.2     | Carbonatisierung . . . . .                                                                                   | 91         | 11.2.1    | Ungerissener Beton . . . . .                                                 | 127        |
| 7.3.3     | Eindringen von Chloriden . . . . .                                                                           | 93         | 11.2.2    | Gerissener Beton . . . . .                                                   | 128        |
| 7.4       | Frostwiderstand . . . . .                                                                                    | 95         | 11.3      | Fasern . . . . .                                                             | 134        |
| 7.5       | Frost- und Taumittelwiderstand . . . . .                                                                     | 96         | 11.3.1    | Stahlfasern . . . . .                                                        | 134        |
| 7.6       | Widerstand gegen chemische<br>Angriffe . . . . .                                                             | 98         | 11.3.2    | Glasfasern . . . . .                                                         | 135        |
| 7.7       | Verschleißwiderstand . . . . .                                                                               | 99         | 11.3.3    | Organische Fasern . . . . .                                                  | 136        |
| 7.8       | Feuchtigkeitsklassen nach<br>Alkali-Richtlinie . . . . .                                                     | 99         | 11.3.3.1  | Kunststofffasern (Polymere) . . . . .                                        | 136        |
| <b>8</b>  | <b>Selbstverdichtender Beton . . . . .</b>                                                                   | <b>100</b> | 11.3.3.2  | Kohlenstofffasern . . . . .                                                  | 137        |
| 8.1       | Allgemeines . . . . .                                                                                        | 100        | 11.3.3.3  | Fasern natürlicher Herkunft –<br>Zellulosefasern . . . . .                   | 137        |
| 8.2       | Mischungsentwurf . . . . .                                                                                   | 101        | 11.4      | Zusammensetzung . . . . .                                                    | 138        |
| 8.3       | Frischbetonprüfverfahren an<br>Mörtel . . . . .                                                              | 102        | 11.4.1    | Beton . . . . .                                                              | 138        |
| 8.4       | Prüfungen am Beton . . . . .                                                                                 | 103        | 11.4.2    | Fasern . . . . .                                                             | 138        |
| 8.5       | Eigenschaften . . . . .                                                                                      | 106        | 11.5      | Eigenschaften . . . . .                                                      | 138        |
| <b>9</b>  | <b>Sichtbeton . . . . .</b>                                                                                  | <b>106</b> | 11.5.1    | Verhalten bei Druckbeanspruchung . . . . .                                   | 138        |
| 9.1       | Einführung . . . . .                                                                                         | 106        | 11.5.2    | Verhalten bei Zugbeanspruchung<br>und bei Biegebeanspruchung . . . . .       | 139        |
| 9.2       | Planung und Ausschreibung . . . . .                                                                          | 107        | 11.5.3    | Verhalten bei Querkraft- und<br>Torsionsbeanspruchung . . . . .              | 140        |
| 9.3       | Betonzusammensetzung und<br>Betonherstellung . . . . .                                                       | 107        | 11.5.4    | Verhalten bei Explosions-, Schlag-<br>und Stoßbeanspruchung . . . . .        | 140        |
| 9.4       | Einbau und Nachbehandlung . . . . .                                                                          | 108        | 11.5.5    | Kriechen und Schwinden . . . . .                                             | 140        |
| 9.4.1     | Schalung und Trennmittel . . . . .                                                                           | 108        | 11.5.6    | Dauerhaftigkeit . . . . .                                                    | 140        |
| 9.4.2     | Ausführung und Nachbehandlung . . . . .                                                                      | 109        | 11.5.7    | Frost- und Taumittelwiderstand . . . . .                                     | 141        |
| 9.5       | Beurteilung . . . . .                                                                                        | 109        | 11.5.8    | Verhalten bei hoher Temperatur . . . . .                                     | 141        |
| 9.6       | Mängel und Mängelbeseitigung . . . . .                                                                       | 110        | 11.5.9    | Verschleißwiderstand . . . . .                                               | 142        |
| 9.6.1     | Sichtbetonmängel . . . . .                                                                                   | 110        | 11.6      | Übereinstimmungsnachweis und<br>Prüfungen . . . . .                          | 142        |
| 9.6.2     | Mängelbeseitigung bei Sichtbeton . . . . .                                                                   | 111        | 11.7      | Richtlinie „Stahlfaserbeton“ . . . . .                                       | 142        |
| 9.6.3     | Architektonisch bedeutsame<br>Bausubstanz . . . . .                                                          | 112        | <b>12</b> | <b>Ultrahochfester Beton . . . . .</b>                                       | <b>143</b> |
| 9.7       | Sonder-Sichtbetone . . . . .                                                                                 | 112        | <b>13</b> | <b>Nachhaltiger Beton . . . . .</b>                                          | <b>143</b> |
| <b>10</b> | <b>Leichtbeton . . . . .</b>                                                                                 | <b>113</b> | 13.1      | Einführung . . . . .                                                         | 143        |
| 10.1      | Einführung und Überblick . . . . .                                                                           | 113        | 13.2      | Ökobilanz von Beton . . . . .                                                | 144        |
| 10.2      | Konstruktionsleichtbeton nach<br>DIN EN 1992-1-1 . . . . .                                                   | 114        | 13.3      | Mischungsentwicklung . . . . .                                               | 146        |
| 10.2.1    | Grundlegende Eigenschaften . . . . .                                                                         | 114        | 13.3.1    | Optimierung der Packungsdichte<br>der granularen Ausgangsstoffe . . . . .    | 146        |
| 10.2.2    | Leichte Gesteinskörnung . . . . .                                                                            | 114        | 13.3.2    | Bewertung der Leistungsfähigkeit<br>der Bindemittelzusammensetzung . . . . . | 150        |
| 10.2.3    | Betonzusammensetzung . . . . .                                                                               | 116        | 13.4      | Methoden der Leistungsbewertung . . . . .                                    | 151        |
| 10.2.4    | Herstellung, Transport und<br>Verarbeitung . . . . .                                                         | 118        | 13.5      | Zusammensetzung und Eigenschaften<br>nachhaltiger Betone . . . . .           | 152        |
|           |                                                                                                              |            | <b>14</b> | <b>Carbonbeton . . . . .</b>                                                 | <b>156</b> |

|           |                                                                                           |     |               |                                                                                                                                              |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>15</b> | <b>Normative Entwicklung</b> . . . . .                                                    | 158 | <b>15.2.3</b> | <b>DAfStb-Richtlinie</b>                                                                                                                     |     |
| 15.1      | Neue EN 206 und DIN 1045-2 . . . . .                                                      | 158 |               | „Betonbauqualität (BBQ)“ . . . . .                                                                                                           | 159 |
| 15.2      | Betonbauqualität entlang der<br>Wertschöpfungskette –<br>Ein integrierter Ansatz. . . . . | 158 | <b>15.3</b>   | Widerstandsklassen – das neue<br>Konzept zur Sicherstellung der<br>Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken<br>für die zukünftige EN 206 . . . . . | 161 |
| 15.2.1    | Hintergrund . . . . .                                                                     | 158 |               |                                                                                                                                              |     |
| 15.2.2    | Bisherige Normen im Betonbau –<br>Defizitanalyse. . . . .                                 | 159 | <b>16</b>     | <b>Literatur</b> . . . . .                                                                                                                   | 162 |

## **II Betonstahl und Spannstahl** . . . . . 175

Jörg Moersch, Sven Junge

|          |                                                                                                                                              |     |              |                                                                                                                |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|          | <b>Einleitung</b> . . . . .                                                                                                                  | 177 | <b>1.3</b>   | <b>Ausgewählte Betonstähle nach<br/>allgemeinen bauaufsichtlichen<br/>Zulassungen; Stand 11.2018</b> . . . . . | 235 |
| <b>1</b> | <b>Betonstahl</b> . . . . .                                                                                                                  | 177 | <b>1.3.1</b> | <b>Betonstabstahl</b> . . . . .                                                                                | 235 |
| 1.1      | Betonstahl nach europäischer<br>Norm . . . . .                                                                                               | 177 | 1.3.1.1      | B500A mit Sonderrippung . . . . .                                                                              | 235 |
| 1.1.1    | Betonstahl nach prEN 10080 . . . . .                                                                                                         | 177 | 1.3.1.2      | Betonstabstahl B500B und B500B<br>mit Gewinderippen Typ SAS 500<br>und SAS 550 . . . . .                       | 235 |
| 1.1.2    | Verzinkter Betonstahl nach<br>prEN 10348 . . . . .                                                                                           | 179 | 1.3.1.3      | Hochfester Bewehrungsstahl mit<br>Gewinderippen Typ SAS 670/800 . . . . .                                      | 235 |
| 1.1.3    | Betonstahl aus rostfreiem Stahl nach<br>prEN 10370 . . . . .                                                                                 | 179 | <b>1.3.2</b> | <b>Betonstahl in Ringen</b> . . . . .                                                                          | 236 |
| 1.2      | Betonstahl nach DIN 488 . . . . .                                                                                                            | 180 | 1.3.2.1      | Betonstahl in Ringen B500A mit<br>Nenndurchmesser 14,0 und<br>16,0 mm . . . . .                                | 236 |
| 1.2.1    | Einführung . . . . .                                                                                                                         | 180 | 1.3.2.2      | Betonstahl in Ringen B500B mit<br>Sonderprofilierung „Europrofil“ . . . . .                                    | 236 |
| 1.2.2    | Stahlsorten, Eigenschaften und<br>Kennzeichnung nach DIN 488-1 . . . . .                                                                     | 180 | 1.3.2.3      | Betonstahl in Ringen B500B mit<br>Sonderrippung „TWR“ . . . . .                                                | 236 |
| 1.2.3    | Bauaufsichtlich anerkannte<br>Zertifizierungs- und Überwachungs-<br>stellen für die Herstellung und<br>Verarbeitung von Betonstahl . . . . . | 185 | 1.3.2.4      | Betonstahl in Ringen B500B mit<br>Sonderrippung „EMB“ . . . . .                                                | 236 |
| 1.2.4    | Betonstahl in Stäben nach<br>DIN 488-2 . . . . .                                                                                             | 186 | 1.3.2.5      | Betonstahl in Ringen B500B mit<br>Sonderrippung „RPR“ . . . . .                                                | 236 |
| 1.2.5    | Arbeitshilfen für Betonstabstahl . . . . .                                                                                                   | 187 | <b>1.3.3</b> | <b>Betonstahl mit erhöhtem<br/>Korrosionswiderstand</b> . . . . .                                              | 236 |
| 1.2.6    | Betonstahl in Ringen nach<br>DIN 488-3 . . . . .                                                                                             | 194 | 1.3.3.1      | Feuerverzinkte Betonstähle . . . . .                                                                           | 236 |
| 1.2.7    | Betonstahlmatten nach DIN 488-4 . . . . .                                                                                                    | 196 | 1.3.3.2      | Nichtrostender Betonrippenstahl . . . . .                                                                      | 240 |
| 1.2.8    | Lieferprogramme für<br>Betonstahlmatten nach DIN 488-4<br>und bauaufsichtlicher Zulassung . . . . .                                          | 210 | <b>1.3.4</b> | <b>Nichtmetallische Bewehrung</b> . . . . .                                                                    | 240 |
| 1.2.9    | Anwendungshilfen für<br>Betonstahlmatten . . . . .                                                                                           | 217 | <b>2</b>     | <b>Spannstähle</b> . . . . .                                                                                   | 242 |
| 1.2.10   | Gitterträger nach DIN 488-5 . . . . .                                                                                                        | 224 | 2.1          | Stand der europäischen Normung<br>bei Spannstählen . . . . .                                                   | 242 |
| 1.2.11   | Anwendungshilfen für<br>Gitterträger . . . . .                                                                                               | 226 | 2.2          | Spannstähle mit allgemeinen<br>bauaufsichtlichen Zulassungen;<br>Stand: 11.2018 . . . . .                      | 243 |
| 1.2.12   | Bewehrungsdraht nach<br>DIN 488-3 . . . . .                                                                                                  | 226 |              |                                                                                                                |     |

## **III Spanngliedverankerung beim Rückbau von Brücken** . . . . . 249

David Sanio, Peter Mark

|          |                                       |     |              |                                                                       |     |
|----------|---------------------------------------|-----|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> . . . . .           | 251 | <b>2.1.2</b> | <b>Verbund zum bestehenden<br/>Verpressmörtel</b> . . . . .           | 263 |
| 1.1      | Projektübersicht . . . . .            | 252 | 2.1.2.1      | Einsatz im Zuge des Rückbaus . . . . .                                | 263 |
| <b>2</b> | <b>Verankerungskonzepte</b> . . . . . | 259 | 2.1.2.2      | Dauerhafter Einsatz . . . . .                                         | 264 |
| 2.1      | Verbundverankerung . . . . .          | 260 | 2.1.2.3      | Messtechnische Untersuchungen zur<br>Verankerung im Bestand . . . . . | 265 |
| 2.1.1    | Grundlagen . . . . .                  | 261 |              |                                                                       |     |



|          |                                                                           |            |          |                                                                     |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|------------|----------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.3    | Verbund mit neuem Beton . . . . .                                         | 267        | 4.2      | Verankerung – lokal . . . . .                                       | 281        |
| 2.1.3.1  | Verbundmaterialien . . . . .                                              | 267        | 4.2.1    | Spalt- und Randzug . . . . .                                        | 281        |
| 2.1.3.2  | Experimentelle Untersuchungen von<br>Verankerungen . . . . .              | 268        | 4.2.2    | Teifflächenpressung . . . . .                                       | 282        |
| 2.1.3.3  | Versuchskonzept für Verbund-<br>verankerungen von Spanngliedern . . . . . | 270        | 4.3      | Konstruktive Aspekte . . . . .                                      | 283        |
| 2.1.3.4  | Versuchsauswertung . . . . .                                              | 271        | <b>5</b> | <b>Aspekte der Bauausführung . . . . .</b>                          | <b>284</b> |
| 2.1.3.5  | Verankerungslänge . . . . .                                               | 272        | 5.1      | Abbruchverfahren . . . . .                                          | 284        |
| 2.1.3.6  | Beschaffenheit der Oberflächen –<br>Rauheit . . . . .                     | 273        | 5.2      | Bauverfahren der Neuverankerung<br>am Quersystem . . . . .          | 285        |
| 2.2      | Verankerung mit Ankerkörpern . . . . .                                    | 274        | 5.3      | Bauablauf der Neuverankerung –<br>am Spannglied . . . . .           | 286        |
| 2.2.1    | Klemmkonstruktionen . . . . .                                             | 274        | 5.4      | Bauablauf bei Trennung am<br>Quersystem – Verkehrsführung . . . . . | 286        |
| 2.2.2    | Ankerplatten . . . . .                                                    | 275        | <b>6</b> | <b>Aspekte der Überwachung . . . . .</b>                            | <b>287</b> |
| 2.2.3    | Vorhandene (Koppel-)Anker . . . . .                                       | 277        | 6.1      | Kriterien . . . . .                                                 | 287        |
| 2.2.4    | Aufgeklebte Rippenhalbschalen . . . . .                                   | 277        | 6.2      | Kontrolle des Schlupfs . . . . .                                    | 287        |
| <b>3</b> | <b>Zum Sicherheitskonzept . . . . .</b>                                   | <b>278</b> | <b>7</b> | <b>Schlussfolgerungen . . . . .</b>                                 | <b>288</b> |
| 3.1      | Vorspannkraft . . . . .                                                   | 278        | <b>8</b> | <b>Literatur . . . . .</b>                                          | <b>289</b> |
| 3.2      | Nutzungsdauer . . . . .                                                   | 279        |          |                                                                     |            |
| <b>4</b> | <b>Statisch-konstruktive Aspekte . . . . .</b>                            | <b>279</b> |          |                                                                     |            |
| 4.1      | Tragwerk – global . . . . .                                               | 279        |          |                                                                     |            |

#### **IV Bemessung von Verankerungen in Beton nach EN 1992-4 . . . . . 293** Rainer Mallée, Werner Fuchs, Rolf Elgehausen

|          |                                                                                                                |            |          |                                                                                                                   |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung . . . . .</b>                                                                                    | <b>295</b> | 4.3.1    | Befestigungen unter äußerer<br>atmosphärischer Beanspruchung<br>oder in ständig feuchten<br>Innenräumen . . . . . | 309        |
| 1.1      | Geschichtliche Entwicklung . . . . .                                                                           | 295        | 4.3.2    | Befestigungsmittel unter hoher<br>Korrosionsbeanspruchung durch<br>Chloride und Schwefel . . . . .                | 310        |
| 1.2      | Neuerungen gegenüber der<br>CEN/TS-1992-4-Reihe . . . . .                                                      | 296        | <b>5</b> | <b>Ableitung der Lasteinwirkungen<br/>bei statischer und quasi-statischer<br/>Belastung . . . . .</b>             | <b>310</b> |
| <b>2</b> | <b>Anwendungsbereich . . . . .</b>                                                                             | <b>297</b> | 5.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                             | 310        |
| <b>3</b> | <b>Grundlagen der Bemessung . . . . .</b>                                                                      | <b>303</b> | 5.2      | Dübel und Kopfbolzen . . . . .                                                                                    | 310        |
| 3.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                          | 303        | 5.2.1    | Zuglasten . . . . .                                                                                               | 310        |
| 3.2      | Erforderliche Nachweise . . . . .                                                                              | 304        | 5.2.2    | Querlasten . . . . .                                                                                              | 313        |
| 3.3      | Nachweisverfahren . . . . .                                                                                    | 304        | 5.2.2.1  | Verteilung der Querlasten . . . . .                                                                               | 313        |
| 3.4      | Teilsicherheitsbeiwerte . . . . .                                                                              | 304        | 5.2.2.2  | Querlasten ohne und mit<br>Hebelarm . . . . .                                                                     | 319        |
| 3.4.1    | Einwirkungen . . . . .                                                                                         | 304        | 5.3      | Ankerschienen . . . . .                                                                                           | 321        |
| 3.4.2    | Widerstände . . . . .                                                                                          | 305        | 5.3.1    | Zuglasten . . . . .                                                                                               | 321        |
| 3.4.2.1  | Grenzzustand der Tragfähigkeit<br>(statische und quasi-statische<br>Belastung, Erdbebenbelastung) . . . . .    | 305        | 5.3.2    | Querlasten . . . . .                                                                                              | 322        |
| 3.4.2.2  | Grenzzustand der Tragfähigkeit<br>(Ermüdung) . . . . .                                                         | 306        | 5.3.3    | Ergänzende Regelungen nach<br>CEN/TR 17080 . . . . .                                                              | 323        |
| 3.4.2.3  | Grenzzustand der Gebrauchs-<br>tauglichkeit . . . . .                                                          | 306        | 5.3.3.1  | Allgemeines . . . . .                                                                                             | 323        |
| 3.5      | Projektbeschreibung . . . . .                                                                                  | 306        | 5.3.3.2  | Zuglasten . . . . .                                                                                               | 323        |
| 3.6      | Montage . . . . .                                                                                              | 307        | 5.3.3.3  | Querlasten . . . . .                                                                                              | 323        |
| 3.7      | Bestimmung des Betonzustands . . . . .                                                                         | 307        | 5.4      | Kräfte in einer Zusatzbewehrung . . . . .                                                                         | 323        |
| <b>4</b> | <b>Dauerhaftigkeit . . . . .</b>                                                                               | <b>307</b> | 5.4.1    | Allgemeines . . . . .                                                                                             | 323        |
| 4.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                          | 307        | 5.4.2    | Zugkräfte . . . . .                                                                                               | 325        |
| 4.2      | Befestigungsmittel in trockenen<br>Innenräumen . . . . .                                                       | 309        | 5.4.3    | Querkräfte . . . . .                                                                                              | 325        |
| 4.3      | Befestigungen in ständig feuchten<br>Innenräumen, im Freien und bei<br>hoher Korrosionsbeanspruchung . . . . . | 309        |          |                                                                                                                   |            |

|          |                                                                                                             |            |           |                                                                        |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>Nachweis für Kopfbolzen und mechanische bzw. chemische Dübel im Grenzzustand der Tragfähigkeit . . .</b> | <b>326</b> | 8.2.8     | Versagen der Zusatzbewehrung . . . . .                                 | 376        |
| 6.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                       | 326        | 8.2.8.1   | Stahlversagen . . . . .                                                | 376        |
| 6.2      | Widerstand bei Zugbeanspruchung . .                                                                         | 327        | 8.2.8.2   | Versagen der Verankerung . . . . .                                     | 376        |
| 6.2.1    | Erforderliche Nachweise . . . . .                                                                           | 327        | 8.3       | Widerstand bei Querbeanspruchung .                                     | 376        |
| 6.2.2    | Zusatzbewehrung . . . . .                                                                                   | 330        | 8.3.1     | Erforderliche Nachweise . . . . .                                      | 376        |
| 6.2.3    | Stahlversagen . . . . .                                                                                     | 330        | 8.3.2     | Zusatzbewehrung . . . . .                                              | 376        |
| 6.2.4    | Kegelförmiger Betonausbruch . . . . .                                                                       | 330        | 8.3.3     | Stahlversagen . . . . .                                                | 377        |
| 6.2.5    | Herausziehen . . . . .                                                                                      | 340        | 8.3.3.1   | Querlast ohne Hebelarm . . . . .                                       | 377        |
| 6.2.6    | Kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch . . . . .                                           | 340        | 8.3.3.2   | Querlast mit Hebelarm . . . . .                                        | 377        |
| 6.2.7    | Spalten . . . . .                                                                                           | 344        | 8.3.4     | Rückwärtiger Betonausbruch . . . . .                                   | 377        |
| 6.2.7.1  | Spalten bei der Montage der Befestigungsmittel . . . . .                                                    | 344        | 8.3.5     | Betonkantenbruch . . . . .                                             | 377        |
| 6.2.7.2  | Spalten unter Last . . . . .                                                                                | 344        | 8.3.6     | Versagen der Zusatzbewehrung . . . . .                                 | 381        |
| 6.2.8    | Lokaler Betonausbruch . . . . .                                                                             | 346        | 8.3.6.1   | Stahlversagen . . . . .                                                | 381        |
| 6.2.9    | Versagen der Zusatzbewehrung . . . . .                                                                      | 349        | 8.3.6.2   | Versagen der Verankerung . . . . .                                     | 381        |
| 6.2.9.1  | Stahlversagen . . . . .                                                                                     | 349        | 8.4       | Kombiniertes Versagen durch Zug- und Querlasten . . . . .              | 381        |
| 6.2.9.2  | Versagen der Verankerung . . . . .                                                                          | 349        | 8.4.1     | Befestigungen ohne Zusatzbewehrung . . . . .                           | 381        |
| 6.3      | Widerstand bei Querbeanspruchung .                                                                          | 349        | 8.4.2     | Befestigungen mit Zusatzbewehrung . . . . .                            | 381        |
| 6.3.1    | Erforderliche Nachweise . . . . .                                                                           | 349        | 8.5       | Ergänzende Regelungen nach CEN/TR 17080 . . . . .                      | 381        |
| 6.3.2    | Zusatzbewehrung . . . . .                                                                                   | 351        | 8.5.1     | Allgemeines . . . . .                                                  | 381        |
| 6.3.3    | Stahlversagen . . . . .                                                                                     | 351        | 8.5.2     | Grundlagen der Bemessung . . . . .                                     | 381        |
| 6.3.3.1  | Stahlversagen für Querlast ohne Hebelarm . . . . .                                                          | 351        | 8.5.3     | Widerstand bei Zugbeanspruchung .                                      | 383        |
| 6.3.3.2  | Stahlversagen für Querlast mit Hebelarm . . . . .                                                           | 352        | 8.5.4     | Widerstand bei Querbeanspruchung .                                     | 383        |
| 6.3.4    | Rückwärtiger Betonausbruch . . . . .                                                                        | 352        | 8.5.4.1   | Querlast senkrecht zur Schienenachse . . . . .                         | 383        |
| 6.3.5    | Betonkantenbruch . . . . .                                                                                  | 355        | 8.5.4.2   | Querlast in Richtung der Schienenachse . . . . .                       | 383        |
| 6.3.6    | Versagen der Zusatzbewehrung . . . . .                                                                      | 364        | 8.5.5     | Kombiniertes Versagen durch Zug- und Querlasten . . . . .              | 385        |
| 6.3.6.1  | Allgemeines . . . . .                                                                                       | 364        | 8.5.5.1   | Ankerschienen ohne Zusatzbewehrung . . . . .                           | 385        |
| 6.3.6.2  | Stahlversagen . . . . .                                                                                     | 364        | 8.5.5.2   | Ankerschienen mit Zusatzbewehrung . . . . .                            | 386        |
| 6.3.6.3  | Versagen der Verankerung . . . . .                                                                          | 365        | <b>9</b>  | <b>Ermüdung . . . . .</b>                                              | <b>387</b> |
| 6.4      | Kombiniertes Versagen durch Zug- und Querlasten . . . . .                                                   | 365        | 9.1       | Allgemeines . . . . .                                                  | 387        |
| 6.4.1    | Befestigungen ohne Zusatzbewehrung . . . . .                                                                | 365        | 9.2       | Einwirkungen . . . . .                                                 | 387        |
| 6.4.2    | Befestigungen mit Zusatzbewehrung . . . . .                                                                 | 366        | 9.3       | Widerstand . . . . .                                                   | 387        |
| <b>7</b> | <b>Redundante Befestigungen . . . . .</b>                                                                   | <b>366</b> | 9.4       | Kombiniertes Versagen durch Zug- und Querlasten . . . . .              | 389        |
| 7.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                       | 366        | <b>10</b> | <b>Erdbebenbelastung . . . . .</b>                                     | <b>390</b> |
| 7.2      | Bemessungskonzept . . . . .                                                                                 | 367        | 10.1      | Allgemeines . . . . .                                                  | 390        |
| <b>8</b> | <b>Nachweis von Ankerschienen im Grenzzustand der Tragfähigkeit . . .</b>                                   | <b>368</b> | 10.2      | Anforderungen . . . . .                                                | 390        |
| 8.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                       | 368        | 10.3      | Ableitung der auf die Befestigungsmittel einwirkenden Kräfte . . . . . | 391        |
| 8.2      | Widerstand bei Zugbeanspruchung .                                                                           | 369        | 10.4      | Widerstände . . . . .                                                  | 391        |
| 8.2.1    | Erforderliche Nachweise . . . . .                                                                           | 369        | 10.5      | Bemessung . . . . .                                                    | 391        |
| 8.2.2    | Zusatzbewehrung . . . . .                                                                                   | 369        | 10.5.1    | Allgemeines . . . . .                                                  | 391        |
| 8.2.3    | Stahlversagen . . . . .                                                                                     | 371        | 10.5.2    | Leistungskategorien . . . . .                                          | 392        |
| 8.2.4    | Herausziehen . . . . .                                                                                      | 371        | 10.5.3    | Bemessungskriterien . . . . .                                          | 392        |
| 8.2.5    | Kegelförmiger Betonausbruch . . . . .                                                                       | 371        | 10.5.4    | Ableitung der Lasteinwirkungen . .                                     | 394        |
| 8.2.6    | Spalten des Betons . . . . .                                                                                | 374        | 10.5.4.1  | Allgemeines . . . . .                                                  | 394        |
| 8.2.6.1  | Spalten bei der Montage der Spezialschraube . . . . .                                                       | 374        | 10.5.4.2  | Ergänzungen zu EN 1998-1, Abschnitt 4.3.3.5 . . . . .                  | 394        |
| 8.2.6.2  | Spalten unter Last . . . . .                                                                                | 374        |           |                                                                        |            |
| 8.2.7    | Versagen durch lokalen Betonausbruch . . . . .                                                              | 375        |           |                                                                        |            |

|           |                                                                                   |     |           |                                                                       |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.5.4.3  | Ergänzungen zu EN 1998-1, Abschnitt 4.3.5.1                                       | 394 | 11.3.4    | Herausziehen unter Zuglast                                            | 401 |
| 10.5.4.4  | Ergänzungen und Änderungen zu EN 1998-1, Abschnitt 4.3.5.2                        | 394 | 11.3.5    | Betonbruch unter Zug- und Querlast                                    | 401 |
| 10.5.5    | Widerstände                                                                       | 395 | 11.3.6    | Interaktion                                                           | 402 |
| 10.5.6    | Verschiebungen                                                                    | 397 | <b>12</b> | <b>Plastizitätstheorie – CEN/TR 17081</b>                             | 402 |
| <b>11</b> | <b>Brandbeanspruchung</b>                                                         | 397 | 12.1      | Allgemeines                                                           | 402 |
| 11.1      | Allgemeines                                                                       | 397 | 12.2      | Anwendungsbedingungen                                                 | 403 |
| 11.2      | Grundlagen der Bemessung                                                          | 398 | 12.3      | Verteilung der äußeren Lasten auf die Befestigungsmittel einer Gruppe | 404 |
| 11.3      | Bemessung                                                                         | 400 | 12.4      | Bemessung                                                             | 405 |
| 11.3.1    | Allgemeines                                                                       | 400 | <b>13</b> | <b>Literatur</b>                                                      | 406 |
| 11.3.2    | Stahlversagen unter Zug- und Querlast                                             | 400 |           |                                                                       |     |
| 11.3.3    | Stahlversagen bei Querlast mit Hebelarm                                           | 400 |           |                                                                       |     |
| <b>V</b>  | <b>Verankerungs- und Bewehrungstechnik</b>                                        | 409 |           |                                                                       |     |
|           | Thomas M. Sippel                                                                  |     |           |                                                                       |     |
| <b>1</b>  | <b>Einleitung</b>                                                                 | 411 | 3.6       | Ankleben von Stahllaschen                                             | 433 |
| <b>2</b>  | <b>Spezielle Bewehrungselemente</b>                                               | 412 | 3.7       | Nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe                            | 433 |
| 2.1       | Anwendungsbereich                                                                 | 412 | <b>4</b>  | <b>Vorgefertigte Bewehrungsanschlüsse</b>                             | 441 |
| 2.2       | Ausführung                                                                        | 413 | 4.1       | Ausführungen mit Betonstahl                                           | 441 |
| 2.3       | Bemessung                                                                         | 416 | 4.2       | Flexible Rückbiegeanschlüsse                                          | 444 |
| 2.3.1     | Durchstanzbewehrung bei punktförmig gestützten Platten                            | 416 | 4.3       | Elemente mit Wärmedämmung                                             | 448 |
| <b>3</b>  | <b>Verbindungselemente</b>                                                        | 423 | 4.4       | Elemente mit Schalldämmung                                            | 453 |
| 3.1       | Allgemeines                                                                       | 423 | <b>5</b>  | <b>Elemente zur Querkraftübertragung</b>                              | 458 |
| 3.2       | Betonstahlverbindungen mit gewindeförmig ausgebildeten Rippen                     | 423 | 5.1       | Stahlaufleger für II-Platten-Decken                                   | 458 |
| 3.3       | Betonstahlverbindungen mit konischem Gewinde an den Stoßenden                     | 424 | 5.2       | Querkraftdornsysteme                                                  | 458 |
| 3.4       | Betonstahlverbindungen mit zylindrischem Gewinde an den Stoßenden                 | 425 | 5.3       | Einfache Querkraftdorne                                               | 461 |
| 3.5       | Betonstahlverbindungen mit überzogener oder aufgepresster Muffe                   | 428 | <b>6</b>  | <b>Fertigteilverbinder</b>                                            | 461 |
|           |                                                                                   |     | 6.1       | Biegesteife Verbindungen                                              | 461 |
|           |                                                                                   |     | 6.2       | Lösbare Wandverbinder                                                 | 466 |
| <b>VI</b> | <b>Massive (Verkehrs-)Wasserbauwerke – ein aktueller bautechnischer Überblick</b> | 473 | <b>7</b>  | <b>Literatur</b>                                                      | 472 |
|           | Claus Kunz                                                                        |     |           |                                                                       |     |
| <b>1</b>  | <b>Einführung</b>                                                                 | 475 | 3.1       | Wasserbauspezifische Bemessungssituationen                            | 478 |
| <b>2</b>  | <b>Regelwerke für massive Wasserbauwerke</b>                                      | 477 | 3.2       | Wasserbauspezifische Einwirkungen                                     | 479 |
| <b>3</b>  | <b>Sicherheitskonzept für massive Wasserbauwerke</b>                              | 478 | 3.3       | Wasserbauspezifische Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte        | 482 |

|            |                                                                                      |          |                                                                                  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4</b>   | <b>Beton- und Stahlbeton im Wasserbau</b> .....                                      | <b>5</b> | <b>Beispiele für die massige Betonbauweise</b> .....                             |
| 4.1        | Technische Vertragsbedingungen ...                                                   |          | 492                                                                              |
| 4.2        | Bemessung .....                                                                      | <b>6</b> | <b>Bauweisen von (Verkehrs-) Wasserbauwerken</b> .....                           |
| 4.3        | Herstellung von Beton für massive Wasserbauwerke .....                               | 6.1      | Schleusen .....                                                                  |
| 4.3.1      | Expositionsklassen .....                                                             | 6.2      | Wehre .....                                                                      |
| 4.3.2      | Anforderungen an den Beton .....                                                     | 6.3      | Düker/Durchlässe .....                                                           |
| 4.3.3      | Festlegung und Lieferung des Betons .....                                            | <b>7</b> | <b>Aktuelle Fragestellungen und Forschungen für massive Wasserbauwerke</b> ..... |
| 4.4        | Bauausführung für Betone im Wasserbau .....                                          |          | 498                                                                              |
| 4.4.1      | Schalen und Bewehren .....                                                           | <b>8</b> | <b>Literatur</b> .....                                                           |
| 4.4.2      | Fugen .....                                                                          |          | 499                                                                              |
| 4.4.3      | Nachbehandlung .....                                                                 |          |                                                                                  |
|            | 492                                                                                  |          |                                                                                  |
| <b>VII</b> | <b>Wildbachsperren</b> .....                                                         |          | <b>501</b>                                                                       |
|            | Jürgen Suda, Konrad Bergmeister                                                      |          |                                                                                  |
| <b>1</b>   | <b>Einführung</b> .....                                                              | 5.3.2    | Allgemeine Entwurfsregeln für Dosiersperren .....                                |
|            | 503                                                                                  |          | 535                                                                              |
| <b>2</b>   | <b>Wildbachgrundlagen</b> .....                                                      | 5.3.3    | Konstruktion von Schlitzsperren ...                                              |
|            | 506                                                                                  | 5.3.3.1  | Schlitzsperren mit offenem Schlitz ..                                            |
| <b>3</b>   | <b>Schutzkonzepte mit Bauwerken</b> .....                                            | 5.3.3.2  | Schlitzsperren mit Balken (Balkensperren) .....                                  |
| 3.1        | Geschiebewirtschaftung .....                                                         |          | 538                                                                              |
| 3.1.1      | Beeinflussung der Entstehungsprozesse .....                                          | 5.3.4    | Konstruktion von großdoligen Dolensperren mit Rechen .....                       |
| 3.1.2      | Beeinflussung der Verlagerungsprozesse (Retention und Dosierung von Geschiebe) ..... | 5.4      | Filtersperren .....                                                              |
|            | 510                                                                                  | 5.4.1    | Wirkungsweise .....                                                              |
| 3.1.3      | Beeinflussung der Ablagerungsprozesse .....                                          | 5.4.2    | Konstruktion von Filtersperren ...                                               |
|            | 510                                                                                  | 5.5      | Bauwerke zur Energieumwandlung ..                                                |
| 3.2        | Schutzbauwerke zur Kontrolle von murartigen Verlagerungsprozessen ..                 | 5.5.1    | Wirkungsweise .....                                                              |
|            | 512                                                                                  | 5.5.2    | Konstruktion von Murbrechern .....                                               |
| 3.3        | Schutzbauwerke zur Kontrolle von Wildholz .....                                      | 5.5.3    | Konstruktion von Murabsturz-sperren .....                                        |
|            | 514                                                                                  | 5.6      | Konstruktion von Sperren gegen Hangdruck (Bergdruck) .....                       |
| <b>4</b>   | <b>Systematik der Schutzbauwerke</b> .....                                           |          | 549                                                                              |
| 4.1        | Allgemeines .....                                                                    | 5.7      | Stauraum von Retentions- und Dosiersperren .....                                 |
| 4.2        | Klassifizierungsgrundsätze .....                                                     |          | 550                                                                              |
| 4.2.1      | Wirkungen der Wildbachschutzbauwerke (Funktionstypen) .....                          | 5.8      | Konstruktion der Bauteile von Sperren .....                                      |
|            | 518                                                                                  | 5.8.1    | Abflusssektion (Überfallsektion) und Sperrenkrone .....                          |
| 4.2.2      | Systematik der Wildbachschutzbauwerke .....                                          | 5.8.1.1  | Allgemeines .....                                                                |
|            | 519                                                                                  | 5.8.1.2  | Form der Abflusssektion .....                                                    |
| 4.2.3      | Klassifizierung von Wildbachsperren .....                                            | 5.8.1.3  | Konstruktiver Schutz gegen Abrieb (Hydroabrasion) .....                          |
|            | 523                                                                                  | 5.8.1.4  | Kronsteine .....                                                                 |
| <b>5</b>   | <b>Entwurf und Konstruktion von Schutzbauwerken aus Beton und Stahlbeton</b> .....   | 5.8.1.5  | Stahlblechverkleidungen an der Abflusssektion .....                              |
|            | 528                                                                                  | 5.8.1.6  | Panzerung von Ein- und Auslaufbereichen, Scheiben, Wangen und Querriegeln .....  |
| 5.1        | Allgemeine Konstruktionsregeln für Wildbachsperren .....                             |          | 555                                                                              |
| 5.2        | Konsolidierungssperren .....                                                         | 5.8.2    | Auskragungen von Abflusssektionen .....                                          |
| 5.2.1      | Wirkungsweise .....                                                                  |          | 557                                                                              |
| 5.2.2      | Konstruktion von Staffeln .....                                                      | 5.8.3    | Fundament .....                                                                  |
| 5.3        | Dosiersperren .....                                                                  | 5.8.4    | Vorfelddangen .....                                                              |
| 5.3.1      | Wirkungsweise .....                                                                  |          | 560                                                                              |

|          |                                                                                         |     |         |                                                                                            |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.8.5    | Scheiben und Pfeiler . . . . .                                                          | 560 | 6.1.3.2 | Abfluss . . . . .                                                                          | 595 |
| 5.8.6    | Balken- und Rechenkonstruktionen . . . . .                                              | 561 | 6.1.3.3 | Hydrologische Modelle . . . . .                                                            | 596 |
| 5.8.6.1  | Allgemeines . . . . .                                                                   | 561 | 6.1.4   | Abschätzung der Geschiebefracht . . . . .                                                  | 598 |
| 5.8.6.2  | Vertikale Rechen . . . . .                                                              | 563 | 6.1.5   | Abschätzung von Murfrachten . . . . .                                                      | 600 |
| 5.8.6.3  | Gleichmäßig geneigte Rechen . . . . .                                                   | 563 | 6.2     | Geotechnische Grundlagen . . . . .                                                         | 600 |
| 5.8.6.4  | Gebrochene Rechen . . . . .                                                             | 564 | 6.2.1   | Grenz- und Zwischenwerte des                                                               |     |
| 5.8.6.5  | Rechenstäbe und Auflager . . . . .                                                      | 564 |         | Erddrucks . . . . .                                                                        | 600 |
| 5.8.7    | Sicherung des Sperrenvorfelds<br>(Tosbecken, Kolkssicherung) . . . . .                  | 566 | 6.2.2   | Grundwerte für die Berechnung des                                                          |     |
| 5.8.8    | Sperröffnungen . . . . .                                                                | 566 |         | Erddrucks . . . . .                                                                        | 601 |
| 5.8.8.1  | Kleine Öffnungen in Stahlbeton-<br>platten . . . . .                                    | 570 | 6.2.2.1 | Bodenkennwerte . . . . .                                                                   | 603 |
| 5.8.8.2  | Große Öffnungen in Stahlbeton-<br>platten . . . . .                                     | 570 | 6.2.2.2 | Wandreibungswinkel . . . . .                                                               | 603 |
| 5.8.8.3  | Öffnungen in Gewichtsmauern . . . . .                                                   | 570 | 6.2.3   | Erddruckberechnung . . . . .                                                               | 604 |
| 5.8.8.4  | Öffnungen in Bogenmauern<br>(Gewölbemauern) . . . . .                                   | 570 | 6.2.4   | Sonderformen des Erddrucks . . . . .                                                       | 605 |
| 5.8.9    | Bauwerksfugen . . . . .                                                                 | 572 | 6.2.4.1 | Erdruhedruck . . . . .                                                                     | 605 |
| 5.8.9.1  | Allgemeines . . . . .                                                                   | 572 | 6.2.4.2 | Erhöhter aktiver Erddruck . . . . .                                                        | 605 |
| 5.8.9.2  | Arbeitsfugen . . . . .                                                                  | 573 | 6.2.4.3 | Siloerddruck . . . . .                                                                     | 605 |
| 5.8.9.3  | Bewegungsfugen . . . . .                                                                | 574 | 6.2.4.4 | Verminderter passiver Erddruck<br>(mobilisierter Erdwiderstand) . . . . .                  | 605 |
| 5.8.10   | Bewehrungsführung, Konstruktive<br>Durchbildung von Sperren aus<br>Stahlbeton . . . . . | 579 | 6.2.4.5 | Kriechdruck . . . . .                                                                      | 605 |
| 5.8.10.1 | Generell . . . . .                                                                      | 579 | 7       | <b>Einwirkungen</b> . . . . .                                                              | 606 |
| 5.8.10.2 | Bewehrung von Platten und<br>Scheiben . . . . .                                         | 579 | 7.1     | Grundlagen der statischen und<br>dynamischen Einwirkungen . . . . .                        | 606 |
| 5.8.10.3 | Anschluss von Vorfeld- oder<br>Rostwangen . . . . .                                     | 582 | 7.1.1   | Klassifizierungen der<br>Einwirkungen . . . . .                                            | 606 |
| 5.8.10.4 | Winkelstützmauern . . . . .                                                             | 582 | 7.1.2   | Prozess- und Einwirkungsmodelle<br>für die Dimensionierung der<br>Schutzbauwerke . . . . . | 607 |
| 5.9      | Werkstoffe . . . . .                                                                    | 582 | 7.1.3   | Prozessparameter . . . . .                                                                 | 608 |
| 5.9.1    | Konstruktionsbeton . . . . .                                                            | 582 | 7.2     | Eigengewicht . . . . .                                                                     | 608 |
| 5.9.1.1  | Expositionsklassen . . . . .                                                            | 583 | 7.3     | Erddruck . . . . .                                                                         | 609 |
| 5.9.1.2  | Chemischer Angriff . . . . .                                                            | 584 | 7.4     | Hydrostatischer Wasserdruck . . . . .                                                      | 610 |
| 5.9.1.3  | Verschleiß – Abrasion . . . . .                                                         | 584 | 7.4.1   | Einwirkungsmodell . . . . .                                                                | 610 |
| 5.9.1.4  | Betondeckung . . . . .                                                                  | 585 | 7.4.2   | Statische Wasserdrücke aus dem<br>Ober- und Unterwasser . . . . .                          | 611 |
| 5.9.2    | Betonkonzepte für Wildbach-<br>sperrn . . . . .                                         | 586 | 7.4.3   | Wasserauflasten . . . . .                                                                  | 611 |
| 5.9.2.1  | Einleitung . . . . .                                                                    | 586 | 7.4.4   | Sohlwasserdruck (Auftrieb) . . . . .                                                       | 611 |
| 5.9.2.2  | Exposition / Klimatische<br>Bedingungen . . . . .                                       | 586 | 7.4.5   | Fugenwasserdruck . . . . .                                                                 | 613 |
| 5.9.2.3  | Bauteilspezifische Bedingungen . . . . .                                                | 586 | 7.5     | Einwirkungen mit dynamischen<br>Komponenten . . . . .                                      | 613 |
| 5.9.2.4  | Herstellungsprozessspezifische<br>Bedingungen . . . . .                                 | 586 | 7.5.1   | Allgemeines . . . . .                                                                      | 613 |
| 5.9.2.5  | Exposition / Klimatische<br>Bedingungen . . . . .                                       | 586 | 7.5.2   | Wasserdruck . . . . .                                                                      | 613 |
| 5.9.2.6  | Ausgangsstoffe . . . . .                                                                | 586 | 7.5.2.1 | Einwirkungsmodell . . . . .                                                                | 613 |
| 5.9.3    | Stahl . . . . .                                                                         | 592 | 7.5.2.2 | Dynamischer Wasserdruck . . . . .                                                          | 615 |
| 6        | <b>Bemessungs- und Berechnungs-<br/>grundlagen</b> . . . . .                            | 593 | 7.5.3   | Murdruck . . . . .                                                                         | 616 |
| 6.1      | Hydrologische Grundlagen . . . . .                                                      | 593 | 7.5.3.1 | Einwirkungsmodell . . . . .                                                                | 617 |
| 6.1.1    | Methoden . . . . .                                                                      | 593 | 7.5.3.2 | Dynamischer Murdruck . . . . .                                                             | 619 |
| 6.1.1.1  | Rückwärtsgerichtete Indikation . . . . .                                                | 593 | 7.5.3.3 | Statischer Murdruck . . . . .                                                              | 620 |
| 6.1.1.2  | Vorwärtsgerichtete Indikation . . . . .                                                 | 594 | 7.6     | Einwirkungen von<br>Einzelkomponenten . . . . .                                            | 621 |
| 6.1.2    | Bestimmung der<br>Verlagerungsprozesse . . . . .                                        | 594 | 7.7     | Sondereinwirkungen . . . . .                                                               | 621 |
| 6.1.3    | Abschätzung des Abflusses . . . . .                                                     | 595 | 7.7.1   | Lawinen . . . . .                                                                          | 621 |
| 6.1.3.1  | Niederschlag . . . . .                                                                  | 595 | 7.7.2   | Seitlicher Handdruck (Talzus Schub) . . . . .                                              | 621 |
|          |                                                                                         |     | 7.7.3   | Steinschlag, Felssturz . . . . .                                                           | 621 |
|          |                                                                                         |     | 7.7.4   | Rutschung . . . . .                                                                        | 622 |
|          |                                                                                         |     | 7.7.5   | Erdbeben . . . . .                                                                         | 622 |
|          |                                                                                         |     | 7.7.6   | Verkehrslasten . . . . .                                                                   | 622 |
|          |                                                                                         |     | 7.7.7   | Einwirkungen aus<br>Zwangsbeanspruchung . . . . .                                          | 622 |

|          |                                                                               |            |          |                                                                                                                                |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.7.7.1  | Eingeprägte Verformung . . . . .                                              | 622        | 9.1.5.3  | Außergewöhnliche Bemessungssituationen . . . . .                                                                               | 645 |
| 7.7.7.2  | Temperatur . . . . .                                                          | 622        | 9.1.6    | Bemessungswerte . . . . .                                                                                                      | 645 |
| 7.7.7.3  | Zeitabhängiges Materialverhalten (Kriechen, Schwinden) . . . . .              | 622        | 9.1.7    | Geotechnische Kategorien (GK) . . . . .                                                                                        | 646 |
| <b>8</b> | <b>Hydraulische Bemessung . . . . .</b>                                       | <b>622</b> | 9.1.8    | Einwirkungen . . . . .                                                                                                         | 646 |
| 8.1      | Bemessung des Abflusses im Gerinne . . . . .                                  | 622        | 9.1.9    | Widerstände . . . . .                                                                                                          | 647 |
| 8.1.1    | Hydraulische Bemessung des Reinwasserabflusses . . . . .                      | 622        | 9.1.10   | Teilsicherheitsbeiwerte . . . . .                                                                                              | 648 |
| 8.1.1.1  | Abfluss und Wasserbewegung im Wildbach . . . . .                              | 622        | 9.1.10.1 | Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (Beanspruchungen) . . . . .                                                           | 648 |
| 8.1.1.2  | Fließgleichungen für Wildbachgerinne . . . . .                                | 624        | 9.1.10.2 | Teilsicherheitsbeiwerte für Bodenkenwerte und Widerstände . . . . .                                                            | 648 |
| 8.1.1.3  | Beschreibung des Abflussverhaltens . . . . .                                  | 627        | 9.1.11   | Nachweise . . . . .                                                                                                            | 649 |
| 8.1.1.4  | Bemessung von Veränderungen im Abflussprofil . . . . .                        | 627        | 9.1.11.1 | Kippen (GEO) . . . . .                                                                                                         | 649 |
| 8.1.1.5  | Bemessung von Krümmungen . . . . .                                            | 628        | 9.1.11.2 | Gleiten (GEO) . . . . .                                                                                                        | 651 |
| 8.1.2    | Bemessung des Geschiebetransports im Gerinne . . . . .                        | 628        | 9.1.11.3 | Grundbruch (GEO) . . . . .                                                                                                     | 652 |
| 8.1.2.1  | Fluvialer Feststofftransport . . . . .                                        | 628        | 9.1.11.4 | Geländebruchsicherheit (GEO) . . . . .                                                                                         | 654 |
| 8.1.2.2  | Murartiger Feststofftransport . . . . .                                       | 631        | 9.1.11.5 | Spannungsnachweise im Bauteil (STR) . . . . .                                                                                  | 654 |
| 8.2      | Für die Bemessung relevante Abflüsse . . . . .                                | 633        | 9.1.11.6 | Stabilitätsnachweise im Bauteil (STR) . . . . .                                                                                | 655 |
| 8.2.1    | Bemessungsereignis . . . . .                                                  | 633        | 9.2      | Einwirkungskombinationen für Wildbachsperrn . . . . .                                                                          | 655 |
| 8.2.2    | Überlastfall . . . . .                                                        | 634        | 9.2.1    | Einwirkungskombinationen für Funktionstypen Retention, Dosierung, Filterung und Energieumwandlung (Murbrecher) . . . . .       | 655 |
| 8.3      | Hydraulische Bemessung von Querbauwerken . . . . .                            | 634        | 9.2.1.1  | Einwirkungskombinationen mit fluvialen Verlagerungsprozessen . . . . .                                                         | 655 |
| 8.3.1    | Allgemeines . . . . .                                                         | 634        | 9.2.1.2  | Einwirkungskombinationen mit murartigen Verlagerungsprozessen . . . . .                                                        | 657 |
| 8.3.2    | Bemessung der Abflusssektion . . . . .                                        | 634        | 9.2.2    | Einwirkungskombinationen für die Funktionstypen Stabilisierung / Konsolidierung, Energieumwandlung (Absturzbauwerke) . . . . . | 659 |
| 8.3.3    | Bemessung des Tosbeckens bzw. des Sperrenvorfelds (Kolk) . . . . .            | 637        | 9.2.2.1  | Einwirkungskombinationen mit fluvialen Verlagerungsprozessen . . . . .                                                         | 659 |
| 8.3.4    | Bemessung der Sperröffnungen . . . . .                                        | 638        | 9.2.2.2  | Einwirkungskombinationen mit murartigen Verlagerungsprozessen . . . . .                                                        | 661 |
| 8.4      | Bemessung des Stauraums (Speicherkapazität) für die Feststofffracht . . . . . | 639        | 9.2.3    | Zuordnung der Einwirkungskombinationen . . . . .                                                                               | 661 |
| <b>9</b> | <b>Statische Berechnung und Bemessung . . . . .</b>                           | <b>640</b> | 9.3      | Statische Systeme von Wildbachsperrn . . . . .                                                                                 | 663 |
| 9.1      | Bemessungsgrundlagen . . . . .                                                | 640        | 9.3.1    | Gewichtssperren . . . . .                                                                                                      | 666 |
| 9.1.1    | Normative Grundlagen . . . . .                                                | 640        | 9.3.1.1  | Allgemeines . . . . .                                                                                                          | 666 |
| 9.1.1.1  | Äußere Standsicherheit . . . . .                                              | 640        | 9.3.1.2  | Gewichtssperren in Konstruktionsbeton . . . . .                                                                                | 666 |
| 9.1.1.2  | Innere Standsicherheit . . . . .                                              | 640        | 9.3.1.3  | Vorgespannte Betongewichtssperre . . . . .                                                                                     | 666 |
| 9.1.2    | Charakteristische Werte . . . . .                                             | 640        | 9.3.1.4  | Berechnung und Bemessung . . . . .                                                                                             | 667 |
| 9.1.2.1  | Baustoffe . . . . .                                                           | 640        | 9.3.2    | Gewölbesperren (Bogensperren) . . . . .                                                                                        | 669 |
| 9.1.2.2  | Geotechnische Kennwerte . . . . .                                             | 640        | 9.3.2.1  | Allgemeines . . . . .                                                                                                          | 669 |
| 9.1.2.3  | Ständige Einwirkungen und geometrische Parameter . . . . .                    | 641        | 9.3.2.2  | Vorbemessung . . . . .                                                                                                         | 673 |
| 9.1.2.4  | Veränderliche Einwirkungen . . . . .                                          | 641        | 9.3.2.3  | Berechnung und Bemessung . . . . .                                                                                             | 673 |
| 9.1.2.5  | Außergewöhnliche Einwirkungen . . . . .                                       | 641        | 9.3.2.4  | Konstruktive Durchbildung . . . . .                                                                                            | 679 |
| 9.1.3    | Maßgebliche Versagensarten von Wildbachsperrn . . . . .                       | 641        | 9.3.2.5  | Ausgeführte Beispiele . . . . .                                                                                                | 679 |
| 9.1.4    | Grenzzustände . . . . .                                                       | 642        | 9.3.3    | Einfache Plattensperre . . . . .                                                                                               | 681 |
| 9.1.5    | Bemessungssituationen . . . . .                                               | 644        | 9.3.3.1  | Allgemeines . . . . .                                                                                                          | 681 |
| 9.1.5.1  | Ständige Bemessungssituationen . . . . .                                      | 645        | 9.3.3.2  | Berechnung und Bemessung . . . . .                                                                                             | 683 |
| 9.1.5.2  | Vorübergehende Bemessungssituationen . . . . .                                | 645        | 9.3.3.3  | Konstruktive Durchbildung . . . . .                                                                                            | 685 |

|         |                                                      |     |           |                                                                    |            |
|---------|------------------------------------------------------|-----|-----------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.3.3.4 | Ausgeführte Beispiele . . . . .                      | 685 | 9.3.6.4   | Berechnung und Bemessung . . . . .                                 | 697        |
| 9.3.4   | Hybridmauern . . . . .                               | 685 | 9.3.6.5   | Konstruktive Durchbildung . . . . .                                | 697        |
| 9.3.4.1 | Allgemeines . . . . .                                | 685 | 9.3.6.6   | Ausgeführte Beispiele . . . . .                                    | 697        |
| 9.3.4.2 | Berechnung und Bemessung . . . . .                   | 685 | 9.3.7     | Aufgelöste Tragsysteme . . . . .                                   | 698        |
| 9.3.4.3 | Ausgeführte Beispiele . . . . .                      | 687 | 9.3.7.1   | Massenaktive aufgelöste<br>Tragwerke . . . . .                     | 699        |
| 9.3.5   | Winkelstützmauer . . . . .                           | 688 | 9.3.7.2   | Vektoraktive aufgelöste<br>Tragwerke . . . . .                     | 701        |
| 9.3.5.1 | Allgemeines . . . . .                                | 688 | 9.3.7.3   | Berechnung und Bemessung . . . . .                                 | 704        |
| 9.3.5.2 | Vorbemessung . . . . .                               | 690 | 9.3.7.4   | Konstruktive Durchbildung . . . . .                                | 705        |
| 9.3.5.3 | Berechnung und Bemessung . . . . .                   | 690 | 9.3.7.5   | Ausgeführte Beispiele . . . . .                                    | 706        |
| 9.3.5.4 | Konstruktive Durchbildung . . . . .                  | 695 |           |                                                                    |            |
| 9.3.5.5 | Ausgeführte Beispiele . . . . .                      | 695 | <b>10</b> | <b>Erhaltung und Lebensdauer von<br/>Schutzbauwerken . . . . .</b> | <b>714</b> |
| 9.3.6   | Pfeilerplattensperre . . . . .                       | 695 | <b>11</b> | <b>Literatur . . . . .</b>                                         | <b>719</b> |
| 9.3.6.1 | Allgemeines . . . . .                                | 695 |           |                                                                    |            |
| 9.3.6.2 | Sperre mit wasserseitigen<br>Stützpfählern . . . . . | 696 |           |                                                                    |            |
| 9.3.6.3 | Sperre mit luftseitigen<br>Stützpfählern . . . . .   | 696 |           |                                                                    |            |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b> | <b>XXI</b> |
|---------------------------------------|------------|

# Inhaltsverzeichnis

## 2

|             |                                                                                           |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>VIII</b> | <b>Baugrundverbesserung</b> .....                                                         | 725 |
|             | Robert Thurner, Clemens Kummerer, Roman Marte                                             |     |
| <b>1</b>    | <b>Einleitung</b> .....                                                                   | 727 |
| 1.1         | Bedeutung von Baugrundverbesserungsmaßnahmen .....                                        | 727 |
| 1.2         | Definition des Begriffs Baugrundverbesserung .....                                        | 727 |
| 1.3         | Inhalt und Struktur des Beitrags ....                                                     | 728 |
| <b>2</b>    | <b>Ziel von Baugrundverbesserungsmaßnahmen</b> .....                                      | 729 |
| 2.1         | Allgemeines .....                                                                         | 729 |
| 2.2         | Beeinflussung der Steifigkeit des Baugrunds .....                                         | 729 |
| 2.3         | Beeinflussung der Festigkeit des Baugrunds .....                                          | 731 |
| 2.4         | Beeinflussung der Durchlässigkeit des Untergrunds .....                                   | 732 |
| 2.5         | Reduktion des Verflüssigungspotenzials .....                                              | 732 |
| 2.6         | Binden oder Abbau von Schadstoffen im Untergrund .....                                    | 732 |
| 2.6.1       | Sicherungsmaßnahmen .....                                                                 | 733 |
| 2.6.2       | Dekontaminationsmaßnahmen .....                                                           | 734 |
| <b>3</b>    | <b>Grundlagen für die Planung und Ausführung von Baugrundverbesserungsmaßnahmen</b> ..... | 734 |
| 3.1         | Voraussetzungen für die Planung von Baugrundverbesserungsmaßnahmen .....                  | 735 |
| 3.1.1       | Baugrunderkundung und Kenntnis der Baugrundeigenschaften .....                            | 735 |
| 3.1.2       | Tragwerkeigenschaften, Lasten und Anforderungen an das Bauwerk ....                       | 736 |
| 3.2         | Bemessungsgrundlagen für auf Baugrundverbesserungen errichteten Bauwerken .....           | 736 |
| 3.2.1       | Grundlagen zur Bemessung von Fundamentplatten .....                                       | 736 |
| 3.2.2       | Lastübertragung Überbau zu Baugrundverbesserung .....                                     | 738 |
| 3.3         | Grundlagen zur Modellierung von Baugrundverbesserungsmaßnahmen .....                      | 739 |
| 3.4         | Sicherheit und Umwelt .....                                                               | 739 |
| 3.4.1       | Baustellensicherheit .....                                                                | 739 |
| 3.4.2       | Umwelt – Nachhaltigkeit .....                                                             | 741 |
| 3.4.3       | System Robustheit .....                                                                   | 741 |
| <b>4</b>    | <b>Grundverfahren</b> .....                                                               | 742 |
| 4.1         | Rütteldruckverdichtung .....                                                              | 742 |
| 4.1.1       | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                   | 742 |
| 4.1.2       | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                        | 743 |
| 4.1.3       | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                 | 744 |
| 4.1.4       | Vor-/Nachteile (Risiken) des Verfahrens .....                                             | 746 |
| 4.1.5       | Hinweise für die Planung und Bemessung .....                                              | 747 |
| 4.1.6       | Überwachung und Qualitätssicherung in der Ausführung .....                                | 747 |
| 4.2         | Vibrationsverdichtung mittels Rüttelbohlen .....                                          | 748 |
| 4.2.1       | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                   | 748 |
| 4.2.2       | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                        | 748 |
| 4.2.3       | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                 | 749 |
| 4.2.4       | Vor-/Nachteile (Risiken) des Verfahrens .....                                             | 750 |
| 4.2.5       | Hinweise für die Planung und Bemessung .....                                              | 750 |
| 4.2.6       | Überwachung und Qualitätssicherung in der Ausführung .....                                | 750 |
| 4.3         | Rüttelstopfverdichtung .....                                                              | 750 |
| 4.3.1       | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                   | 750 |
| 4.3.2       | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                        | 751 |
| 4.3.3       | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                 | 752 |
| 4.3.4       | Vor-/Nachteile (Risiken) des Verfahrens .....                                             | 752 |
| 4.3.5       | Hinweise für die Planung und Bemessung .....                                              | 753 |
| 4.3.6       | Überwachung und Qualitätssicherung in der Ausführung .....                                | 754 |
| 4.4         | Verdichten mit Aufsatzrüttlern ....                                                       | 754 |
| 4.4.1       | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                   | 754 |
| 4.4.2       | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                        | 755 |
| 4.4.3       | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                 | 755 |



|         |                                                                      |     |          |                                                                   |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|----------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.4   | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .                 | 755 | 4.8.1.5  | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .               | 775 |
| 4.4.5   | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .                  | 755 | 4.8.1.6  | Überwachung und Qualitätssicherung<br>in der Ausführung . . . . . | 776 |
| 4.4.6   | Überwachung und Qualitätssicherung<br>in der Ausführung . . . . .    | 755 | 4.8.2    | Nassmischverfahren . . . . .                                      | 777 |
| 4.5     | Dynamische Intensivverdichtung und<br>Impulsverdichtung . . . . .    | 756 | 4.8.2.1  | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                  | 777 |
| 4.5.1   | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                     | 756 | 4.8.2.2  | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .         | 780 |
| 4.5.1.1 | Dynamische Intensivverdichtung –<br>Fallplattenverdichtung . . . . . | 756 | 4.8.2.3  | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                 | 781 |
| 4.5.1.2 | Impulsverdichtung . . . . .                                          | 756 | 4.8.2.4  | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .              | 781 |
| 4.5.2   | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .            | 758 | 4.8.2.5  | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .               | 782 |
| 4.5.3   | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                    | 759 | 4.8.2.6  | Überwachung und Qualitätssicherung<br>in der Ausführung . . . . . | 782 |
| 4.5.4   | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .                 | 759 | 4.8.3    | Hybridmischverfahren . . . . .                                    | 782 |
| 4.5.5   | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .                  | 759 | 4.8.3.1  | Massenstabilisierung . . . . .                                    | 782 |
| 4.5.6   | Überwachung und Qualitätssicherung<br>in der Ausführung . . . . .    | 760 | 4.8.3.2  | Fräs-Misch-Injektionsverfahren . . . . .                          | 783 |
| 4.6     | Vertikaldräns mit Vor- bzw.<br>Überlastschüttungen . . . . .         | 760 | 4.9      | Zement-/Kalkstabilisierung . . . . .                              | 784 |
| 4.6.1   | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                     | 760 | 4.9.1    | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                  | 784 |
| 4.6.2   | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .            | 761 | 4.9.2    | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .         | 785 |
| 4.6.3   | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                    | 762 | 4.9.3    | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                 | 787 |
| 4.6.4   | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .                 | 762 | 4.9.4    | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .              | 788 |
| 4.6.5   | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .                  | 763 | 4.9.5    | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .               | 788 |
| 4.6.6   | Überwachung und Qualitäts-<br>sicherung . . . . .                    | 764 | 4.9.6    | Überwachung und Qualitätssicherung<br>in der Ausführung . . . . . | 789 |
| 4.7     | Düsenstrahlverfahren . . . . .                                       | 764 | 4.10     | Injektionen . . . . .                                             | 789 |
| 4.7.1   | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                     | 765 | 4.10.1   | Eindringinjektionen . . . . .                                     | 791 |
| 4.7.2   | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .            | 766 | 4.10.1.1 | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                  | 791 |
| 4.7.3   | Anwendungsmöglichkeiten . . . . .                                    | 768 | 4.10.1.2 | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .         | 792 |
| 4.7.4   | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .                 | 768 | 4.10.1.3 | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                 | 793 |
| 4.7.5   | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .                  | 769 | 4.10.1.4 | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .              | 793 |
| 4.7.6   | Überwachung und Qualitätssicherung<br>in der Ausführung . . . . .    | 771 | 4.10.1.5 | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .               | 794 |
| 4.8     | Bodenmischverfahren . . . . .                                        | 772 | 4.10.1.6 | Überwachung und Qualitäts-<br>sicherung . . . . .                 | 794 |
| 4.8.1   | Trockenmischverfahren . . . . .                                      | 773 | 4.10.2   | Verdichtungsinjektionen . . . . .                                 | 794 |
| 4.8.1.1 | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                     | 773 | 4.10.2.1 | Technische Verfahrens-<br>beschreibung . . . . .                  | 794 |
| 4.8.1.2 | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .            | 774 | 4.10.2.2 | Wirkungsweise (bodenmechanische<br>Betrachtung) . . . . .         | 795 |
| 4.8.1.3 | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                    | 774 | 4.10.2.3 | Anwendungsgebiete/<br>Anwendungsgrenzen . . . . .                 | 795 |
| 4.8.1.4 | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .                 | 775 | 4.10.2.4 | Vor-/Nachteile (Risiken) des<br>Verfahrens . . . . .              | 797 |
|         |                                                                      |     | 4.10.2.5 | Hinweise für die Planung und<br>Bemessung . . . . .               | 797 |

|          |                                                                                              |     |        |                                                                                                                                                         |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.10.2.6 | Überwachung und Qualitätssicherung .....                                                     | 797 | 4.12.4 | Vor-/Nachteile (Risiken) des Verfahrens .....                                                                                                           | 806 |
| 4.10.3   | Aufreißinjektionen .....                                                                     | 797 | 4.12.5 | Hinweise für die Planung und Bemessung .....                                                                                                            | 807 |
| 4.10.3.1 | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                      | 797 | 4.12.6 | Überwachung und Qualitätssicherung in der Ausführung .....                                                                                              | 807 |
| 4.10.3.2 | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                           | 797 |        | <b>Kombinierte Verfahren</b> .....                                                                                                                      | 808 |
| 4.10.3.3 | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                    | 798 | 5.1    | Allgemeines und Zweck von Verfahrenskombination .....                                                                                                   | 808 |
| 4.10.3.4 | Vor-/Nachteile (Risiken) des Verfahrens .....                                                | 799 | 5.2    | Beispiele für Hybridgründungen .....                                                                                                                    | 809 |
| 4.10.3.5 | Hinweise für die Planung und Bemessung .....                                                 | 800 |        | <b>Beispiele</b> .....                                                                                                                                  | 811 |
| 4.10.3.6 | Überwachung und Qualitätssicherung in der Ausführung .....                                   | 800 | 6.1    | Beispiel 1: zur Erläuterung des Bettungsmodulverfahrens sowie zur Darstellung des Einflusses unterschiedlicher Steifigkeiten der Gründungssysteme ..... | 811 |
| 4.11     | Künstliche Bodenvereisung .....                                                              | 801 | 6.1.1  | Auswirkung des Gründungssystems auf Setzungen und Schnittkräfte .....                                                                                   | 812 |
| 4.11.1   | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                      | 801 | 6.1.2  | Diskussion des Einflusses des Bettungsmoduls auf die Biegemomente .....                                                                                 | 814 |
| 4.11.2   | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                           | 802 | 6.2    | Beispiel 2: Anwendung der Rütteldruckverdichtung .....                                                                                                  | 817 |
| 4.11.3   | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                    | 803 | 6.3    | Beispiel 3: Anwendung von Rüttelstopfverdichtung .....                                                                                                  | 817 |
| 4.11.4   | Vor-/Nachteile (Risiken) des Verfahrens .....                                                | 804 | 6.4    | Beispiel 4: Anwendung von Nassmischverfahren .....                                                                                                      | 820 |
| 4.11.5   | Hinweise für die Planung und Bemessung .....                                                 | 805 | 6.5    | Beispiel 5: Anwendung des Düsenstrahlverfahrens .....                                                                                                   | 821 |
| 4.11.6   | Überwachung und Qualitätssicherung in der Ausführung .....                                   | 805 | 6.6    | Ökologischer Fußabdruck verschiedener Gründungsvarianten ..                                                                                             | 824 |
| 4.12     | Stabilisierungssäulen (diskrete starre/pfahlähnliche Elemente bzw. „Rigid Inclusions“) ..... | 805 |        | <b>Ausblick</b> .....                                                                                                                                   | 824 |
| 4.12.1   | Technische Verfahrensbeschreibung .....                                                      | 805 |        | <b>Literatur</b> .....                                                                                                                                  | 825 |
| 4.12.2   | Wirkungsweise (bodenmechanische Betrachtung) .....                                           | 806 |        |                                                                                                                                                         |     |
| 4.12.3   | Anwendungsgebiete/Anwendungsgrenzen .....                                                    | 806 |        |                                                                                                                                                         |     |

## IX Zwangsbeanspruchung und Rissbreitenbeschränkung in Stahlbetonbauteilen auf Grundlage der Verformungskompatibilität .....

Nguyen Viet Tue, Dirk Schlicke 831

|     |                                                         |     |       |                                                                         |     |
|-----|---------------------------------------------------------|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1   | <b>Einleitung</b> .....                                 | 833 | 3     | <b>Verhalten eines Stahlbetonzugstabs unter Lastbeanspruchung</b> ..... | 839 |
| 2   | <b>Verformungseinwirkungen bei Betonbauteilen</b> ..... | 834 | 3.1   | Dicke und dünne Bauteile .....                                          | 839 |
| 2.1 | Allgemeines .....                                       | 834 | 3.2   | Globales Verhalten .....                                                | 840 |
| 2.2 | Mechanische Kenngrößen des Betons .....                 | 834 | 3.3   | Risszustand und Rissbreite .....                                        | 842 |
| 2.3 | Verformungen infolge der Hydratationswärme .....        | 836 | 3.3.1 | Rissbreite bei Einzelriss .....                                         | 842 |
| 2.4 | Verformungen infolge des Schwindens und Kriechens ..... | 836 | 3.3.2 | Rissbreite bei abgeschlossener Rissbildung .....                        | 843 |
| 2.5 | Verformung infolge klimatischer Randbedingungen .....   | 837 |       | <b>Verformungseinwirkung und Zwangskraft</b> .....                      | 843 |
| 2.6 | Boden-Struktur-Interaktion .....                        | 839 | 4.1   | Wechselwirkung zwischen aufgebachter Verformung und Zwangskraft .....   | 843 |

|       |                                                                                       |     |       |                                                                                  |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2   | Spannungsgeschichte bei einem Stahlbetonbauteil unter Verformungseinwirkung . . . . . | 847 | 7.2   | Bestimmung der Zwangbeanspruchung und der aufzunehmenden Verformung . . . . .    | 866 |
| 5     | <b>Zwang bei typischen Bauteilen.</b> . . . .                                         | 851 | 7.3   | Vermeiden von Rissen . . . . .                                                   | 871 |
| 5.1   | Bodenplatten . . . . .                                                                | 851 | 7.4   | Rissbreitenbeschränkung . . . . .                                                | 871 |
| 5.2   | Wände . . . . .                                                                       | 854 | 7.4.1 | Effektive Zugfestigkeit. . . . .                                                 | 872 |
| 5.3   | Hochbaudecken . . . . .                                                               | 856 | 7.4.2 | Dünne Bauteile . . . . .                                                         | 872 |
| 5.4   | Aussparungen. . . . .                                                                 | 857 | 7.4.3 | Dicke Bauteile . . . . .                                                         | 873 |
| 6     | <b>Erläuterung zum Konzept in EC2</b> . . . . .                                       | 860 | 8     | <b>Rechenbeispiele</b> . . . . .                                                 | 875 |
| 6.1   | Allgemeines . . . . .                                                                 | 860 | 8.1   | Untergeschoss aus „dünnen“ Bauteilen . . . . .                                   | 875 |
| 6.2   | Zusammenführen der beiden Risszustände. . . . .                                       | 860 | 8.1.1 | Geometrie und adiabatische Temperaturentwicklung des verwendeten Betons. . . . . | 875 |
| 6.3   | Stabdurchmessertabelle . . . . .                                                      | 861 | 8.1.2 | Bemessung der Bodenplatte. . . . .                                               | 875 |
| 6.4   | Stababstandtabelle . . . . .                                                          | 861 | 8.1.3 | Bemessung Wand auf Fundament . . . . .                                           | 877 |
| 6.5   | Mindestbewehrung bei Zwangbeanspruchung . . . . .                                     | 862 | 8.2   | Trogbauwerk aus „dicken“ Bauteilen . . . . .                                     | 880 |
| 6.5.1 | Beiwert $k_c$ . . . . .                                                               | 862 | 8.2.1 | Geometrie und adiabatische Temperaturentwicklung des verwendeten Betons. . . . . | 880 |
| 6.5.2 | Allgemeine Herleitung. . . . .                                                        | 862 | 8.2.2 | Bemessung der Bodenplatte. . . . .                                               | 881 |
| 6.5.3 | Erläuterungen zum Beiwert $k$ . . . . .                                               | 864 | 8.2.3 | Bemessung Wand auf Fundament . . . . .                                           | 883 |
| 7     | <b>Bemessungskonzept auf Grundlage der Verformungskompatibilität.</b> . . . .         | 865 | 9     | <b>Literatur</b> . . . . .                                                       | 885 |
| 7.1   | Allgemeines . . . . .                                                                 | 865 |       |                                                                                  |     |

## X Die Anpassung des nationalen Bauproduktenrechts nach dem Urteil des EuGH vom 16. Oktober 2014. . . . . 889

Tina Gerschler

|         |                                                                                                  |     |         |                                                                                                    |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1       | <b>Vorbemerkungen</b> . . . . .                                                                  | 891 | 3       | <b>Urteil des EuGH vom 16. Oktober 2014</b> . . . . .                                              | 895 |
| 2       | <b>Bisheriges Zusammenspiel zwischen nationalem und europäischem Bauproduktenrecht</b> . . . . . | 891 | 3.1     | Inhalt . . . . .                                                                                   | 896 |
| 2.1     | Europäische Vorgaben mittels der Bauproduktenverordnung. . . . .                                 | 891 | 3.2     | Konsequenzen . . . . .                                                                             | 896 |
| 2.1.1   | Regelungsziele/Abgrenzung zur Bauproduktenrichtlinie . . . . .                                   | 891 | 4       | <b>Notwendige Anpassungen des nationalen Bauproduktenrechts aufgrund des EuGH-Urteils.</b> . . . . | 897 |
| 2.1.2   | Bewertung anhand Technischer Spezifikationen. . . . .                                            | 892 | 4.1     | Nicht harmonisierte Bauprodukte . . . . .                                                          | 897 |
| 2.1.2.1 | Harmonisierte Normen . . . . .                                                                   | 892 | 4.2     | Lückenhaft harmonisierte Bauprodukte. . . . .                                                      | 897 |
| 2.1.2.2 | Europäische Bewertungs- dokumente/Europäische Technische Bewertungen . . . . .                   | 893 | 4.3     | Bauarten. . . . .                                                                                  | 897 |
| 2.2     | Bisheriges Regelungssystem der Landesbauordnungen und der Bauregellisten . . . . .               | 893 | 5       | <b>Ablauf und Maßnahmen des Anpassungsprozesses</b> . . . . .                                      | 897 |
| 2.2.1   | Struktur der Landesbauordnungen. . . . .                                                         | 893 | 6       | <b>Das neue System des nationalen Bauproduktenrechts</b> . . . . .                                 | 899 |
| 2.2.1.1 | Bauprodukte. . . . .                                                                             | 893 | 6.1     | Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte. . . . .                                                  | 899 |
| 2.2.1.2 | Bauarten. . . . .                                                                                | 894 | 6.1.1   | Erforderlichkeit . . . . .                                                                         | 899 |
| 2.2.2   | Struktur der Bauregellisten . . . . .                                                            | 894 | 6.1.1.1 | Harmonisierte Bauprodukte nach der BauPVO. . . . .                                                 | 900 |
| 2.3     | Lückenhaft harmonisierte Bauprodukte und nationale Zusatzanforderungen . . . . .                 | 895 | 6.1.1.2 | Nicht nach der BauPVO harmonisierte Bauprodukte . . . . .                                          | 900 |

|         |                                                                           |     |         |                                                                                      |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.2   | Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung . . . . .                           | 901 | 6.3.2.4 | Bauprodukte, für die kein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich ist . . . . .         | 908 |
| 6.1.3   | Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis . . . . .                       | 903 | 6.3.2.5 | Bauarten, für die es Technische Baubestimmungen gibt . . . . .                       | 908 |
| 6.1.4   | Zustimmung im Einzelfall . . . . .                                        | 903 | 6.3.2.6 | Bauprodukte und Bauarten mit Anforderungen nach anderen Rechtsvorschriften . . . . . | 908 |
| 6.2     | Anwendbarkeitsnachweise für Bauarten . . . . .                            | 905 | 6.3.2.7 | Allgemeines Prüfzeugnis für Bauprodukte und Bauarten . . . . .                       | 909 |
| 6.2.1   | Allgemeine und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung . . . . .               | 905 | 6.3.2.8 | Technische Baubestimmungen nach alter und neuer Rechtslage . . . . .                 | 909 |
| 6.2.2   | Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für Bauarten . . . . .          | 906 | 6.4     | Freiwillige Herstellererklärungen . . . . .                                          | 909 |
| 6.3     | Technische Baubestimmungen . . . . .                                      | 906 | 6.5     | Prioritätenliste . . . . .                                                           | 910 |
| 6.3.1   | Regelung in der MBO . . . . .                                             | 906 | 6.6     | Übereinstimmungsnachweis/-bestätigung . . . . .                                      | 910 |
| 6.3.2   | Die neue Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen . . . . . | 907 | 7       | <b>Ausblick</b> . . . . .                                                            | 910 |
| 6.3.2.1 | Nach der BauPVO harmonisierte Bauprodukte . . . . .                       | 907 | 8       | <b>Literatur</b> . . . . .                                                           | 911 |
| 6.3.2.2 | Nicht harmonisierte Bauprodukte . . . . .                                 | 907 |         |                                                                                      |     |
| 6.3.2.3 | Nicht nach der BauPVO harmonisierte Bauprodukte . . . . .                 | 908 |         |                                                                                      |     |

## **XI Normen und Regelwerke** . . . . . 913

Frank Fingerloos

|        |                                                                            |     |       |                                                                                                 |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1      | <b>Einleitung</b> . . . . .                                                | 915 | 3     | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten</b> . . . . .             | 929 |
| 2      | <b>Eurocode 0 – DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung</b> . . . . . | 915 | 3.1   | Einführung . . . . .                                                                            | 929 |
| 2.1    | Einführung . . . . .                                                       | 915 | 3.2   | Einteilung der Einwirkungen . . . . .                                                           | 929 |
| 2.2    | Annahmen und Voraussetzungen . . . . .                                     | 916 | 3.3   | Bemessungssituationen . . . . .                                                                 | 930 |
| 2.3    | Grundlegende Anforderungen . . . . .                                       | 917 | 3.4   | Eigengewicht . . . . .                                                                          | 930 |
| 2.4    | Geplante Nutzungsdauer . . . . .                                           | 918 | 3.5   | Nutzlasten . . . . .                                                                            | 941 |
| 2.5    | Dauerhaftigkeit . . . . .                                                  | 919 | 3.5.1 | Grundlagen . . . . .                                                                            | 941 |
| 2.6    | Grenzzustände . . . . .                                                    | 919 | 3.5.2 | Charakteristische Werte . . . . .                                                               | 941 |
| 2.7    | Einteilung der Einwirkungen . . . . .                                      | 920 | 3.5.3 | Trennwandzuschlag . . . . .                                                                     | 941 |
| 2.8    | Statische Berechnung . . . . .                                             | 921 | 3.5.4 | Lagerflächen mit Gabelstaplern . . . . .                                                        | 941 |
| 2.9    | Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten . . . . .                   | 922 | 3.5.5 | Parkhäuser . . . . .                                                                            | 944 |
| 2.10   | Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen . . . . .                         | 923 | 3.5.6 | Fahrzeugverkehr auf Hofkellerdecken und auf planmäßig befahrbaren Deckenflächen . . . . .       | 946 |
| 2.11   | Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen . . . . .                            | 925 | 3.5.7 | Nicht begehbare Dächer . . . . .                                                                | 946 |
| 2.12   | Kombinationsregeln für Einwirkungen . . . . .                              | 925 | 3.5.8 | Abminderungsbeiwerte $\alpha_A$ (Einzugsfläche) und $\alpha_n$ (Anzahl der Geschosse) . . . . . | 949 |
| 2.12.1 | Allgemeines . . . . .                                                      | 925 | 3.5.9 | Horizontallasten auf Zwischenwände und Absturzsicherungen . . . . .                             | 950 |
| 2.12.2 | Kombinationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit . . . . .            | 927 | 4     | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-2: Brandeinwirkungen auf Tragwerke</b> . . . . .                  | 951 |
| 2.12.3 | Kombinationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit . . . . .    | 928 | 4.1   | Einführung . . . . .                                                                            | 951 |
| 2.12.4 | Vereinfachte Kombinationen im üblichen Hochbau . . . . .                   | 929 | 4.2   | Allgemeines . . . . .                                                                           | 952 |
|        |                                                                            |     | 4.3   | Mechanische Einwirkungen im Brandfall . . . . .                                                 | 952 |

|          |                                                                                       |     |                                                                                                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>5</b> | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-3:</b>                                                  |     |                                                                                                                                                         |
|          | <b>Schnee- und Eislasten</b> . . . . .                                                | 953 |                                                                                                                                                         |
| 5.1      | Einführung . . . . .                                                                  | 953 | 6.8.3                                                                                                                                                   |
| 5.2      | Anwendungsbereich . . . . .                                                           | 953 |                                                                                                                                                         |
| 5.3      | Charakteristische Schneelast auf dem Boden . . . . .                                  | 954 | 6.8.4                                                                                                                                                   |
| 5.4      | Außergewöhnliche Schneelast in Norddeutschland . . . . .                              | 956 |                                                                                                                                                         |
| 5.5      | Schneelast auf Dächern . . . . .                                                      | 957 | 6.8.5                                                                                                                                                   |
| 5.6      | Übersicht Formbeiwerte für Dächer . . . . .                                           | 957 |                                                                                                                                                         |
| 5.7      | Ausgedehnte Flachdächer . . . . .                                                     | 957 | 6.9                                                                                                                                                     |
| 5.8      | Solarthermie- und Photovoltaikanlagen auf Flachdächern . . . . .                      | 962 |                                                                                                                                                         |
| 5.9      | Höhenversprünge an Dächern . . . . .                                                  | 962 | 6.10                                                                                                                                                    |
| 5.10     | Schneeüberhang an Dachtraufen . . . . .                                               | 965 |                                                                                                                                                         |
| 5.11     | Schneelasten an Schneefanggittern und Dachaufbauten . . . . .                         | 965 | 6.11                                                                                                                                                    |
| 5.12     | Eislasten . . . . .                                                                   | 965 |                                                                                                                                                         |
| <b>6</b> | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-4:</b>                                                  |     |                                                                                                                                                         |
|          | <b>Windlasten</b> . . . . .                                                           | 970 |                                                                                                                                                         |
| 6.1      | Einführung . . . . .                                                                  | 970 | <b>7</b>                                                                                                                                                |
| 6.2      | Anwendungsbereich und Annahmen . . . . .                                              | 970 | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-5:</b>                                                                                                                    |
| 6.3      | Windzonen und Geländekategorien . . . . .                                             | 970 | <b>Temperatureinwirkungen</b> . . . . .                                                                                                                 |
| 6.4      | Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis zu einer Höhe von 25 m . . . . . | 972 | Einführung . . . . .                                                                                                                                    |
| 6.5      | Höhenabhängige Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 300 m Höhe . . . . .           | 972 | 7.1                                                                                                                                                     |
| 6.6      | Windeinwirkungen . . . . .                                                            | 973 | 7.2                                                                                                                                                     |
| 6.6.1    | Winddruck . . . . .                                                                   | 973 |                                                                                                                                                         |
| 6.6.2    | Windkräfte . . . . .                                                                  | 975 | -verteilung . . . . .                                                                                                                                   |
| 6.7      | Aerodynamische Beiwerte . . . . .                                                     | 976 | 7.3                                                                                                                                                     |
| 6.7.1    | Beiwerte für vertikale Wände von Gebäuden mit rechteckigem Grundriss . . . . .        | 976 | 7.4                                                                                                                                                     |
| 6.7.2    | Beiwerte für Flachdächer . . . . .                                                    | 978 | <b>8</b>                                                                                                                                                |
| 6.7.3    | Beiwerte für Pultdächer . . . . .                                                     | 979 | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-6:</b>                                                                                                                    |
| 6.7.4    | Beiwerte für Sattel- und Trogdächer . . . . .                                         | 979 | <b>Einwirkungen während der Bauausführung</b> . . . . .                                                                                                 |
| 6.7.5    | Beiwerte für Walmdächer . . . . .                                                     | 985 | 8.1                                                                                                                                                     |
| 6.7.6    | Beiwerte für Sheddächer . . . . .                                                     | 985 | Einführung . . . . .                                                                                                                                    |
| 6.7.7    | Beiwerte für Innendruck . . . . .                                                     | 985 | 8.2                                                                                                                                                     |
| 6.7.8    | Beiwert für mehrschalige Wand- und Dachflächen . . . . .                              | 989 | Bauausführungslasten beim Betonieren . . . . .                                                                                                          |
| 6.7.9    | Beiwerte für freistehende Wände und Brüstungen . . . . .                              | 989 |                                                                                                                                                         |
| 6.7.10   | Beiwerte für Vordächer . . . . .                                                      | 991 | <b>9</b>                                                                                                                                                |
| 6.7.11   | Beiwerte für freistehende Dächer mit offenen Wänden . . . . .                         | 991 | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-7:</b>                                                                                                                    |
| 6.8      | Kraftbeiwerte . . . . .                                                               | 991 | <b>Außergewöhnliche Einwirkungen</b> . . . . .                                                                                                          |
| 6.8.1    | Beiwerte für Anzeigetafeln . . . . .                                                  | 991 | 9.1                                                                                                                                                     |
| 6.8.2    | Beiwerte für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt . . . . .                          | 994 | 9.2                                                                                                                                                     |
|          |                                                                                       |     | Anprall durch Kraftfahrzeuge . . . . .                                                                                                                  |
|          |                                                                                       |     | 9.3                                                                                                                                                     |
|          |                                                                                       |     | Anprall durch Gabelstapler . . . . .                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 9.4                                                                                                                                                     |
|          |                                                                                       |     | Innenraumexplosionen . . . . .                                                                                                                          |
|          |                                                                                       |     | 1006                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | <b>10</b>                                                                                                                                               |
|          |                                                                                       |     | <b>Eurocode 1 – DIN EN 1991-3:</b>                                                                                                                      |
|          |                                                                                       |     | <b>Krane und Maschinen</b> . . . . .                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 1007                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | <b>11</b>                                                                                                                                               |
|          |                                                                                       |     | <b>Eurocode 2 – DIN EN 1992-1-1:</b>                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | <b>Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau</b> . . . . . |
|          |                                                                                       |     | 1008                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.1                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | Bauaufsichtliche Einführung in Deutschland . . . . .                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 1008                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.2                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | Einleitung . . . . .                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 1008                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.3                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | Abschnittsweise Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 mit Nationalem Anhang . . . . .                                                                        |
|          |                                                                                       |     | 1010                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.3.1                                                                                                                                                  |
|          |                                                                                       |     | Zu 1 Allgemeines . . . . .                                                                                                                              |
|          |                                                                                       |     | 1010                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.3.2                                                                                                                                                  |
|          |                                                                                       |     | Zu 2 Grundlagen der Tragwerksplanung . . . . .                                                                                                          |
|          |                                                                                       |     | 1010                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.3.3                                                                                                                                                  |
|          |                                                                                       |     | Zu 3 Baustoffe . . . . .                                                                                                                                |
|          |                                                                                       |     | 1013                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.3.4                                                                                                                                                  |
|          |                                                                                       |     | Zu 4 Dauerhaftigkeit und Betondeckung . . . . .                                                                                                         |
|          |                                                                                       |     | 1020                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                       |     | 11.3.5                                                                                                                                                  |
|          |                                                                                       |     | Zu 5 Ermittlung der Schnittgrößen . . . . .                                                                                                             |
|          |                                                                                       |     | 1027                                                                                                                                                    |

|                                                                                                                                                                                      |                                                                       |      |          |                                                                                                                           |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 11.3.6                                                                                                                                                                               | Zu 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT) . . . . .                  | 1032 | 2.4      | Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten . . . . .                                                                  | 1091 |
| 11.3.7                                                                                                                                                                               | Zu 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG) . . . . .          | 1050 | 2.4.1    | Allgemeines . . . . .                                                                                                     | 1091 |
| 11.3.8                                                                                                                                                                               | Zu 8 Allgemeine Bewehrungsregeln . . . . .                            | 1062 | 2.4.2    | Bemessungswerte . . . . .                                                                                                 | 1091 |
| 11.3.9                                                                                                                                                                               | Zu 9 Konstruktionsregeln . . . . .                                    | 1071 | 2.4.2.1  | Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Schwinden . . . . .                                                          | 1091 |
| 11.3.10                                                                                                                                                                              | Zu 10 Zusätzliche Regeln für Fertigteile . . . . .                    | 1078 | 2.4.2.4  | Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe . . . . .                                                                           | 1091 |
| 11.3.11                                                                                                                                                                              | Zu 12 Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton . . . . . | 1080 | 2.4.3    | Kombinationsregeln für Einwirkungen . . . . .                                                                             | 1092 |
| 11.3.12                                                                                                                                                                              | Zu den Anhängen . . . . .                                             | 1081 | 2.4.4    | Nachweis der Lagesicherheit . . . . .                                                                                     | 1092 |
| 11.4                                                                                                                                                                                 | Normentext Kurzfassung . . . . .                                      | 1085 | NA.2.8   | Bautechnische Unterlagen . . . . .                                                                                        | 1092 |
| DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit NA . . . . . |                                                                       |      | NA.2.8.1 | Umfang der bautechnischen Unterlagen . . . . .                                                                            | 1092 |
| Inhalt . . . . .                                                                                                                                                                     |                                                                       |      | NA.2.8.2 | Zeichnungen . . . . .                                                                                                     | 1092 |
| Vorwort . . . . .                                                                                                                                                                    |                                                                       |      | NA.2.8.3 | Statische Berechnungen . . . . .                                                                                          | 1092 |
| Nationaler Anhang zu EN 1992-1-1 . . . . .                                                                                                                                           |                                                                       |      | NA.2.8.4 | Baubeschreibung . . . . .                                                                                                 | 1093 |
| 1                                                                                                                                                                                    | Allgemeines . . . . .                                                 | 1086 | 3        | Baustoffe . . . . .                                                                                                       | 1093 |
| 1.1                                                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich . . . . .                                           | 1086 | 3.1      | Beton . . . . .                                                                                                           | 1093 |
| 1.1.1                                                                                                                                                                                | Anwendungsbereich des Eurocode 2 . . . . .                            | 1086 | 3.1.1    | Allgemeines . . . . .                                                                                                     | 1093 |
| 1.1.2                                                                                                                                                                                | Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1 . . . . .                   | 1087 | 3.1.2    | Festigkeiten . . . . .                                                                                                    | 1093 |
| 1.2                                                                                                                                                                                  | Normative Verweisungen . . . . .                                      | 1087 | 3.1.3    | Elastische Verformungseigenschaften . . . . .                                                                             | 1094 |
| 1.2.1                                                                                                                                                                                | Allgemeine normative Verweisungen . . . . .                           | 1087 | 3.1.4    | Kriechen und Schwinden . . . . .                                                                                          | 1095 |
| 1.2.2                                                                                                                                                                                | Weitere normative Verweisungen . . . . .                              | 1087 | 3.1.5    | Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen . . . . . | 1097 |
| 1.3                                                                                                                                                                                  | Annahmen . . . . .                                                    | 1088 | 3.1.6    | Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit . . . . .                                                           | 1097 |
| 1.4                                                                                                                                                                                  | Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln . . . . .     | 1088 | 3.1.7    | Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung . . . . .                                                          | 1098 |
| 1.5                                                                                                                                                                                  | Begriffe . . . . .                                                    | 1088 | 3.1.8    | Biegezugfestigkeit . . . . .                                                                                              | 1098 |
| 1.5.1                                                                                                                                                                                | Allgemeines . . . . .                                                 | 1088 | 3.1.9    | Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung . . . . .                                                                      | 1099 |
| 1.5.2                                                                                                                                                                                | Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm . . . . .          | 1088 | 3.2      | Betonstahl . . . . .                                                                                                      | 1099 |
| 1.5.2.1                                                                                                                                                                              | Fertigteile . . . . .                                                 | 1088 | 3.2.1    | Allgemeines . . . . .                                                                                                     | 1099 |
| 1.5.2.2                                                                                                                                                                              | Unbewehrte oder gering bewehrte Bauteile . . . . .                    | 1088 | 3.2.2    | Eigenschaften . . . . .                                                                                                   | 1099 |
| 2                                                                                                                                                                                    | Grundlagen der Tragwerksplanung . . . . .                             | 1090 | 3.2.3    | Festigkeiten . . . . .                                                                                                    | 1100 |
| 2.1                                                                                                                                                                                  | Anforderungen . . . . .                                               | 1090 | 3.2.4    | Duktilitätsmerkmale . . . . .                                                                                             | 1100 |
| 2.1.1                                                                                                                                                                                | Grundlegende Anforderungen . . . . .                                  | 1090 | 3.2.5    | Schweißen . . . . .                                                                                                       | 1100 |
| 2.1.3                                                                                                                                                                                | Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung . . . . .       | 1090 | 3.2.7    | Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung . . . . .                                                          | 1102 |
| 2.2                                                                                                                                                                                  | Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen . . . . .            | 1090 | 4        | Dauerhaftigkeit und Betondeckung . . . . .                                                                                | 1102 |
| 2.3                                                                                                                                                                                  | Basisvariablen . . . . .                                              | 1090 | 4.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                                     | 1102 |
| 2.3.1                                                                                                                                                                                | Einwirkungen und Umgebungseinflüsse . . . . .                         | 1090 | 4.2      | Umgebungsbedingungen . . . . .                                                                                            | 1103 |
| 2.3.1.1                                                                                                                                                                              | Allgemeines . . . . .                                                 | 1090 | 4.3      | Anforderungen an die Dauerhaftigkeit . . . . .                                                                            | 1103 |
| 2.3.1.2                                                                                                                                                                              | Temperaturauswirkungen . . . . .                                      | 1090 | 4.4      | Nachweisverfahren . . . . .                                                                                               | 1103 |
| 2.3.1.3                                                                                                                                                                              | Setzungs-/Bewegungsunterschiede . . . . .                             | 1090 | 4.4.1    | Betondeckung . . . . .                                                                                                    | 1103 |
| 2.3.2                                                                                                                                                                                | Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen . . . . .    | 1091 | 4.4.1.1  | Allgemeines . . . . .                                                                                                     | 1103 |
| 2.3.2.1                                                                                                                                                                              | Allgemeines . . . . .                                                 | 1091 | 4.4.1.2  | Mindestbetondeckung $c_{min}$ . . . . .                                                                                   | 1107 |
| 2.3.2.2                                                                                                                                                                              | Kriechen und Schwinden . . . . .                                      | 1091 | 4.4.1.3  | Vorhaltemaß . . . . .                                                                                                     | 1108 |
| 2.3.3                                                                                                                                                                                | Verformungseigenschaften des Betons . . . . .                         | 1091 | 5        | Ermittlung der Schnittgrößen . . . . .                                                                                    | 1109 |
|                                                                                                                                                                                      |                                                                       |      | 5.1      | Allgemeines . . . . .                                                                                                     | 1109 |
|                                                                                                                                                                                      |                                                                       |      | 5.1.1    | Grundlagen . . . . .                                                                                                      | 1109 |
|                                                                                                                                                                                      |                                                                       |      | 5.1.3    | Lastfälle und Einwirkungskombinationen . . . . .                                                                          | 1110 |
|                                                                                                                                                                                      |                                                                       |      | 5.1.4    | Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung) . . . . .                                                      | 1110 |

|         |                                                                                          |      |       |                                                                                       |      |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.2     | Imperfektionen . . . . .                                                                 | 1110 | 6.4   | Durchstanzen . . . . .                                                                | 1135 |
| 5.3     | Idealisierungen und Vereinfachungen. . . . .                                             | 1112 | 6.4.1 | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1135 |
| 5.3.1   | Tragwerksmodelle für statische Berechnungen . . . . .                                    | 1112 | 6.4.2 | Lasteinleitung und Nachweis-schnitte . . . . .                                        | 1135 |
| 5.3.2   | Geometrische Angaben . . . . .                                                           | 1113 | 6.4.3 | Nachweisverfahren. . . . .                                                            | 1139 |
| 5.3.2.1 | Mitwirkende Plattenbreite (alle Grenzzustände) . . . . .                                 | 1113 | 6.4.4 | Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung . . . . .   | 1141 |
| 5.3.2.2 | Effektive Stützweite von Balken und Platten im Hochbau . . . . .                         | 1113 | 6.4.5 | Durchstanztragfähigkeit für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung . . . . . | 1143 |
| 5.4     | Linear-elastische Berechnung . . . . .                                                   | 1114 | 6.5   | Stabwerkmodelle . . . . .                                                             | 1144 |
| 5.5     | Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung . . . . .                         | 1115 | 6.5.1 | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1144 |
| 5.6     | Verfahren nach der Plastizitätstheorie . . . . .                                         | 1115 | 6.5.2 | Bemessung der Druckstreben . . . . .                                                  | 1145 |
| 5.6.4   | Stabwerkmodelle . . . . .                                                                | 1115 | 6.5.3 | Bemessung der Zugstreben . . . . .                                                    | 1145 |
| 5.7     | Nichtlineare Verfahren . . . . .                                                         | 1116 | 6.5.4 | Bemessung der Knoten . . . . .                                                        | 1146 |
| 5.8     | Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung . . . . .            | 1117 | 6.6   | Verankerung der Längsbewehrung und Stöße . . . . .                                    | 1148 |
| 5.8.1   | Begriffe . . . . .                                                                       | 1117 | 6.7   | Teilflächenbelastung . . . . .                                                        | 1148 |
| 5.8.2   | Allgemeines . . . . .                                                                    | 1117 | 7     | Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG) . . . . .             | 1149 |
| 5.8.3   | Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung . . . . . | 1118 | 7.1   | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1149 |
| 5.8.3.1 | Grenzwert der Schlankheit für Einzeldruckglieder . . . . .                               | 1118 | 7.2   | Begrenzung der Spannungen. . . . .                                                    | 1149 |
| 5.8.3.2 | Schlankheit und Knicklänge von Einzeldruckgliedern . . . . .                             | 1118 | 7.3   | Begrenzung der Rissbreiten. . . . .                                                   | 1149 |
| 5.8.3.3 | Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung im Hochbau . . . . .                | 1119 | 7.3.1 | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1149 |
| 5.8.4   | Kriechen . . . . .                                                                       | 1120 | 7.3.2 | Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite . . . . .                          | 1150 |
| 5.8.5   | Berechnungsverfahren . . . . .                                                           | 1121 | 7.3.3 | Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung. . . . .                            | 1152 |
| 5.8.6   | Allgemeines Verfahren . . . . .                                                          | 1121 | 7.3.4 | Berechnung der Rissbreite . . . . .                                                   | 1154 |
| 5.8.8   | Verfahren mit Nennkrümmung . . . . .                                                     | 1121 | 7.4   | Begrenzung der Verformungen . . . . .                                                 | 1156 |
| 5.8.8.1 | Allgemeines . . . . .                                                                    | 1121 | 7.4.1 | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1156 |
| 5.8.8.2 | Biegemomente . . . . .                                                                   | 1121 | 7.4.2 | Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung . . . . .            | 1157 |
| 5.8.8.3 | Krümmung . . . . .                                                                       | 1122 | 7.4.3 | Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung . . . . .            | 1158 |
| 5.8.9   | Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte . . . . .                                     | 1122 | 8     | Allgemeine Bewehrungsregeln . . . . .                                                 | 1159 |
| 5.9     | Seitliches Ausweichen schlanker Träger . . . . .                                         | 1124 | 8.1   | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1159 |
| 6       | Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT) . . . . .                        | 1124 | 8.2   | Stababstände von Betonstählen. . . . .                                                | 1160 |
| 6.1     | Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein. . . . .                        | 1124 | 8.3   | Biegen von Betonstählen . . . . .                                                     | 1160 |
| 6.2     | Querkraft. . . . .                                                                       | 1125 | 8.4   | Verankerung der Längsbewehrung . . . . .                                              | 1161 |
| 6.2.1   | Nachweisverfahren. . . . .                                                               | 1125 | 8.4.1 | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1161 |
| 6.2.2   | Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung . . . . .                     | 1126 | 8.4.2 | Bemessungswert der Verbundfestigkeit . . . . .                                        | 1161 |
| 6.2.3   | Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung. . . . .                      | 1127 | 8.4.3 | Grundwert der Verankerungslänge . . . . .                                             | 1163 |
| 6.2.4   | Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten . . . . .                                     | 1129 | 8.4.4 | Bemessungswert der Verankerungslänge. . . . .                                         | 1163 |
| 6.2.5   | Schubkraftübertragung in Fugen . . . . .                                                 | 1131 | 8.5   | Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung. . . . .                                | 1165 |
| 6.3     | Torsion . . . . .                                                                        | 1133 | 8.7   | Stöße und mechanische Verbindungen . . . . .                                          | 1165 |
| 6.3.1   | Allgemeines . . . . .                                                                    | 1133 | 8.7.1 | Allgemeines . . . . .                                                                 | 1165 |
| 6.3.2   | Nachweisverfahren. . . . .                                                               | 1133 | 8.7.2 | Stöße . . . . .                                                                       | 1165 |
| 6.3.3   | Wölbkrafttorsion . . . . .                                                               | 1135 | 8.7.3 | Übergreifungslänge . . . . .                                                          | 1167 |
|         |                                                                                          |      | 8.7.4 | Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße . . . . .                             | 1167 |

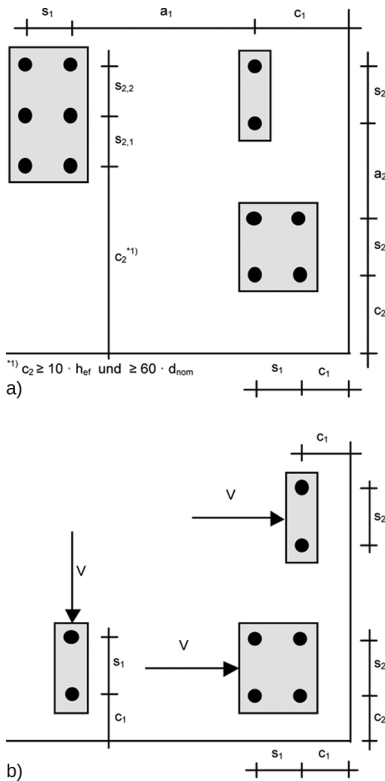


|          |                                                                |      |           |                                                                                   |      |
|----------|----------------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 8.7.4.1  | Querbewehrung für Zugstäbe. . . . .                            | 1167 | 9.10.2.5  | Vertikale Zuganker . . . . .                                                      | 1185 |
| 8.7.4.2  | Querbewehrung für Druckstäbe . . . .                           | 1168 | 9.10.3    | Durchlaufwirkung und Verankerung<br>von Zugankern . . . . .                       | 1185 |
| 8.7.5    | Stöße von Betonstahlmatten aus<br>Rippenstahl. . . . .         | 1168 | 10        | Zusätzliche Regeln für Bauteile und<br>Tragwerke aus Fertigteilen . . . . .       | 1185 |
| 8.7.5.1  | Stöße der Hauptbewehrung . . . . .                             | 1168 | 10.1      | Allgemeines . . . . .                                                             | 1185 |
| 8.7.5.2  | Stöße der Querbewehrung . . . . .                              | 1169 | 10.1.1    | Besondere Begriffe dieses<br>Kapitels . . . . .                                   | 1186 |
| 8.9      | Stabbündel . . . . .                                           | 1170 | 10.2      | Grundlagen für die Tragwerks-<br>planung, grundlegende<br>Anforderungen . . . . . | 1186 |
| 8.9.1    | Allgemeines . . . . .                                          | 1170 | 10.3      | Baustoffe. . . . .                                                                | 1187 |
| 8.9.2    | Verankerung von Stabbündeln . . . .                            | 1170 | 10.3.1    | Beton. . . . .                                                                    | 1187 |
| 8.9.3    | Gestoßene Stabbündel. . . . .                                  | 1171 | 10.3.1.1  | Festigkeiten . . . . .                                                            | 1187 |
| 9        | Konstruktionsregeln . . . . .                                  | 1171 | 10.3.1.2  | Kriechen und Schwinden . . . . .                                                  | 1187 |
| 9.1      | Allgemeines . . . . .                                          | 1171 | 10.5      | Ermittlung der Schnittgrößen . . . .                                              | 1187 |
| 9.2      | Balken. . . . .                                                | 1171 | 10.5.1    | Allgemeines . . . . .                                                             | 1187 |
| 9.2.1    | Längsbewehrung . . . . .                                       | 1171 | 10.9      | Bemessungs- und<br>Konstruktionsregeln . . . . .                                  | 1188 |
| 9.2.1.1  | Mindestbewehrung und<br>Höchstbewehrung. . . . .               | 1171 | 10.9.1    | Einspannmomente in Platten . . . .                                                | 1188 |
| 9.2.1.2  | Weitere Konstruktionsregeln. . . . .                           | 1172 | 10.9.2    | Wand-Decken-Verbindungen . . . .                                                  | 1188 |
| 9.2.1.3  | Zugkraftdeckung. . . . .                                       | 1172 | 10.9.3    | Deckensysteme . . . . .                                                           | 1188 |
| 9.2.1.4  | Verankerung der unteren<br>Bewehrung an Endauflagern . . . . . | 1172 | 10.9.4    | Verbindungen und Lager für<br>Fertigteile . . . . .                               | 1191 |
| 9.2.1.5  | Verankerung der unteren<br>Bewehrung an Zwischenauflagern. . . | 1173 | 10.9.4.1  | Baustoffe. . . . .                                                                | 1191 |
| 9.2.2    | Querkraftbewehrung. . . . .                                    | 1174 | 10.9.4.2  | Konstruktions- und Bemessungs-<br>regeln für Verbindungen . . . . .               | 1191 |
| 9.2.3    | Torsionsbewehrung. . . . .                                     | 1176 | 10.9.4.3  | Verbindungen zur Druckkraft-<br>Übertragung . . . . .                             | 1191 |
| 9.2.4    | Oberflächenbewehrung . . . . .                                 | 1176 | 10.9.4.4  | Verbindungen zur Querkraft-<br>Übertragung . . . . .                              | 1192 |
| 9.2.5    | Indirekte Auflager . . . . .                                   | 1176 | 10.9.4.5  | Verbindungen zur Übertragung von<br>Biegemomenten oder Zugkräften. . .            | 1192 |
| 9.3      | Vollplatten . . . . .                                          | 1177 | 10.9.4.6  | Ausgeklinte Auflager . . . . .                                                    | 1192 |
| 9.3.1    | Biegebewehrung. . . . .                                        | 1177 | 10.9.4.7  | Verankerung der Längsbewehrung<br>an Auflagern . . . . .                          | 1192 |
| 9.3.1.1  | Allgemeines . . . . .                                          | 1177 | 10.9.5    | Lager. . . . .                                                                    | 1193 |
| 9.3.1.2  | Bewehrung von Platten in<br>Auflagernähe . . . . .             | 1177 | 10.9.5.1  | Allgemeines . . . . .                                                             | 1193 |
| 9.3.1.3  | Eckbewehrung . . . . .                                         | 1177 | 10.9.5.2  | Lager für verbundene Bauteile<br>(Nicht-Einzelbauteile) . . . . .                 | 1193 |
| 9.3.1.4  | Randbewehrung an freien Rändern<br>von Platten . . . . .       | 1178 | 10.9.5.3  | Lager für Einzelbauteile . . . . .                                                | 1194 |
| 9.3.2    | Querkraftbewehrung. . . . .                                    | 1178 | 10.9.6    | Köcherfundamente . . . . .                                                        | 1196 |
| 9.4      | Flachdecken . . . . .                                          | 1178 | 10.9.6.1  | Allgemeines . . . . .                                                             | 1196 |
| 9.4.1    | Flachdecken im Bereich von<br>Innenstützen . . . . .           | 1178 | 10.9.6.2  | Köcherfundamente mit profilierter<br>Oberfläche . . . . .                         | 1196 |
| 9.4.2    | Flachdecken im Bereich von<br>Randstützen . . . . .            | 1179 | 10.9.6.3  | Köcherfundamente mit glatter<br>Oberfläche . . . . .                              | 1196 |
| 9.4.3    | Durchstanzbewehrung . . . . .                                  | 1179 | 10.9.7    | Schadensbegrenzung bei<br>außergewöhnlichen Ereignissen . .                       | 1196 |
| 9.5      | Stützen . . . . .                                              | 1181 | NA.10.9.8 | Zusätzliche Konstruktionsregeln für<br>Fertigteile . . . . .                      | 1196 |
| 9.5.1    | Allgemeines . . . . .                                          | 1181 | NA.10.9.9 | Sandwichtafeln. . . . .                                                           | 1197 |
| 9.5.2    | Längsbewehrung . . . . .                                       | 1181 | 12        | Tragwerke aus unbewehrtem oder gering<br>bewehrtem Beton . . . . .                | 1197 |
| 9.5.3    | Querbewehrung . . . . .                                        | 1181 | 12.1      | Allgemeines . . . . .                                                             | 1197 |
| 9.6      | Wände. . . . .                                                 | 1182 | 12.3      | Baustoffe. . . . .                                                                | 1197 |
| 9.6.1    | Allgemeines . . . . .                                          | 1182 | 12.3.1    | Beton. . . . .                                                                    | 1197 |
| 9.6.2    | Vertikale Bewehrung. . . . .                                   | 1182 | 12.5      | Ermittlung der Schnittgrößen . . . .                                              | 1197 |
| 9.6.3    | Horizontale Bewehrung . . . . .                                | 1183 | 12.6      | Nachweise in den Grenzzuständen<br>der Tragfähigkeit (GZT) . . . . .              | 1198 |
| 9.6.4    | Querbewehrung . . . . .                                        | 1183 |           |                                                                                   |      |
| 9.7      | Wandartige Träger . . . . .                                    | 1183 |           |                                                                                   |      |
| 9.10     | Schadensbegrenzung bei<br>außergewöhnlichen Ereignissen . . .  | 1183 |           |                                                                                   |      |
| 9.10.1   | Allgemeines . . . . .                                          | 1183 |           |                                                                                   |      |
| 9.10.2   | Ausbildung von Zugankern. . . . .                              | 1184 |           |                                                                                   |      |
| 9.10.2.1 | Allgemeines . . . . .                                          | 1184 |           |                                                                                   |      |
| 9.10.2.2 | Ringanker . . . . .                                            | 1184 |           |                                                                                   |      |
| 9.10.2.3 | Innen liegende Zuganker . . . . .                              | 1184 |           |                                                                                   |      |
| 9.10.2.4 | Horizontale Stützen- und<br>Wandzuganker . . . . .             | 1185 |           |                                                                                   |      |



|                                                                                        |                                                                                                  |      |                                                                                                           |                                                                                                 |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 12.6.1                                                                                 | Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein. . . . .                                | 1198 | Anhang B (normativ): Kriechen und Schwinden . .                                                           | 1203                                                                                            |             |
| 12.6.2                                                                                 | Örtliches Versagen . . . . .                                                                     | 1198 | B.1                                                                                                       | Grundgleichungen zur Ermittlung der Kriechzahl. . . . .                                         | 1203        |
| 12.6.3                                                                                 | Querkraft. . . . .                                                                               | 1198 | B.2                                                                                                       | Grundgleichungen zur Ermittlung der Trocknungsschwinddehnung . .                                | 1204        |
| 12.6.4                                                                                 | Torsion . . . . .                                                                                | 1199 | Anhang C (informativ): Eigenschaften des Betonstahls. . . . .                                             | 1205                                                                                            |             |
| 12.6.5                                                                                 | Auswirkungen von Verformungen von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung . . . . . | 1199 | C.1                                                                                                       | Allgemeines . . . . .                                                                           | 1205        |
| 12.6.5.1                                                                               | Schlankheit von Einzeldruckgliedern und Wänden . . . . .                                         | 1199 | Anhang E (normativ): Indikative Mindestfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit. . . . . | 1206                                                                                            |             |
| 12.6.5.2                                                                               | Vereinfachtes Verfahren für Einzeldruckglieder und Wände. . . . .                                | 1200 | E.1                                                                                                       | Allgemeines . . . . .                                                                           | 1206        |
| 12.7                                                                                   | Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG). . . . .                         | 1201 | <b>12</b>                                                                                                 | <b>Listen und Verzeichnisse . . . . .</b>                                                       | <b>1207</b> |
| 12.9                                                                                   | Konstruktionsregeln . . . . .                                                                    | 1201 | 12.1                                                                                                      | Technische Baubestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau . . . .                             | 1207        |
| 12.9.1                                                                                 | Tragende Bauteile. . . . .                                                                       | 1201 | 12.2                                                                                                      | Verzeichnis der Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e. V. . . . .              | 1231        |
| 12.9.2                                                                                 | Arbeitsfugen . . . . .                                                                           | 1201 | 12.3                                                                                                      | Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV): Merkblätter und Sachstandberichte . . . . . | 1232        |
| 12.9.3                                                                                 | Streifen- und Einzelfundamente . . . . .                                                         | 1201 | 12.4                                                                                                      | Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV): Richtlinien, Merkblätter und Sachstandberichte .  | 1234        |
| Anhang A (normativ): Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe . . . . . |                                                                                                  |      | <b>13</b>                                                                                                 | <b>Literatur . . . . .</b>                                                                      | <b>1236</b> |
| A.1                                                                                    | Allgemeines . . . . .                                                                            | 1202 |                                                                                                           |                                                                                                 |             |
| A.2                                                                                    | Tragwerke aus Ortbeton . . . . .                                                                 | 1202 |                                                                                                           |                                                                                                 |             |
| A.2.3                                                                                  | Reduktion auf Grundlage der Bestimmung der Betonfestigkeit im fertigen Tragwerk . . . . .        | 1202 |                                                                                                           |                                                                                                 |             |

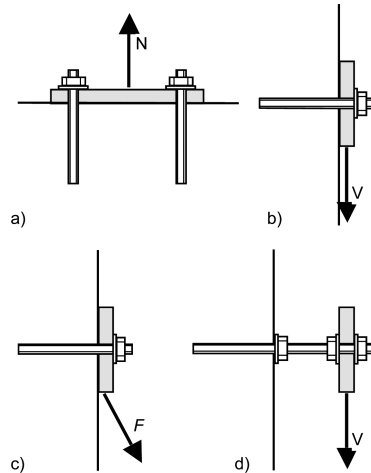
|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b> | <b>1245</b> |
|---------------------------------------|-------------|



**Bild 5.** Definition der Achs- und Randabstände von Befestigungsmitteln; a) Zugbeanspruchung, b) Querbeanspruchung

reduziert werden, da der Fortschritt und die Auswirkungen der Karbonatisierung auf die Betonfestigkeit im Vergleich zu Anwendungen in feuchter Umgebung als geringer eingestuft wird. Die maximale Verankerungstiefe chemischer Dübel ist auf  $h_{ef} \leq 20 \cdot d$  begrenzt ( $d$  = Gewindedurchmesser), da nur bis zu dieser Verankerungstiefe von einer über die ganze Dübellänge konstanten Verbundspannung ausgegangen werden darf.

EN 1992-4 gilt für Kohlenstoffstähle, nichtrostende Stähle und Temperguss. Die Oberfläche der Befestigungsmittel kann beschichtet oder unbeschichtet sein und die Nennzugfestigkeit des Stahls muss  $f_{uk} \leq 1000 \text{ N/mm}^2$  betragen. Diese Begrenzung wurde eingeführt, weil Stähle mit größerer Festigkeit im Allgemeinen spröde sind, was sich negativ auf die Verteilung von Querlasten auf einzelne Befestigungsmittel einer Gruppe auswirken kann. Die Begrenzung gilt nicht für Betonschrauben, da diese



**Bild 6.** Beanspruchung von Befestigungen; a) Zuglast, b) Querlast, c) kombinierte Zug- und Querlast, d) Querlast mit Hebelarm (Abstandsmontage)

fertigungs- und funktionsbedingt aus Sonderstählen hergestellt werden müssen.

Die Lasten können statisch, quasi-statisch, nichtruhend oder seismisch sein. Ob ein Befestigungselement zur Aufnahme nichtruhender oder seismischer Lasten geeignet ist, kann der jeweiligen Europäischen Technischen Produktspezifikation entnommen werden. Ankerschienen unter nichtruhender Last sind in EN 1992-4 nicht geregelt. Hier wird auf EOTA TR 050 [25] verwiesen. Für Ankerschienen unter Erdbebeneinwirkung gibt es weder in EN 1992-4 noch in EOTA-Richtlinien Bemessungsregeln.

An der Befestigung können Zuglasten, Querlasten oder kombinierte Zug- und Querlasten angreifen (Bilder 6a bis 6c). Weiterhin können Biegemomente in einer oder zwei Richtungen sowie Torsionsmomente einwirken. Diese Lasten und Momente führen in den Befestigungsmitteln zu Zugkräften und bei Abstandsmontagen auch zu Druckkräften. Greift eine Querlast mit einem Hebelarm an (Bild 6d), dann wird das Befestigungsmittel zusätzlich durch ein Biegemoment beansprucht.

Einwirkende Druckkräfte werden entweder durch das Bauteil direkt auf die Betonoberfläche übertragen, ohne dass das Befestigungsmittel druckbeansprucht wird, oder bei Abstandsmontagen durch das Befestigungsmittel in den Beton eingeleitet. Das Befestigungsmittel muss dann in der Lage sein, Druckkräfte aufzunehmen. Dies ist bei Metallspreiz- und Hinterschnittdübeln oft nicht der Fall.

EN 1992-4 gilt für Bauteile aus Normalbeton ohne Fasern der Druckfestigkeitsklassen C12/15 bis C90/105 gemäß EN 206. Allerdings ist der in der Europäischen Technischen Produktspezifikation des jeweiligen Befestigungsmittels angegebene Festigkeitsbereich zu beachten, der sich bei Dübeln üblicherweise auf Beton der Festigkeitsklassen C20/25 bis C50/60 erstreckt.

In der Regel gelten die Europäischen Technischen Produktspezifikationen der Befestigungsmittel für Anwendungen in Bauteilen unter statischer Belastung. Wird das als Ankergrund dienende Bauteil durch nichtruhende oder seismische Einwirkungen beansprucht, dann muss das Befestigungsmittel für diese Anwendung geeignet sein und es ist eine entsprechende Technische Produktspezifikation erforderlich.

### 3 Grundlagen der Bemessung

#### 3.1 Allgemeines

Grundsätzlich gelten für die Bemessung von Befestigungen dieselben Prinzipien wie in EN 1990 [26]. Das gilt auch für Kombinationen von Einwirkungen nach EN 1992-1-1 [27]. Befestigungen müssen allen während der Ausführung und Verwendung auftretenden Einwirkungen widerstehen (Grenzzustand der Tragfähigkeit), dürfen sich nicht unzulässig stark verformen (Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit) und sie müssen für ihre Verwendung während der gesamten Lebensdauer geeignet bleiben (Dauerhaftigkeit). Außerdem dürfen sie bei außergewöhnlichen Ereignissen nicht in unverhältnismäßig großem Ausmaß beschädigt werden. Die dem Entwurf und der Bemessung zugrunde liegende Nutzungsdauer eines Befestigungsmittels darf nicht geringer sein als die des befestigten Bauteils. Die angegebenen Sicherheitsbeiwerte für Widerstand und Dauerhaftigkeit basieren auf einer Nutzungsdauer des Befestigungsmittels (Kopfbolzen, Dübel, Ankerschienen) von 50 Jahren.

Für die Einwirkungen gelten die relevanten Teile von EN 1991 [28] und bei Erdbebeneinwirkungen von EN 1998 [29]. Ergänzungen zu EN 1998 enthält EN 1992-4, Anhang C (s. Abschnitt 10). Bei nicht-ruhenden Einwirkungen und bei Erdbebenbeanspruchung dürfen nur Befestigungsmittel verwendet werden, die laut der entsprechenden Europäischen Technischen Produktspezifikation für diese Anwendungen geeignet sind.

EN 1992-4 definiert Regeln zum Nachweis der örtlichen Kräfteinleitung in den Ankergrund, die Weiterleitung dieser Lasten zu den Auflagern des Bauwerks muss gesondert nachgewiesen werden. In diesem Zusammenhang wird insbesondere auf die Anforderungen in Anhang A der Norm hingewiesen (Zusätzliche Regelungen zum Nachweis der Beton-

elemente für die von Befestigungsmitteln eingeleiteten Lasten). Anhang A enthält Regeln für den Nachweis des als Ankergrund dienenden Bauteils im Hinblick auf die Schubtragfähigkeit und die Aufnahme der Spaltkräfte der Befestigungsmittel. Diese Regeln sind zusätzlich zu den Anforderungen nach Eurocode 2 einzuhalten.

Hinsichtlich Bemessung und Montage der Befestigungsmittel gelten dieselben Qualitätsanforderungen wie für die Bemessung und Erstellung des Bauwerks und des zu befestigenden Anbauteils. Das bedeutet, dass die Bemessung und der Einbau der Befestigungsmittel durch hierfür qualifiziertes Personal erfolgen muss. Für die Ausführung gelten die in Anhang F der Norm angegebenen Bedingungen. Sie stellen eine Verbindung zwischen Bemessung und Ausführung von Befestigungen her. Die bei der Bemessung angenommenen charakteristischen Widerstände und Teilsicherheitsbeiwerte gelten nur, wenn diese Bedingungen eingehalten sind, der als Ankergrund dienende Beton im Bereich der Befestigung gut verdichtet ist und keine Hohlstellen aufweist.

Neben der für alle Befestigungsmittel geltenden Forderung, dass die Kontrolle der Montage durch entsprechend qualifiziertes Personal erfolgen muss, werden in Anhang F folgende Bedingungen für die Ausführung genannt:

#### Nachträgliche Befestigungen

- Der Beton ist im Bereich der Befestigung ordnungsgemäß verdichtet.
- Sofern in der Montageanleitung des Herstellers nichts anderes angegeben ist, werden die Löcher senkrecht zur Betonoberfläche gebohrt. Das Bohrverfahren entspricht den Angaben in der Montageanleitung des Herstellers.
- Die verwendeten Bohrer entsprechen ISO (z. B. ISO 5468) oder nationalen Normen.
- Die verwendeten Diamantbohrer haben den vorgeschriebenen Durchmesser.
- Die Bohrlochreinigung erfolgt nach der Montageanleitung des Herstellers, die in der Regel den Angaben in der Europäischen Technischen Produktspezifikation entspricht.
- Fehlbohrungen oder nicht verwendete Bohrlöcher werden mit einem schwindarmen Mörtel mit der Festigkeit des Ankergrunds, aber mindestens  $\geq 40 \text{ N/mm}^2$  verfüllt.
- Beim Bohren wird keine Bewehrung beschädigt.
- Der Abstand einer Bohrung zur Spannbewehrung in Spannbetonbauteilen beträgt mindestens 50 mm.

#### Kopfbolzen

- Der Schweißvorgang erfolgt nach den Anforderungen der Europäischen Technischen Produktspezifikation.

- Die Kopfbolzen werden so fixiert, dass sie sich während des Einbaus der Bewehrung oder während des Betonierens und Verdichtens des Betons nicht bewegen.
- Die Anforderungen an eine ordnungsgemäße Verdichtung des Betons, insbesondere unter dem Kopf und unter der Ankerplatte, sowie die Anforderungen an Lüftungsöffnungen in der Ankerplatte sind erfüllt.
- Die Befestigungen dürfen unmittelbar nach dem Betonieren eingerüttelt (nicht eingedrückt) werden, wenn die Größe der Ankerplatte  $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$  oder kleiner ist und maximal vier Kopfbolzen angeschweißt sind, die Befestigung nach dem Rütteln nicht mehr bewegt wird und der Beton unter dem Kopf und der Ankerplatte ordnungsgemäß verdichtet ist.

#### Ankerschienen

- Die Ankerschiene wird so fixiert, dass sie sich während des Einbaus der Bewehrung oder während des Betonierens und Verdichtens des Betons nicht bewegt.
- Der Beton unter den Köpfen der Anker und unter der Schiene ist ordnungsgemäß verdichtet.
- Der Einbau der Schienen durch Eindringen in den frischen Beton ist nicht erlaubt.
- Ankerschienen dürfen unmittelbar nach dem Betonieren eingerüttelt werden, wenn die Länge der Schiene bei Montage durch eine Person maximal  $1 \text{ m}$  beträgt (längere Schienen müssen von mindestens zwei Personen eingerüttelt werden), die Ankerschiene nach dem Rütteln nicht mehr bewegt wird und der Beton im Bereich der Anker und der Ankerschiene ordnungsgemäß verdichtet ist.

### 3.2 Erforderliche Nachweise

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Befestigung ist für alle Lastrichtungen und Versagensarten nachzuweisen, dass die Befestigung allen Einwirkungen während der Ausführung und Verwendung mit angemessener Zuverlässigkeit dauerhaft widersteht. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist nachzuweisen, dass die Verschiebungen der Befestigungsmittel die zulässigen Werte nicht überschreiten. Außerdem müssen Material und Korrosionsschutz den Anforderungen der am Einsatzort der Befestigungsmittel herrschenden Umweltbedingungen entsprechen, wobei zu berücksichtigen ist, ob die Befestigungen während der Nutzungsdauer überwacht oder gewartet werden können oder ob sie auswechselbar sind. Gegebenenfalls ist der Widerstand gegen Brandbeanspruchung unter Berücksichtigung der Anforderungen und Bemessungsregeln nach EN 1992-4, Anhang D nachzuweisen (s. Abschnitt 11).

### 3.3 Nachweisverfahren

Für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie der Ermüdung gilt:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

mit

$E_d$  Bemessungswert der Einwirkungen

$R_d$  Bemessungswert des Widerstands

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist Gl. (2) einzuhalten:

$$E_d \leq C_d \quad (2)$$

mit

$E_d$  Bemessungswert der Verschiebung des Dübels

$C_d$  Nennwert, z. B. Grenzwert der Verschiebung

Für den Bemessungswert der Einwirkungen  $E_d$  gilt EN 1990 [26] mit den entsprechenden Lastkombinationen. Lasten aus inneren Zwangsverformungen (z. B. Schwinden) und äußeren Zwangsverformungen (z. B. Auflagerverschiebungen oder Temperaturänderungen) sind zu berücksichtigen. Im Allgemeinen dürfen die an der Ankerplatte oder der Ankerschiene angreifenden Lasten unter Vernachlässigung der Verschiebungen der Befestigungsmittel berechnet werden. Wird jedoch ein steifes und statisch unbestimmtes Bauteil befestigt, kann es notwendig sein, den Einfluss dieser Verschiebungen zu berücksichtigen.

Der Bemessungswert des Widerstands beträgt im Grenzzustand der Tragfähigkeit:

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (3)$$

mit

$R_k$  charakteristischer Widerstand einer Einzelbefestigung, einer Gruppe von Befestigungsmitteln oder einer Ankerschiene

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

Der Bemessungswert der Verschiebung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf der Europäischen Technischen Produktspezifikation entnommen werden. Die zulässige Verschiebung  $C_d$  ist durch den bemessenden Ingenieur zu bestimmen. Dabei darf angenommen werden, dass die Verschiebung linear von der aufgetragenen Last abhängt. Im Fall einer kombinierten Zug- und Querlast können die Verschiebungen aus Zug- und Querlast vektoriell addiert werden.

### 3.4 Teilsicherheitsbeiwerte

#### 3.4.1 Einwirkungen

Für die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen gilt EN 1990 [26]. Die Beiwerte für den Nachweis

indirekter Einwirkungen ( $\gamma_{ind}$ ) und Einwirkungen aus Ermüdung ( $\gamma_{fat}$ ) sind den Nationalen Anhängen der einzelnen Länder zu entnehmen. Die empfohlenen Werte betragen  $\gamma_{ind} = 1,2$  für Betonversagen,  $\gamma_{ind} = 1,0$  für andere Versagensarten und  $\gamma_{F,fat} = 1,0$ .

### 3.4.2 Widerstände

#### 3.4.2.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (statische und quasi-statische Belastung, Erdbebenbelastung)

In Tabelle 1 sind die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte zusammengestellt.

**Tabelle 1.** Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte

| Versagensart                                                                                                                                                                     | Teilsicherheitsbeiwerte                                                                                                                                                                                                     |                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                  | ständige und vorübergehende Einwirkungen                                                                                                                                                                                    | außergewöhnliche Einwirkungen                                            |
| <b>Stahlversagen: Kopfbolzen und mechanische oder chemische Dübel</b>                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                             |                                                                          |
| Zuglast                                                                                                                                                                          | $\gamma_{Ms} = 1,2 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$                                                                                                                                                                            | $\gamma_{Ms} = 1,05 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$                       |
| Querlast mit und ohne Hebelarm<br>$f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ und $f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8$<br>$f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2$ oder $f_{yk}/f_{uk} > 0,8$                      | $\gamma_{Ms} = 1,0 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$<br>$\gamma_{Ms} = 1,5$                                                                                                                                                    | $\gamma_{Ms} = 1,0 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$<br>$\gamma_{Ms} = 1,3$ |
| <b>Stahlversagen: Ankerschienen</b>                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                             |                                                                          |
| Zuglast:<br>Anker und Spezialschrauben                                                                                                                                           | $\gamma_{Ms} = 1,2 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$                                                                                                                                                                            | $\gamma_{Ms} = 1,05 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$                       |
| Querlast:<br>Spezialschrauben mit und ohne Hebelarm<br>$f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ und $f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8$<br>$f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2$ oder $f_{yk}/f_{uk} > 0,8$ | $\gamma_{Ms} = 1,0 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$<br>$\gamma_{Ms} = 1,5$                                                                                                                                                    | $\gamma_{Ms} = 1,0 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$<br>$\gamma_{Ms} = 1,3$ |
| Verbindung zwischen Anker und Schiene unter Zug- und Querlast                                                                                                                    | $\gamma_{Ms,ca} = 1,8$                                                                                                                                                                                                      | $\gamma_{Ms,ca} = 1,6$                                                   |
| lokales Versagen der Schiene durch Aufbiegen der Lippen unter Zug- und Querlast                                                                                                  | $\gamma_{Ms,l} = 1,8$                                                                                                                                                                                                       | $\gamma_{Ms,l} = 1,6$                                                    |
| Durchbiegung der Schiene                                                                                                                                                         | $\gamma_{Ms,flex} = 1,15$                                                                                                                                                                                                   | $\gamma_{Ms,flex} = 1,0$                                                 |
| <b>Stahlversagen der Zusatzbewehrung</b>                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                             |                                                                          |
| Zuglast                                                                                                                                                                          | $\gamma_{Ms,re} = 1,15^{1)}$                                                                                                                                                                                                | $\gamma_{Ms,re} = 1,0$                                                   |
| <b>Betonversagen</b>                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                             |                                                                          |
| kegelförmiger Betonausbruch, lokaler Betonausbruch, Betonkantenbruch, rückwärtiger Betonausbruch                                                                                 | $\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst}$<br>$\gamma_c = 1,5^{1) 2)}$                                                                                                                                                    | $\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst}$<br>$\gamma_c = 1,5^{1) 2)}$ |
|                                                                                                                                                                                  | $\gamma_{inst} = 1,0$ Kopfbolzen und Ankerschienen unter Zug- und Querlast<br>$\gamma_{inst} \geq 1,0$ Dübel unter Zuglast laut Europäischer Technischer Produktspezifikation<br>$\gamma_{inst} = 1,0$ Dübel unter Querlast |                                                                          |
| Spalten des Bauteils                                                                                                                                                             | $\gamma_{Msp} = \gamma_{Mc}$                                                                                                                                                                                                |                                                                          |
| Herausziehen (mechanische Dübel) und kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch (chemische Dübel)                                                                   | $\gamma_{Mp} = \gamma_{Mc}$                                                                                                                                                                                                 |                                                                          |

<sup>1)</sup> Werte nach EN 1992-1-1 [27]

<sup>2)</sup> Bei Bauwerkserdichtigungen für Erdbeben und Verstärkung bestehender Bauwerke siehe EN 1998 [29]

Bei Erdbebenbelastung dürfen dieselben Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt werden wie bei statischer bzw. quasi-statischer Belastung. Für außergewöhnliche Einwirkungen (z. B. infolge von Unfällen oder Explosionen) gelten die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte nach Tabelle 1. Nationale Anhänge einzelner Länder können abweichende Teilsicherheitsbeiwerte für statische, quasi-statische, seismische und außergewöhnliche Belastungen enthalten, sofern diese nicht produktabhängig sind.

Die in Tabelle 1 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlversagen berücksichtigen, dass die charakteristischen Widerstände auf der Nennzugfestigkeit  $f_{uk}$  und nicht auf der Streckgrenze  $f_{yk}$  des Stahls beruhen. Deshalb beinhalten die Gleichungen für die Teilsicherheitsbeiwerte bei Stahlversagen von Kopfbolzen, Dübeln und Ankerschienen den Quotienten aus Nennzugfestigkeit  $f_{uk}$  und Nennstreckgrenze  $f_{yk}$ . Je größer der Quotient  $f_{uk}/f_{yk}$  ist, desto größer ist auch der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{Ms}$ . Dadurch wird auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit ein ausreichender Abstand zur Streckgrenze gewährleistet.

Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{Mc}$  für Betonversagen gilt für die Versagensarten kegelförmiger Betonausbruch und lokaler Betonausbruch unter Zuglast sowie rückwärtiger Betonausbruch und Betonkantenbruch unter Querlast. Er setzt sich aus zwei Werten zusammen:

$$\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst} \quad (4)$$

Der Wert  $\gamma_c$  entspricht dem Teilsicherheitsbeiwert für Beton unter Druckbeanspruchung. In Übereinstimmung mit EN 1992-1-1 [27] wird  $\gamma_c = 1,5$  empfohlen. Dieser Teilsicherheitsbeiwert gilt auch für Ermüdungslasten und seismische Lasten. Im Falle von Bauwerksertüchtigungen zur Erhöhung der Sicherheit gegenüber Erdbebenlasten und bei Verstärkungen bestehender Bauteile gilt EN 1998 [29].

Der Montagesicherheitsbeiwert  $\gamma_{inst}$  berücksichtigt die Montagesicherheit des Befestigungsmittels und wird für nachträgliche Befestigungen (mechanische und chemische Dübel) auf Basis der Ergebnisse der Montagesicherheitsversuche nach der Zulassungsleitlinie ermittelt [2]. Er ist produktspezifisch und in der Europäischen Technischen Produktspezifikation des jeweiligen Produkts festgeschrieben und darf in Nationalen Anhängen nicht verändert werden.

Der Montagesicherheitsbeiwert für Dübel berücksichtigt, in welchem Umfang sie auf Montagegenauigkeiten reagieren, die auf der Baustelle nicht immer vermeidbar sind. Beispiele hierfür sind Abweichungen vom vorgeschriebenen Anzugsdrehmoment bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln, Abweichungen vom erforderlichen Eintreibweg des Spreizstiftes bei wegkontrolliert spreizenden Dübeln oder Toleranzen des Schneideneckmaßes des verwendeten Bohrers. Je robuster ein

Dübel auf solche Abweichungen reagiert, desto kleiner ist der geforderte Montagesicherheitsbeiwert. Er beträgt bei Zugbeanspruchung:

$$\gamma_{inst} = 1,0 \quad \text{bei hoher Montagesicherheit} \quad (4a)$$

$$\gamma_{inst} = 1,2 \quad \text{bei normaler Montagesicherheit} \quad (4b)$$

$$\gamma_{inst} = 1,4 \quad \text{bei niedriger aber noch annehmbarer Montagesicherheit} \quad (4c)$$

Bei Querbeanspruchung gilt:

$$\gamma_{inst} = 1,0 \quad (4d)$$

Kopfbolzen und Ankerschienen werden als Produkte mit hoher Montagesicherheit betrachtet. Daher sind keine speziellen Montageversuche erforderlich und der Montagesicherheitsbeiwert beträgt für alle Lastrichtungen

$$\gamma_{inst} = 1,0 \quad (4e)$$

Für Spalten unter Zuglast ist der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{Msp}$  anzusetzen und für Herausziehen (mechanische Dübel) bzw. kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch (chemische Dübel) gilt der Beiwert  $\gamma_{Mp}$ . Für  $\gamma_{Msp}$  und  $\gamma_{Mp}$  wird der Wert  $\gamma_{Mc}$  empfohlen. Die für ein Befestigungsmittel anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mc}$ ,  $\gamma_{Msp}$  und  $\gamma_{Mp}$  sind in der Europäischen Technischen Produktspezifikation angegeben.

### 3.4.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ermüdung)

Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Ms,fat}$ ,  $\gamma_{Mc,fat}$ ,  $\gamma_{Msp,fat}$  und  $\gamma_{Mp,fat}$  für Stahlversagen, Betonversagen, Spalten und Herausziehen sind in der Europäischen Technischen Produktspezifikation angegeben oder können den Nationalen Anhängen der Länder entnommen werden. Die empfohlenen Werte für Stahl- und Betonversagen betragen  $\gamma_{Ms,fat} = 1,35$  und  $\gamma_{Mc,fat} = \gamma_{Msp,fat} = \gamma_{Mp,fat} = 1,5 \cdot \gamma_{inst}$ .

### 3.4.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann den Nationalen Anhängen der Länder entnommen werden. Der empfohlene Wert beträgt  $\gamma_M = 1,0$ .

## 3.5 Projektbeschreibung

Die Projektbeschreibung muss Informationen zu Ankergrund und Umweltbeanspruchung sowie zum gewählten Befestigungselement enthalten. Die Bemessung einer Befestigung durch den verantwortlichen Ingenieur beruht auf grundlegenden Annahmen wie z. B. der Festlegung, ob der Beton gerissen

oder ungerissen ist, der Betonfestigkeitsklasse, der Frage, ob es sich um trockenen oder nassen Beton handelt oder ob die Bohrlöcher sogar wassergefüllt sind, welche Korrosionsschutzmaßnahmen vorausgesetzt wurden sowie auf einem vorgegebenen Kopfbolzen- oder Ankerschientyp bzw. einem Dübel mit festgelegtem Durchmesser, definierter Verankerungstiefe und vorgegebener Ausführung. Diese und weitere Parameter bestimmen die charakteristischen Widerstände und Teilsicherheitsbeiwerte. Bei Änderungen z. B. des Typs oder der Größe des Befestigungsmittels muss deshalb eine erneute Beurteilung durch den verantwortlichen Ingenieur und ggf. eine den veränderten Bedingungen angepasste Neubemessung erfolgen.

Die Konstruktionszeichnungen sollen alle auf der Baustelle benötigten Informationen enthalten. Dadurch wird sichergestellt, dass die bei der Bemessung angenommenen Parameter auf der Baustelle beachtet werden. Es werden Informationen zu Anzahl, Typ, Verankerungstiefe und Lage der Befestigungsmittel verlangt. Außerdem werden Angaben zu den Abmessungen und zur Lage des Anbauteils (Ankerplatte), zum Durchmesser der Löcher im Anbauteil (sofern vorhanden) sowie über die Dicke einer eventuell vorhandenen Ausgleichsschicht (z. B. Mörtelbett oder Isolierung) zwischen Befestigung und Betonoberfläche gefordert.

### 3.6 Montage

Tragfähigkeit und Zuverlässigkeit einer Befestigung werden durch die Art und Weise, wie die Befestigung montiert wird, stark beeinflusst. Deshalb gelten die Sicherheitsbeiwerte in Abschnitt 3.4 nur, wenn die Bedingungen gemäß EN 1992-4, Anhang F eingehalten sind (vgl. Abschnitt 3.1)

### 3.7 Bestimmung des Betonzustands

Der Beton kann gerissen oder ungerissen sein. Die Entscheidung über den Zustand des Verankerungsgrunds ist vom bemessenden Ingenieur zu treffen. Sofern das ausgewählte Befestigungsmittel für Anwendungen in Rissen geeignet ist, ist es konservativ, immer von gerissenem Beton auszugehen. Die Wahrscheinlichkeit, dass Befestigungsmittel in Rissen verankert sind, ist hoch, da Risse auch durch lastunabhängige Einwirkungen wie z. B. Schwindprozesse, Temperaturunterschiede im Bauteil und Gebäudesetzungen entstehen können.

Ungerissener Beton darf daher nur dann angenommen werden, wenn nachgewiesen wird, dass sich das Befestigungsmittel unter den charakteristischen Lastkombinationen im Gebrauchszustand mit seiner gesamten Verankerungslänge im ungerissenen Beton befindet. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn Gl. (5) eingehalten wird (Druckspannungen sind negativ einzusetzen):

$$\sigma_L + \sigma_R \leq \sigma_{adm} \quad (5)$$

mit

- $\sigma_L$  Spannung im Beton aufgrund externer Lasten einschließlich der Lasten aus der Befestigung
- $\sigma_R$  Spannungen im Beton aufgrund innerer Zwangsverformungen (z. B. Schwinden des Betons) oder äußerer Zwangsverformungen (z. B. Auflagerverschiebungen oder Temperaturschwankungen); wird kein genauere Nachweis geführt, dann sollte  $\sigma_R = 3 \text{ N/mm}^2$  angenommen werden
- $\sigma_{adm}$  zulässige Betonzugspannung für die Definition von ungerissenem Beton

Die Spannungen  $\sigma_L$  und  $\sigma_R$  werden unter der Annahme berechnet, dass der Beton ungerissen ist. Bei Bauteilen, in denen die Last in zwei Richtungen abgetragen wird (z. B. Platten, Wände und Schalen) muss Gl. (5) für beide Richtungen erfüllt werden. Den Wert für  $\sigma_{adm}$  darf jedes Land in seinem Nationalen Anhang angeben. Der empfohlene Wert ist  $\sigma_{adm} = 0$ .

Der Ansatz der Spannung  $\sigma_R$  in Gl. (5) soll gewährleisten, dass auch bei unbeabsichtigter Behinderung von Verformungen die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Rissen im Beton sehr gering ist. Der Wert  $\sigma_R = 3 \text{ N/mm}^2$  wird auch in EN 1992-1-1 [27] bei der Bestimmung der Mindestbewehrung in Stahlbetonbauteilen zur Rissbreitenbeschränkung im Gebrauchszustand angesetzt.

Bei Bemessung von Befestigungsmitteln unter seismischer Beanspruchung muss als Verankerungsgrund immer gerissener Beton angenommen werden.

## 4 Dauerhaftigkeit

### 4.1 Allgemeines

Befestigungsmittel müssen in der Lage sein, die ihnen zugewiesenen Lasten über die gesamte vorgesehene Beanspruchungsdauer zuverlässig zu übertragen. Dies bedeutet, dass die Entwurfsnutzungsdauer des Befestigungsmittels nicht kürzer sein darf als diejenige des Anbauteils. EN 1992-4 geht von einer Nennnutzungsdauer der Befestigung von mindestens 50 Jahren aus. Während in der CEN/TS 1992-4 korrosionstechnische Aspekte noch in einem informativen Anhang geregelt wurden, wird die Dauerhaftigkeit in EN 1992-4 normativ unter Hinweis auf die Expositionsklassen in EN 1992-1-1 geregelt. Ergänzende Angaben dazu, wie die geforderte Dauerhaftigkeit erreicht werden kann, enthält der informative Anhang B der EN 1992-4.

Konstruktive Korrosionsschutzmaßnahmen wie z. B. der Einsatz korrosionsunempfindlicher Werk-



**Tabelle 2.** Abtragsraten für Zink für verschiedene Umgebungsbedingungen, nach [30] bzw. [31]

| Abtragsrate<br>$r_{\text{corr}}$ [ $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ ] | Umgebungsbedingungen (Beispiele)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                | innen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | im Freien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $\leq 0,1$<br>unbedeutend                                      | beheizte Räume mit niedriger relativer Luftfeuchte und unbedeutender Luftverunreinigung,<br>z. B. Büros, Hotels, Schulen, Museen                                                                                                                                                                                                                                                                                  | trockenes oder kaltes Klimagebiet, atmosphärische Umgebung mit sehr niedriger Luftverunreinigung und geringer Zeit mit Nässe,<br>z. B. bestimmte Wüsten, zentrale arktische/antarktische Bereiche                                                                                                                                                                                                                             |
| $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,7$<br>gering                     | nicht beheizte Räume mit schwankender Temperatur und relativer Luftfeuchte; selbten Kondensatbildung und geringe Luftverunreinigung,<br>z. B. Lagerräume, Sporthallen                                                                                                                                                                                                                                             | gemäßigtes Klimagebiet, atmosphärische Umgebung mit geringer Luftverunreinigung ( $\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),<br>z. B. ländliche Bereiche, Kleinstädte, trockenes oder kaltes Klimagebiet, atmosphärische Umgebung mit kurzzeitiger Nässe,<br>z. B. Wüsten, subarktische Bereiche                                                                                                                             |
| $0,7 < r_{\text{corr}} \leq 2,1$<br>mäßig                      | Räume mit gelegentlicher Kondensatbildung und mäßiger, durch den Produktionsprozess bedingter Luftverunreinigung,<br>z. B. Lebensmittelverarbeitung, Wäschereien, Brauereien, Molkereien                                                                                                                                                                                                                          | gemäßigtes Klimagebiet, atmosphärische Umgebung mit mittlerer Verunreinigung ( $\text{SO}_2$ : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oder leichte Chloridbelastung,<br>z. B. städtische Bereiche, Küstenbereiche mit niedriger Chloridablagerung, subtropische und tropische Klimagebiete mit Atmosphären mit geringer Verunreinigung                                                                  |
| $2,1 < r_{\text{corr}} \leq 4,2$<br>stark                      | Räume mit häufiger Kondensatbildung und hoher, durch den Produktionsprozess bedingter Luftverunreinigung,<br>z. B. Industrieanlagen, Schwimmbäder                                                                                                                                                                                                                                                                 | gemäßigtes Klimagebiet, atmosphärische Umgebung mit hoher Verunreinigung ( $\text{SO}_2$ : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oder beträchtliche Chloridbelastung,<br>z. B. verunreinigte städtische Bereiche, industrielle Bereiche, Küstenbereiche ohne Versprühen von Salzwasser, starke Tau-salzbelastung, subtropische und tropische Klimagebiete mit Atmosphäre mit mittlerer Verunreinigung |
| $4,2 < r_{\text{corr}} \leq 8,4$<br>sehr stark                 | Räume mit sehr häufiger Kondensatbildung und/oder mit hoher, durch den Produktionsprozess bedingter Luftverunreinigung,<br>z. B. Bergwerke, industriell genutzte Kavernen, unbelüftete Schuppen in Gebieten mit subtropischem und tropischem Klima                                                                                                                                                                | gemäßigte und subtropische Klimagebiete, atmosphärische Umgebung mit sehr hoher Verunreinigung ( $\text{SO}_2$ : $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und/oder wesentliche Chloridbelastung,<br>z. B. industrielle Bereiche, Küstenbereiche, Schutzhütten an der Küste                                                                                                                              |
| $8,4 < r_{\text{corr}} \leq 25$<br>extrem                      | Räume mit nahezu ständiger Kondensatbildung oder ausgedehnten Belastungszeiten mit starker Feuchtigkeitseinwirkung und/oder mit hoher, durch den Produktionsprozess bedingter Luftverunreinigung,<br>z. B. unbelüftete Schuppen in feuchten, tropischen Klimagebieten mit eindringenden Verunreinigungen aus der Außenluft, einschließlich luftübertragener Chloride und Feststoffteilchen, die Korrosion fördern | subtropische und tropische Klimagebiete (sehr lange Nässeinwirkungszeiten), atmosphärische Umgebung mit sehr hoher ( $\text{SO}_2$ ) Verunreinigung (mehr als $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), inklusive begleitender und durch Produktion bedingte Faktoren und/oder starke Chloridbelastung,<br>z. B. extreme industrielle Bereiche, Küsten- und Offshore-Bereiche mit gelegentlichem Sprühsalzkontakt                       |



stoffe sowie geeigneter Werkstoffpaarungen, eine möglichst geringe Gliederung bei Anschlüssen, die Verhinderung von (Schadstoff-)Ablagerungen aus der Luft, die Ableitung von (Kondens-)Wasser und eine ausreichende Belüftung sind immer schon beim Entwurf der Befestigung zu berücksichtigen. Auf diese Weise können chemische Veränderungen des Stahls, die eine Minderung der Gebrauchstauglichkeit und der mechanischen Eigenschaften verursachen, vermieden und eine dauerhafte Befestigung verwirklicht werden.

Die beim Entwurf einer Befestigung anzusetzenden Umgebungsbedingungen sind in den Expositions-klassen nach EN 1992-1-1 [27] anwenderfreundlich zusammengefasst:

- trockene Innenraumbedingungen,
- äußere atmosphärische Beanspruchung oder ständig feuchte Innenräume,
- hohe Korrosionsbeanspruchung durch Chloride und Schwefel.

Die Befestigungstechnikindustrie stellt für diese Klimabedingungen Produkte mit entsprechenden Beschichtungen oder aus geeigneten Werkstoffen zur Verfügung. Bei der Werkstoffauswahl ist jedoch darauf zu achten, dass elektrolytische (Kontakt-) Korrosion zwischen Befestigungsmittel und Anbauteil, wenn diese aus verschiedenen Metallen bestehen, durch dauerhaft isolierende Zwischenschichten oder den Einsatz verträglicher Materialien verhindert wird.

Ergänzend ist festzustellen, dass sich die Umweltbelastung auch hinsichtlich der korrosiv wirksamen Verunreinigungen während der letzten 30 Jahre entscheidend verringert hat. Dies verdeutlicht Tabelle 2, in der aktuelle Beispiele für jährliche Zinkabtragsraten in Abhängigkeit von typischen atmosphärischen Umgebungsbedingungen angegeben sind.

#### 4.2 Befestigungsmittel in trockenen Innenräumen

Die Bedingungen für trockene Innenräume entsprechen der Expositions-klasse XC1 nach EN 1992-1-1 [27].

Im Allgemeinen sind unter diesen Umgebungsbedingungen für die Befestigungsmittel keine besonderen Korrosionsschutzmaßnahmen zu treffen. Befestigungsmittel aus Kohlenstoffstahl werden üblicherweise mit einer 5 µm dicken Schicht galvanisch verzinkt. Diese Beschichtung, die dem Korrosionsschutz während des Transports und der Lagerung der Befestigungsmittel dient, wird als ausreichend betrachtet, um eine Verwendung im trockenen Bauwerksinnern über 50 Jahre zu gewährleisten. Bei allerdings praxisunüblichen Teilen aus Gusseisen

ist dazu im Allgemeinen kein zusätzlicher Schutz erforderlich.

#### 4.3 Befestigungen in ständig feuchten Innenräumen, im Freien und bei hoher Korrosionsbeanspruchung

Eine bei trockenen Innenräumen ausreichende galvanische Zinkbeschichtung als Korrosionsschutz reicht in ständig feuchten Innenräumen, im Freien und bei hoher Korrosionsbeanspruchung nicht aus, um selbst bei geringer korrosiver Beanspruchung die Tragwirkung und Gebrauchstauglichkeit eines Befestigungsmittels über die erforderliche Lebensdauer von 50 Jahren sicherzustellen (vgl. Tabelle 2). Dies gilt insbesondere für Befestigungen im Hochbau, die nicht zugänglich sind, und bei denen sich unter den folgenden besonders stark korrosiven Umgebungsbedingungen in der Verbindung Schadstoffe anreichern können:

- Küstengebiet mit hoher salzhaltiger Luftkonzentration,
- Spritzwasserzone von Meerwasser,
- Industriegebiet mit hohem Luftverschmutzungsgrad,
- Verkehrsbauwerk mit hohem Luftverschmutzungsgrad, z. B. Parkhäuser,
- Spritzwasserzone von mit Tausalz beaufschlagten Straßen,
- Bauwerk mit dauerhaft wirkenden Chlordämpfen, z. B. Schwimmbad,
- Räume mit dauerhaft hoher Luftfeuchtigkeit,
- stark mit Ammoniakdämpfen belastete Objekte wie Vieh-Stallungen,
- Bauwerk, in dem stark gerbstoffhaltiges Holz (Eiche) verbaut ist.

Eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit liefern unter den o. g. Umwelteinflüssen Befestigungsmittel aus nichtrostenden Stählen. EN 1992-4 gibt im informativen Anhang B Hinweise zu den in diesen Fällen zu verwendenden Werkstoffen.

##### 4.3.1 Befestigungen unter äußerer atmosphärischer Beanspruchung oder in ständig feuchten Innenräumen

Für diese Umgebungsbedingungen (z. B. Meeresklima, Industriatmosphäre usw.) werden die Expositions-klassen XC2, XC3 und XC4 nach EN 1992-1-1 [27] angesetzt.

In diesen Fällen sollten Befestigungsmittel aus nichtrostendem Stahl einer geeigneten Werkstoffgüte verwendet werden. Dies sind austenitische Stähle mit mindestens 17 % bis 18 % Chrom und 12 % bis 13 % Nickel sowie einem zusätzlichen Molybdänanteil wie z. B. die üblicherweise als A4-Stahl bezeichneten Werkstoffe 1.4401 und 1.4571 sowie die

Stähle 1.4404, 1.4578 und 1.4439 nach EN 10088-2 [32] bzw. EN 10088-3 [33]. Entsprechende Stähle oder Werkstoffe, die die in nationalen Vorschriften enthaltenen Anforderungen erfüllen, können ebenfalls verwendet werden.

### 4.3.2 Befestigungsmittel unter hoher Korrosionsbeanspruchung durch Chloride und Schwefel

Hohe Korrosionsbeanspruchungen liegen z. B. bei ständig wechselndem Befeuchten mit Meerwasser, der Spritzwasserzone von Salzwasser, in der Chloratmosphäre von Hallenbädern oder einer Atmosphäre mit extremer Luftverschmutzung durch chemische Schadstoffe (z. B. in Entschwefelungsanlagen oder Straßentunneln, in denen Taumittel verwendet werden) vor. Sie werden den Expositionsklassen XD und XS nach EN 1992-1-1 [27] zugeordnet.

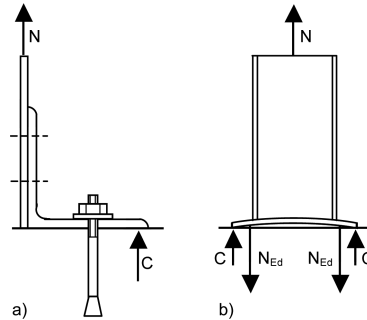
Die Stahlteile des Befestigungsmittels für diesen Anwendungsbereich sollten aus einem nichtrostenden Stahl mit ca. 20 % Chrom, 20 % Nickel und 6 % Molybdän, z. B. sog. HCR-Stählen mit den Bezeichnungen 1.4565, 1.4529 und 1.4547 nach EN 10088-2 [32], EN 10088-3 [33] oder entsprechenden Werkstoffen hergestellt sein, die für diese hohe Korrosionsbeanspruchung geeignet sind und ggf. vorhandenen nationalen Vorschriften entsprechen.

## 5 Ableitung der Lasteinwirkungen bei statischer und quasi-statischer Belastung

### 5.1 Allgemeines

Die auf eine Ankerplatte oder ein Anbauteil einwirkenden Schnittkräfte (Normalkräfte, Biegemomente, Querkkräfte und Torsionsmomente) müssen als statisch äquivalente Zug- und Querlasten auf die Befestigungsmittel verteilt werden. Dabei sind Stützkkräfte  $C$  infolge Exzentrizität (Bild 7a) und übermäßiger Verformung der Ankerplatte (Bild 7b) zu berücksichtigen. Bei zu großen Verformungen empfiehlt es sich grundsätzlich, die Entstehung der Stützkkräfte durch Wahl einer ausreichend steifen Ankerplatte oder durch aufgeschweißte zusätzliche Aussteifungen der Platte zu vermeiden.

Wirkt ein Biegemoment und/oder eine Druckkraft auf das Anbauteil, dann entstehen zwischen Bauteil und Beton Reibungskräfte, welche die von den Befestigungsmitteln aufzunehmenden Querlasten reduzieren. Die Summe der über die Befestigungsmittel und über Reibung in den Ankergrund eingeleiteten Querlast entspricht jedoch immer der einwirkenden Querkraft und ist somit konstant. Das bedeutet, dass die Reibung zwar die direkte Querbeanspruchung der Befestigungsmittel vermindert, der Widerstand des Betons (z. B. beim Nachweis des Be-



**Bild 7.** Anwendungsbeispiele, bei denen Stützkkräfte  $C$  auftreten; a) Stützkkräfte infolge der Exzentrizität, b) Stützkkräfte infolge der Verformung der Ankerplatte

tonkantenbruchs) sich jedoch nicht ändert. Ferner ist es schwierig, die Höhe der Reibungskräfte mit der erforderlichen Sicherheit anzugeben, da sie von Parametern wie z. B. der Oberflächenbeschaffenheit des Betons und des Anbauteils abhängen. Deshalb werden die Reibungskräfte in EN 1992-4 vernachlässigt.

Die Verteilung der Schnittkräfte auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppe erfolgt auf Basis der Elastizitätstheorie. Das gilt sowohl für den Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch der Gebrauchstauglichkeit. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit darf für Dübel und Kopfbolzen auch auf Grundlage der Plastizitätstheorie nachgewiesen werden (vgl. Abschnitt 12), sofern die Bedingungen gemäß CEN/TR 17081 [20] beachtet werden.

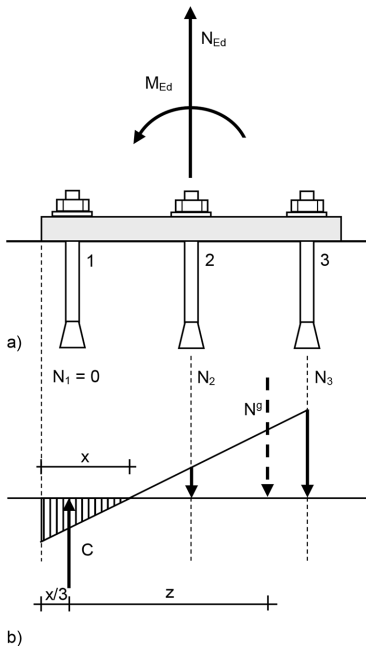
## 5.2 Dübel und Kopfbolzen

### 5.2.1 Zuglasten

Die Verteilung der Zuglasten auf die einzelnen Dübel oder Kopfbolzen einer Gruppe erfolgt nach der Elastizitätstheorie. Danach sind die Dehnungen unterhalb des Anbauteils linear verteilt und zwischen Spannungen und Dehnungen besteht ein linearer Zusammenhang (Bild 8).

Das setzt allerdings voraus, dass die Ankerplatte steif ist und sich nicht entscheidend verformt. Sie sollte sich unter den Bemessungslasten elastisch verhalten und ihre Verformungen sollten mit den Verschiebungen der Befestigungsmittel vereinbar sein. Die auf die einzelnen Befestigungselemente einwirkenden Lasten werden analog zur elastischen Bemessung von Stahlbetonbauteilen bestimmt (Bild 8). Dabei gelten folgende Annahmen:

- Die Befestigung ist ausreichend steif, sodass von einer linearen Dehnungsverteilung ausgegangen werden kann (Bernoulli-Hypothese).



**Bild 8.** Verteilung der Kräfte in den Befestigungen und der Dehnungen unterhalb der Ankerplatte bei Belastung durch eine Zugkraft und ein Biegemoment

- Die axiale Steifigkeit aller Dübel ist gleich und entspricht dem Produkt aus E-Modul des Stahls  $E_s$  und Querschnitt  $A_s$  (bei Gewindeteilen ist  $A_s$  der Spannungsquerschnitt nach ISO 898 [34]). Werden in der Europäischen Technischen Produktspezifikation keine Angaben zum Elastizitätsmodul des Stahls gemacht, dann darf vereinfachend  $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$  angenommen werden.
- Der Elastizitätsmodul  $E_c$  des Betons kann EN 1992-1-1 [27] entnommen werden, wobei unabhängig von der Betondruckfestigkeit vereinfachend  $E_c = 30000 \text{ N/mm}^2$  angesetzt werden darf.
- Befestigungsmittel, die innerhalb der Druckfläche unter der Ankerplatte oder dem Anbauteil liegen, nehmen keine Kräfte auf.

Die erste der vier genannten Annahmen ist laut EN 1992-4 erfüllt, wenn die Spannungen in der Ankerplatte unter den Bemessungslasten im elastischen Bereich bleiben ( $\sigma_{pd} \leq \sigma_{Rd}$ ) und die Verformung im Vergleich zur axialen Verformung der Befestigungsmittel vernachlässigbar ist. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, dann ist die elastische

Verformung der Ankerplatte bei der Ermittlung der auf die einzelnen Befestigungselemente einwirkenden Zuglasten zu berücksichtigen.

Darüber hinaus enthält EN 1992-4 keine weiterführenden Angaben zum Nachweis einer ausreichenden Steifigkeit der Ankerplatte. Dieser Nachweis ist jedoch wichtig, weil bei zu weicher Ankerplatte und einwirkenden Biegemomenten der Hebelarm der inneren Kräfte kleiner ist und damit die realen Kräfte in den Befestigungsmitteln größer sind, als bei der Bemessung mit steifer Ankerplatte angenommen. Wirkt eine zentrische Zuglast und ist die Ankerplatte nicht ausreichend steif, dann nehmen die nahe zum Lastangriffspunkt angeordneten Kopfbolzen oder Dübel höhere Zuglasten auf als die weiter entfernt angeordneten Befestigungsmittel. In beiden Fällen kann die Tragfähigkeit der Befestigung deutlich geringer sein als der Rechenwert [35].

Nach [36] darf bei Befestigungen mit 2 oder 4 Dübeln und Plattenüberständen  $\bar{u}_b \leq 2 \cdot d_f$  von einer steifen Ankerplatte ausgegangen werden, wenn die mithilfe einer linearen Finite-Elemente-Berechnung ermittelte Stahlspannung unter den Bemessungslasten den Bemessungswert der Streckgrenze nicht überschreitet (Spannungskriterium). Dabei ist  $\bar{u}_b$  der Abstand der Achse der Bohrung zu den Rändern der Ankerplatte und  $d_f$  der Durchmesser der Bohrung in der Ankerplatte. Vereinfachend wird die Ankerplatte bei der FEM-Berechnung auf dem aufgeschweißten Profil gelagert und die Dübelkräfte sowie die Betondruckkräfte werden als äußere Lasten aufgebracht. An den Ecken des auf die Ankerplatte aufgeschweißten Profils treten Spannungsspitzen auf, die allerdings für die Bemessung der Ankerplatte nicht maßgebend sind, da in diesem relativ schmalen Bereich eine Plastifizierung hingenommen werden kann, ohne dass dies zu großen Plattenverformungen führt. Deshalb wird in [36] vorgeschlagen, die Stahlspannungen im Bereich der Profilecken über eine Länge  $b_1 = t + s$  zu mitteln. Dabei ist  $t$  die Ankerplattendicke und  $s$  die Wanddicke des aufgeschweißten Profils. Bei diesem Ansatz wird von einer Lastausbreitung unter  $45^\circ$  ausgegangen. Nach [37] darf die Stahlspannung über eine Breite von  $b_1 = 2 \cdot t + s$  gemittelt werden, was einer Lastausbreitung unter ca.  $27^\circ$  entspricht.

Zur Überprüfung dieses Vorschlags wurden Versuche an Gruppen mit vier Hinterschnittdübeln sowie einige Tastversuche mit vier Einschlagankern und Betonschrauben durchgeführt [37, 38]. Sie zeigen, dass die gemessenen Dübelkräfte gut mit den Rechenwerten übereinstimmen, die sich bei Annahme einer steifen Ankerplatte nach [36] ergeben. Aufgrund der Versuchsergebnisse lässt sich sagen, dass der Ansatz nach [36] für Gruppen mit 2, 3 oder 4 Dübeln und quadratische oder rechteckige Ankerplatten mit einem Seitenverhältnis  $b_{\text{platte}}/l_{\text{platte}} \geq 0,5$ , mit Profilabmessungen  $l_{\text{profil}}/l_{\text{platte}} = b_{\text{profil}}/$

$b_{\text{Platte}} \geq 0,4$ , mit Exzentrizitäten des Profils  $e_{\text{Profil}}/l_{\text{Platte}} \leq 0,15$  und mit Plattenüberständen  $\bar{u}_b \leq 2 \cdot d_f$  bei einachsiger Biegung und Zug- bzw. Druckkraft wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefert.

Natürlich hat die Steifigkeit der Befestigungsmittel einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der Zuglasten auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppe. Je geringer die Steifigkeit ist, desto größer wird die Verschiebung der Befestigungsmittel, was zu einer Verkleinerung der Druckzonenhöhe und damit zu einer Zunahme des Hebelarms der inneren Kräfte führt. Bedingt dadurch nehmen die rechnerischen Zugkräfte in den Befestigungsmitteln ab. Deshalb gilt der oben genannte Anwendungsbereich des Ansatzes nach [36] nur für Befestigungsmittel, deren Steifigkeiten gemessen gegenüber der Höchstlast in dem durch die Versuche [37, 38] abgedeckten Bereich von 12 kN/mm bis 60 kN/mm liegen. Nach [39] trifft das für drehmomentkontrolliert spreizende Dübel des Bolzen- und Hülsentyps sowie für Hinterschrittdübel, Betonschrauben und Kunststoffdübel zu. Die Steifigkeiten wegkontrolliert spreizender Dübel (Einschlagdübel) streuen stark [39] und liegen teilweise signifikant oberhalb des durch die genannten Versuche abgedeckten Steifigkeitsbereichs. Dasselbe gilt auch für Verbunddübel, deren Steifigkeit wesentlich vom verwendeten Harz abhängt, sowie aufgrund ihrer großen Kopffläche auch für Kopfbolzen.

Die oben erwähnten Versuche wurden mithilfe eines nichtlinearen FEM-Programms nachgerechnet [37]. Der Beton wurde mit 3-D-Volumenelementen und die Ankerplatte mit 3-D-Schalenelementen modelliert. Zwischen Ankerplatte und Beton wurden Kontaktelemente angeordnet, die nur Druckkräfte und keine Zugkräfte übertragen können. Die zugbeanspruchten Dübel wurden durch nichtlineare Federelemente idealisiert, deren Kennlinie der mittleren Last-Verschiebungskurve der geprüften Dübel entsprach. Das aufgeschweißte Profil wurde wiederum durch dreidimensionale Schalenelemente idealisiert. Die Nachrechnung der Versuche mithilfe dieses Modells führte zu einer ausreichend genauen Übereinstimmung der gemessenen und rechnerischen Dübelzugkräfte. Deshalb konnte das Programm auch für Parameterstudien verwendet werden, deren Ergebnisse den o. g. Geltungsbereich des Ansatzes nach [36] bestätigen.

In [35] werden umfangreiche Parameterstudien mithilfe nichtlinearer FEM-Modelle beschrieben und durch entsprechende Versuche verifiziert. Demnach darf das Spannungskriterium nach [36] für Gruppen mit vier Befestigungsmitteln und einem Verhältnis von Profilabmessungen zu Ankerplattenabmessungen von  $l_{\text{Profil}}/l_{\text{Platte}} = b_{\text{Profil}}/b_{\text{Platte}} \geq 0,5$  bei einachsiger und überwiegender Biege-/Biegedruckbeanspruchung und zentrisch auf der Platte angeordnetem Profil für das gesamte Spektrum an Stei-

figkeiten angewendet werden. Dies bedeutet im Vergleich zu [37] eine leichte Einschränkung des Anwendungsbereichs in Bezug auf die Verhältniswerte von Profil- zu Ankerplattenabmessungen sowie auf die Proflexzentrizitäten, dafür gilt der Anwendungsbereich aber für beliebige Steifigkeiten der Befestigungselemente.

Für Gruppen mit mehr als vier Dübeln, für große Proflexzentrizitäten und Befestigungen unter zweiachsiger Biegung, für große Plattenüberstände sowie für steife Dübel kann der Ansatz nach [36] zu Ergebnissen auf der unsicheren Seite führen [35]. In diesen Fällen empfehlen die Verfasser, eine ausreichend steife Ankerplatte durch zusätzliche Maßnahmen wie z. B. das Aufschweißen von Aussteifungen zu gewährleisten oder alternativ den in [35] vorgeschlagenen Doppelnachweis zu führen. Dieser verlangt zusätzlich zum Spannungskriterium nach [36] den Nachweis, dass auch die Verformungen der Ankerplatte und der Befestigungsmittel ein Ebenbleiben der Querschnitte ermöglichen (Verformungskriterium).

Alternativ besteht die Möglichkeit, wie in [35, 37] die Kräfte in den Befestigungsmitteln und die Verformungen der Ankerplatte mithilfe nichtlinearer Finite-Elemente-Berechnungen zu bestimmen. Dies erfordert wirklichkeitsnahe Annahmen zum Last-Verschiebungsverhalten (Steifigkeit) der Befestigungsmittel sowie zur elastisch-plastischen Betongrößte der Ankerplatte auf dem Beton. Der Schlupf des Befestigungsmittels hängt vom Typ der Befestigung sowie von dessen Größe und Verankerungstiefe, von der Betonfestigkeit und vom Zustand des Betons (gerissen oder ungerissen) ab. Für die Nachrechnung der Versuche in [37] konnten in jedem Einzelfall die gemessenen Last-Verschiebungskurven der Befestigungsmittel angesetzt werden. Demgegenüber sind für die Ermittlung der Zugkräfte in den Befestigungsmitteln aber allgemeingültige und anerkannte Ansätze erforderlich, die jedoch bislang nicht vorliegen. Sinnvollerweise sollten diese in Zukunft in den jeweiligen Europäischen Technischen Produktspezifikationen enthalten und somit für jeden Anwender frei zugänglich sein. Die derzeitigen Europäischen Technischen Produktspezifikationen von Befestigungsmitteln enthalten zwar Verschiebungswerte unter Zug- und Querlast, es handelt sich dabei allerdings um Maximalwerte. Sie sollen dem Anwender ermöglichen abzuschätzen, welchen Einfluss Verschiebungen auf die angreifenden Lasten bei steifen und statisch unbestimmten Bauteilen haben. Setzt man diese aber für die Bestimmung der Zugkräfte in den Befestigungsmitteln an, dann ist das Ergebnis zu günstig, da größere Verschiebungen der Befestigungsmittel zu kleineren rechnerischen Kräften in den Befestigungsmitteln führen. Deshalb werden für die Bemessung der Ankerplatte minimale Verschiebungen benötigt.

Bei wirklichkeitsnahen Annahmen für die Steifigkeiten der Befestigungsmittel und die elastisch-plastische Bettung der Ankerplatte auf dem Beton lassen sich die Zugkräfte in den Befestigungsmitteln einer Gruppe mit ausreichender Genauigkeit mithilfe nichtlinearer Finite-Elemente-Berechnungen ermitteln. Wird die Befestigung allerdings mit weicher Ankerplatte ausgeführt, dann sind die Kräfte in den Befestigungsmitteln und die Dehnungen unterhalb der Ankerplatte nicht mehr in jedem Fall linear verteilt. Damit verlieren die in Abschnitt 6 angegebenen Bemessungsgleichungen für Kopfbolzen und mechanische bzw. chemische Dübel ihre Gültigkeit, da sie nach EN 1992-4, Abschnitt 7.1(5) eine Berechnung der Kräfte in den Befestigungsmitteln nach Elastizitätstheorie und damit eine lineare Verteilung der Zugkräfte in den Befestigungsmitteln nach Bild 8 voraussetzen.

Die Aufgabe, an der Ankerplatte angreifende Normalkräfte und Biegemomente in Zuglasten der Befestigungsmittel umzusetzen, kann den bemessenden Ingenieur – sofern er kein Bemessungsprogramm zur Verfügung hat – vor große Probleme stellen. Bemessungsprogramme ermitteln die Zuglasten iterativ, d. h., bei einachsiger Biegung mit Normalkraft werden die Höhe der Druckzone unter der Ankerplatte und die Randdehnung so lange variiert, bis die Summen der Normalkräfte ( $\Sigma N$ ) und der Biegemomente ( $\Sigma M_x$ ) gleich null sind. Bei schiefer Biegung mit oder ohne Normalkraft muss zusätzlich der Winkel der Nulllinie variiert werden, bis sich auch für die Summe der Momente in der zweiten Richtung ( $\Sigma M_y$ ) null ergibt. Es ist leicht einsehbar, dass solche Iterationen unmöglich von Hand durchgeführt werden können. Für den häufig auftretenden Anwendungsfall einer Gruppe mit zwei bzw. vier Dübeln unter Zugkraft und einachsiger Biegung und üblichem Plattenüberstand  $\bar{u}_b \leq 2 \cdot d_f$  lassen sich die Kräfte in den Befestigungsmitteln bei Vorliegen einer ausreichend steifen Ankerplatte näherungsweise bestimmen, wenn für den Hebelarm der inneren Kräfte unterhalb der Ankerplatte der Achsabstand der Befestigungsmittel angesetzt wird. Dieser Ansatz führt in der Regel zu leicht konservativen Ergebnissen, weil er davon ausgeht, dass die Resultierende der Druckspannungen unterhalb der Ankerplatte in Höhe der Achse eines Befestigungsmittels oder eines Paares von Befestigungsmitteln liegt. In Wirklichkeit liegt die Resultierende aber zwischen Befestigungselement und Plattenrand, wodurch sich ein leicht größerer Hebelarm der inneren Kräfte ergibt.

## 5.2.2 Querlasten

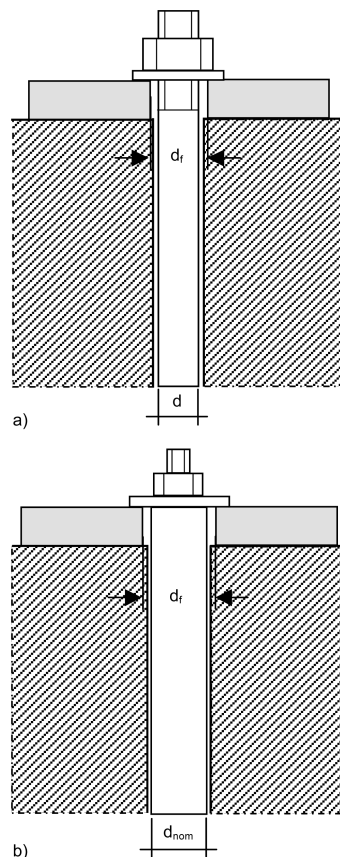
### 5.2.2.1 Verteilung der Querlasten

#### a) Befestigungen mit Lochspiel

Grundsätzlich nehmen Dübel und Kopfbolzen nur Querlasten auf, wenn der Durchmesser des Lochs in

der Ankerplatte bzw. im Anbauteil nicht größer ist als der Durchmesser  $d_f$  nach Tabelle 3. Zur Definition von  $d_f$  siehe Bild 9.

Ist der Lochdurchmesser  $d_f$  größer als in Tabelle 3 gefordert, dann geht EN 1992-4 davon aus, dass nicht alle Befestigungsmittel einer Gruppe Querlasten aufnehmen. Dies hat folgenden Grund: Bei „normalem“ Lochspiel nimmt man an, dass sich die Dübel oder Kopfbolzen auch bei unterschiedlicher Positionierung innerhalb des jeweiligen Lochs (z. B. mit oder ohne Kontakt zum Anbauteil) im Bruchzustand so stark verformen, dass sie sich alle gleichmäßig an der Lastaufnahme beteiligen. Diese Verformungsmöglichkeit wird in EN 1992-4 indirekt gewährleistet, indem die Nennstahzugfestigkeit für



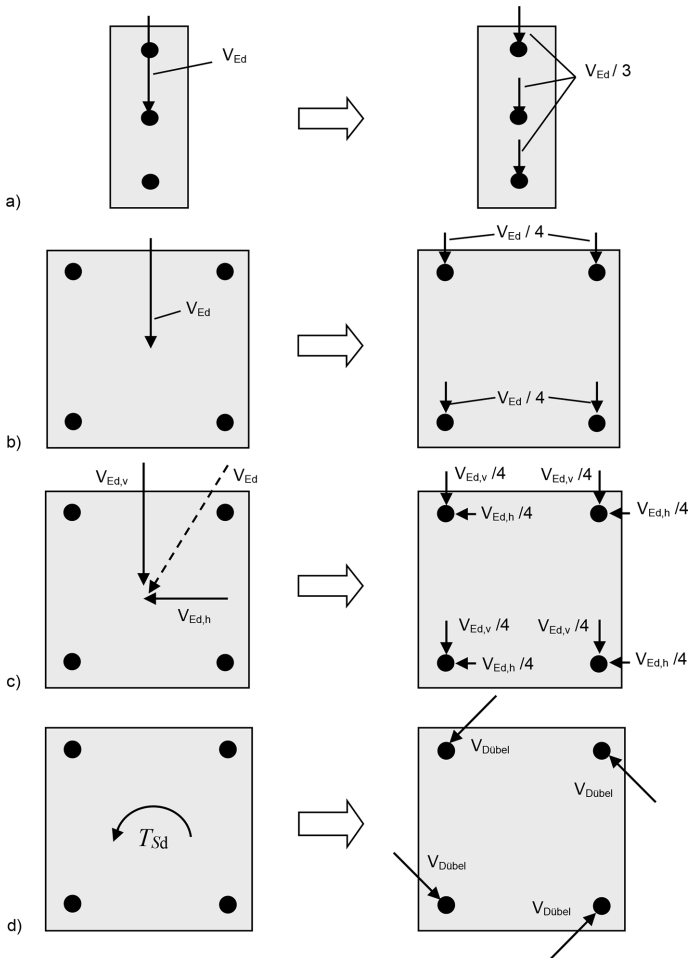
**Bild 9.** Definition des Durchgangslochs  $d_f$  bei Befestigungen mit Lochspiel: a) Bolzen stützt sich gegen das Anbauteil ab (Bolzenanker), b) Hülse stützt sich gegen das Anbauteil ab (Hülsenanker)

**Tabelle 3.** Durchmesser des Durchgangslochs  $d_f$  im Anbauteil [mm]

|                                                                 |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                            |
|-----------------------------------------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------------------|
| Außendurchmesser $d$ <sup>1)</sup> oder $d_{nom}$ <sup>2)</sup> | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | > 30                       |
| Durchmesser $d_f$ des Lochs im Anbauteil                        | 7 | 9 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 30 | 33 | $d + 3$ oder $d_{nom} + 3$ |

<sup>1)</sup> Bolzen stützt sich gegen das Anbauteil ab (Bild 9a)

<sup>2)</sup> Hülse stützt sich gegen das Anbauteil ab (Bild 9b)



**Bild 10.** Verteilung der Querlast, wenn alle Befestigungsmittel einer Gruppe Querlasten aufnehmen (Versagensarten: Stahlversagen und rückwärtiger Betonausbruch); a) Gruppe mit drei Befestigungsmitteln, belastet durch eine Querkraft, b) Gruppe mit vier Befestigungsmitteln, belastet durch eine Querkraft, c) Gruppe mit vier Befestigungsmitteln, belastet durch eine geneigte Querkraft, d) Gruppe mit vier Befestigungsmitteln, belastet durch ein Torsionsmoment



Befestigungsmittel auf  $f_{ak} \leq 1000 \text{ N/mm}^2$  begrenzt wird. Beispiele für eine Verteilung der Querkraft auf alle Dübel oder Kopfbolzen einer Gruppe zeigt Bild 10. Sind die Löcher im Anbauteil allerdings zu groß, dann reicht die Verformungsfähigkeit der Befestigungsmittel möglicherweise nicht aus, um das große Lochspiel zu überbrücken, bevor einzelne Dübel oder Kopfbolzen versagen. In diesem Fall nehmen nicht alle Befestigungsmittel im Bruchzustand Querlasten auf und es kann zu einem frühzeitigen Versagen einzelner Dübel oder Kopfbolzen kommen. Dieser Fall wird jedoch in EN 1992-4 nicht berücksichtigt.

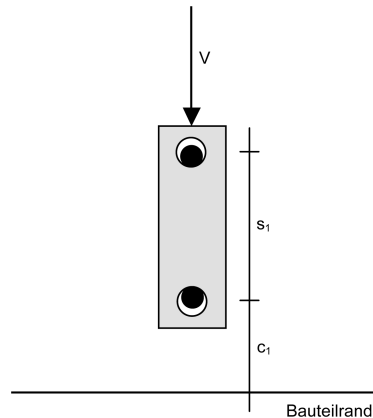
Die Verteilung von einwirkenden Querlasten auf die einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppe hängt vom Randabstand und von der Versagensart ab. Ist der Abstand einer Befestigung zum Bauteilrand sehr groß, dann tritt in ausreichend dicken Bauteilen bei Einzelbefestigungen und Gruppen mit großen Achsabständen in der Regel Stahlversagen auf und man kann davon ausgehen, dass alle Befestigungsmittel einer Gruppe Querlasten aufnehmen. Dasselbe gilt für den Nachweis von Stahlversagen und rückwärtigem Betonausbruch bzw. für Befestigungen, die durch eine randparallele Querkraft oder ein Torsionsmoment beansprucht werden. In diesen Fällen sind die Verformungen der Befestigungsmittel so groß, dass sich im Bruchzustand alle Dübel oder Kopfbolzen an der Querkraftaufnahme beteiligen.

Nehmen alle Befestigungsmittel einer Gruppe Querlasten auf und wirken keine Torsionsmomente, dann errechnen sich die auf die einzelnen Befestigungsmittel wirkenden Querlasten durch Division der einwirkenden Querkraft durch die Anzahl der Dübel der Gruppe (Bilder 10a bis 10c). Bei Torsion (Bild 10d) erhält man die Querkraft aus dem Torsionsmoment, dem polaren Trägheitsmoment und dem Abstand des jeweiligen Befestigungselements zum Schwerpunkt aller Befestigungsmittel.

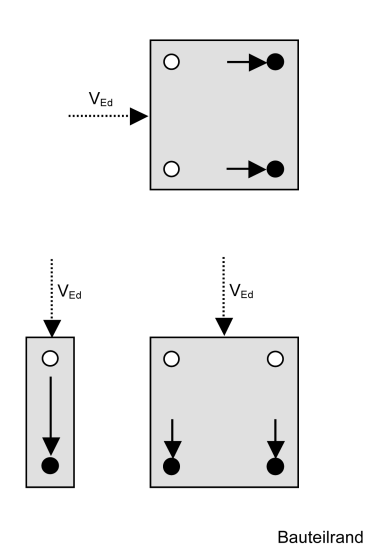
Bei Befestigungen am Bauteilrand mit einem Randabstand  $c_1 < \max\{10 \cdot h_{ef}; 60 \cdot d_{nom}\}$  und Belastung durch eine Querkraft senkrecht zum Rand kann Betonkantenbruch auftreten. Bei dieser Versagensart sind die Verschiebungen im Bruchzustand relativ gering (insbesondere bei kleinem Randabstand), da der Betonrand spröde versagt. Deshalb ist nicht sicher, ob die Verformungen der Befestigungsmittel ausreichend groß sind, um bei vorhandenem Lochspiel selbst bei Einhaltung des Durchmessers  $d_f$  nach Tabelle 3 eine Lastumlagerung auf alle Dübel zu gewährleisten, bevor Betonkantenbruch auftritt. Daher geht man davon aus, dass nur die randnahen Dübel Querlasten aufnehmen. Das entspricht dem ungünstigsten Fall, dass die randnahen Dübel nach dem Setzen Kontakt mit dem Anbauteil haben und die randfernen Dübel nicht. Bild 11 zeigt einen solchen Fall am Beispiel einer Gruppe mit zwei

Dübeln. Beispiele für die Verteilung der Querkraft beim Nachweis für Betonkantenbruch sind in Bild 12 dargestellt.

Wirkt die Querkraft parallel zum Bauteilrand, dann kann ebenfalls Betonkantenbruch auftreten. Der



**Bild 11.** Ungünstige Positionierung der Befestigungselemente in den Löchern im Anbauteil bei Querkraft zum Bauteilrand



**Bild 12.** Verteilung der Querlasten, wenn nur die ungünstigen randnahen Dübel einer Gruppe Querlasten aufnehmen (Versagensart: Betonkantenbruch)

Widerstand gegen Betonkantenbruch ist aber um den Faktor 2 größer als bei Belastung senkrecht zum Bauteilrand. Entsprechend nehmen auch die Verschiebungen der Befestigungsmittel im Bruchzustand zu. Daher darf eine randparallele Querlast auch bei Befestigungen mit Lochspiel ( $d_f$  nach Tabelle 3) auf alle Dübel verteilt werden. Beispiele zeigt Bild 13. In Bild 13a ist eine Gruppe mit zwei Befestigungsmitteln dargestellt, die durch eine randparallele zentrische Querkraft belastet ist, die zu gleichen Teilen auf beide Befestigungsmittel aufgeteilt wird. In Bild 13b wird eine randnahe Vierergruppe durch eine gegenüber dem Bauteilrand geneigte Querkraft belastet. Der randparallele Anteil der Querkraft wird auf alle Befestigungsmittel der Gruppe verteilt, während der Anteil senkrecht zum Rand allein den randnahen Befestigungen zugewiesen wird.

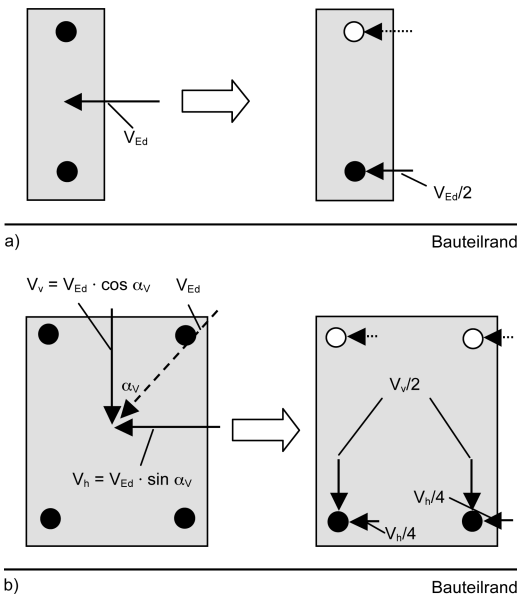
Bei Befestigungen, die durch ein Torsionsmoment beansprucht werden, nehmen auch in randnahen Gruppen alle Befestigungselemente Querlasten auf. Bild 14a zeigt das am Beispiel einer durch ein Torsionsmoment beanspruchten Gruppe mit vier Dübeln oder Kopfbolzen. In Bild 14b wirkt zusätzlich noch eine Querkraft in Richtung des Bauteilrands.

Bei reiner Torsionsbeanspruchung (Bild 14a) errechnen sich die auf die einzelnen Befestigungsmittel der Gruppe einwirkenden horizontalen und vertikalen Komponenten der Querlasten aus dem Torsionsmoment, dem polaren Trägheitsmoment und

dem Abstand des jeweiligen Befestigungselements zum Schwerpunkt aller Befestigungsmittel. Diese werden für alle Dübel oder Kopfbolzen der Gruppe angesetzt.

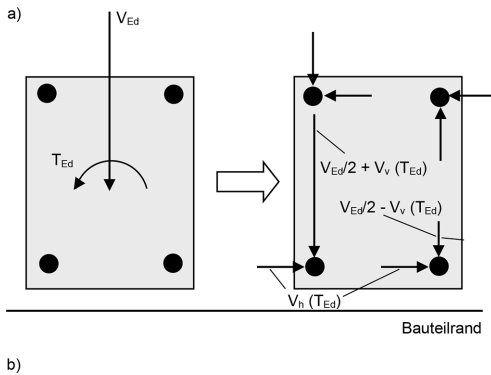
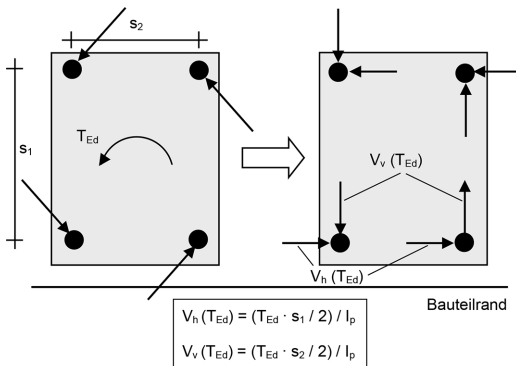
Wirkt zusätzlich zum Torsionsmoment eine Querlast in Richtung des Bauteilrands (Bild 14b), dann sind für deren Verteilung die Bilder 12 und 13 zu beachten. Danach wird die Querlast in Richtung des Bauteilrands allein von den beiden randnahen Befestigungsmitteln aufgenommen, während sich die Querlasten aus Torsion auf alle Dübel oder Kopfbolzen der Gruppe verteilen.

Querlasten, die vom Bauteilrand weg gerichtet sind, beeinflussen den Betonkantenbruch nicht und können deshalb für den Nachweis vernachlässigt werden. Dies wurde durch Versuche belegt [40]. Lediglich in Sonderfällen (kleines Verhältnis zwischen Achs- und Randabstand und hohes Verhältnis zwischen dem charakteristischen Widerstand für rückwärtigen Betonausbruch und Betonkantenbruch) kann der Widerstand gegen Betonkantenbruch auch durch eine vom Rand weg gerichtete Querlast ungünstig beeinflusst werden [41]. Diese Sonderfälle treten allerdings in der Praxis nicht häufig auf. Deshalb vernachlässigt EN 1992-4 beim Nachweis für Betonkantenbruch Querlastkomponenten, die vom Bauteilrand weg gerichtet sind (Bild 15). Die einwirkende Querlast  $V_{Ed}$  wird in ihre senkrecht ( $V_{Ed,v}$ ) und parallel ( $V_{Ed,h}$ ) zum Rand wirkenden Komponenten zerlegt. Die vertikale, vom Rand weg gerichtete Komponente bleibt unberücksichtigt und



**Bild 13.** Verteilung der Querlast, wenn nur die ungünstigen Befestigungsmittel einer Gruppe Lasten aufnehmen (Versagensart: Betonkantenbruch); a) Gruppe mit zwei Befestigungsmitteln, belastet durch eine randparallele Querlast, b) Gruppe mit vier Befestigungsmitteln, belastet durch eine gegenüber dem Bauteilrand geneigte Querlast





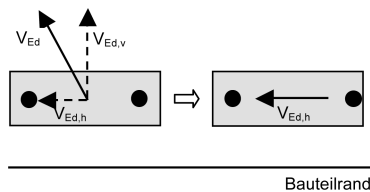
**Bild 14.** Gruppe mit vier Befestigungsmitteln am Bauteilrand; a) Belastung durch ein Torsionsmoment, b) Belastung durch ein Torsionsmoment und eine Querkraft in Richtung des Bauteilrands

der Nachweis für Betonkantenbruch wird allein für den horizontalen Anteil  $V_{Ed,h}$  geführt.

#### b) Befestigungen ohne Lochspiel

Werden die Kopfbolzen entweder in das Anbauteil eingeschraubt oder an das Anbauteil angeschweißt oder wird der Ringspalt zwischen Befestigungsmittel und Anbauteil mit Mörtel ausreichender Festigkeit ( $\geq 40 \text{ N/mm}^2$ ) verfüllt oder durch andere geeignete Maßnahmen eliminiert, dann geht man von Anwendungen ohne Lochspiel aus.

Die Annahme, dass bei Befestigungen für den Nachweis des Betonkantenbruchs nur die ungünstigen randnahen Befestigungsmittel in Ansatz gebracht werden (Bild 12), kann konservativ sein. Ist z. B. bei einer Vierergruppe der Abstand zwischen den vorderen und hinteren Befestigungsmitteln groß ( $s_1 > c_1$ ), dann wird zunächst ein von den randnahen Dübeln oder Kopfbolzen ausgehender Riss entstehen, der allerdings noch nicht zum Versagen der gesamten Gruppe führt [42]. Wertet man diesen Riss trotzdem als Bruchriss, dann unterschätzt man in der Regel den Widerstand für Betonkantenbruch,



**Bild 15.** Verteilung der Querlast beim Nachweis für Betonkantenbruch bei einer vom Rand weg gerichteten geeigneten Querkraft

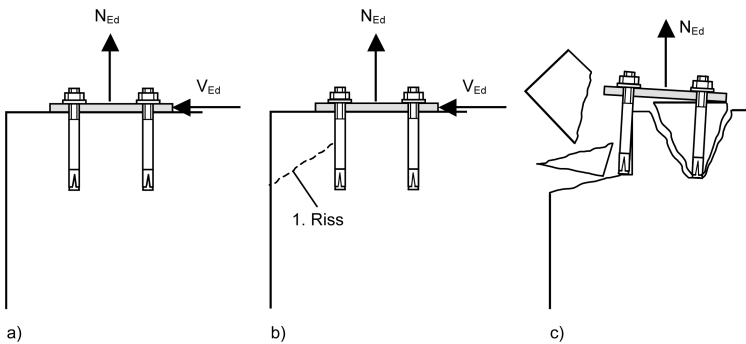
erreicht aber den größtmöglichen Widerstand der Gruppe für Stahlversagen und rückwärtigen Betonausbruch. Erst wenn sich mit zunehmender Querkraft ein von den randfernen Dübeln ausgehender Riss bildet, versagt die Gruppe. Der Ansatz der randfernen Befestigungsmittel kann somit zu einer deutlichen Zunahme des Widerstands für Betonkantenbruch führen. Da aber die randnahen Befestigungsmittel aufgrund des Risses keinen wesentlichen Anteil der Querlast aufnehmen können, sollten

für den Widerstand der Gruppe bei Stahlversagen und rückwärtigem Betonausbruch nicht alle Dübel der Gruppe, sondern nur die beiden randfernen Befestigungsmittel in Ansatz gebracht werden. Detaillierte Angaben hierzu enthält [42].

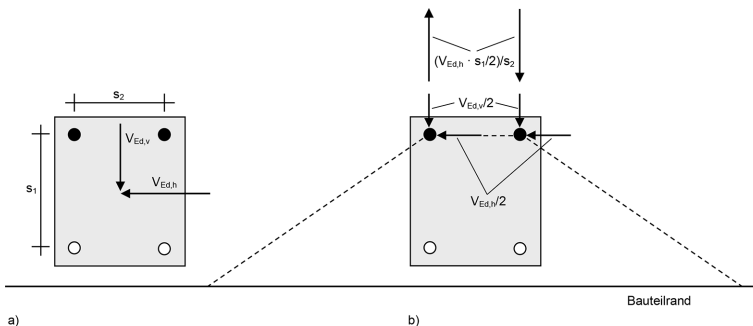
Wirkt gleichzeitig eine Zugkraft auf die Ankerplatte oder das Anbauteil, dann kann die Entstehung des Risses an den randnahen Dübeln bereits zum Versagen führen, sofern keine geeignete Randbewehrung vorhanden ist, die die Rissbreite klein hält oder wenn Befestigungsmittel verwendet werden, die nicht für Anwendungen in Rissen geeignet sind [42]. In beiden Fällen kann der randnahe Riss zum Zugversagen der randnahen Dübel führen. Die randfernen Dübel sind dann in der Regel nicht mehr in der Lage, die auf die Gruppe wirkende Zuglast aufzunehmen (Bild 16). Bislang gibt es keine Regeln für die erforderliche Randbewehrung zur Be-

grenzung der Breite des randnahen Risses. Insbesondere fehlen Angaben über Querschnitt, Richtung und Verankerung dieser Bewehrung. Bisher sind hierzu keine Versuchsergebnisse veröffentlicht. Es besteht weiterer Forschungsbedarf. Solange die offenen Fragen nicht beantwortet sind, sollte der Ansatz der randfernen Dübel beim Nachweis für Betonkantenbruch nur nach detaillierter ingenieurmäßiger Betrachtung empfohlen werden.

Weiterhin ist bei Ansatz der randfernen Dübel oder Kopfbolzen für den Nachweis des Betonkantenbruchs zu beachten, dass eine Verschiebung einer gleichzeitig wirkenden randparallelen Querkraft in die Achse dieser Befestigungsmittel zu einem Torsionsmoment führt [42]. Wird dieses Torsionsmoment nicht durch die Gesamtkonstruktion aufgenommen, dann erzeugt es ein Querkraftpaar in den randfernen Befestigungsmitteln, deren Größe vom



**Bild 16.** Beispiel für einen möglichen Versagensmechanismus einer randnahen Befestigungsgruppe unter Zug- und Querkraft, wenn beim Nachweis für Betonkantenbruch die hinteren Befestigungsmittel angesetzt werden [42]  
a) Gruppe mit zwei Befestigungsmitteln, belastet durch eine Zug- und Querkraft, b) Riss am randnahen Befestigungsmittel infolge der Querkraft, c) Zugversagen des randnahen Befestigungsmittels



**Bild 17.** Vierergruppe am Bauteilrand, Einfluss einer randparallelen Querkraft auf die randfernen Befestigungsmittel beim Nachweis für Betonkantenbruch; a) Belastung, b) auf die randfernen Befestigungsmittel einwirkende Querkraften

Verhältnis der Achsabstände senkrecht und parallel zum Rand abhängt. Bild 17 verdeutlicht das am Beispiel einer randnahen Gruppe mit vier Befestigungsmitteln. Bei Gruppen mit zwei Befestigungsmitteln, die senkrecht zum Bauteilrand angeordnet sind, führt ein Bruch des randnahen Dübels automatisch zum Versagen der gesamten Gruppe, da das Torsionsmoment infolge der randparallelen Querkraft nicht abgetragen werden kann [42].

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass der Ansatz der randfernen Befestigungsmittel beim Nachweis für Betonkantenbruch problematisch werden kann. Weiterhin ist zu beachten, dass selbst wenn durch das Versagen der randnahen Befestigungsmittel die Tragfähigkeit der Gruppe nicht erreicht ist, der entstandene Riss die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigt. Dies gilt nicht nur für die Befestigung, sondern auch für das als Verankerungsgrund dienende Bauteil. Deshalb werden nach EN 1992-4 auch bei Befestigungen ohne Lochspiel nur die ungünstigen randnahen Befestigungsmittel angesetzt. Diese Vorgehensweise kann jedoch in einzelnen Fällen zu konservativen Befestigungslösungen führen.

### 5.2.2.2 Querlasten ohne und mit Hebelarm

Bei den bisherigen Überlegungen wurde davon ausgegangen, dass die Ankerplatte oder das Anbauteil direkt oder mit einer dünnen Mörtelausgleichsschicht auf der Betonoberfläche aufliegt. Befindet sich zwischen Beton und Ankerplatte eine dickere Mörtelausgleichsschicht (Bild 18) oder wird die Befestigung als Abstandsmontage ausgeführt (Bild 6d), dann wird das Befestigungsmittel zusätzlich auf Biegung beansprucht. Dies ist beim Stahl-nachweis zu berücksichtigen. Gemäß EN 1992-4 darf auf diesen Biegnachweis nur verzichtet werden, wenn beide nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das Anbauteil berührt das Befestigungsmittel über eine Länge, die mindestens der halben Ankerplattendicke entspricht (Bild 19).
- Das Anbauteil besteht aus Metall und liegt unmittelbar oder mit einer Mörtelausgleichsschicht der Dicke  $t_{\text{Mörtel}} \leq d/2$  und mit einer Druckfestigkeit  $\geq 30 \text{ N/mm}^2$  vollflächig auf der rauen Betonoberfläche ( $d$  = Durchmesser des Befestigungsmittels oder des Gewindes, Rauigkeit nach EN 1992-1-1:2004, Abschnitt 6.2.5 [27]).

Die Dicke der Mörtelausgleichsschicht wird auf  $t_{\text{Mörtel}} \leq d/2$  begrenzt, da eine dicke Mörtelschicht ähnliche Auswirkungen haben kann wie ein Bauteilrand. Die Querkraft führt im Bereich der Befestigungsmittel zu hohen Druckspannungen im Mörtel. Dadurch kann es zum Abspalten des gesamten Mörtelrands kommen (Bild 20).

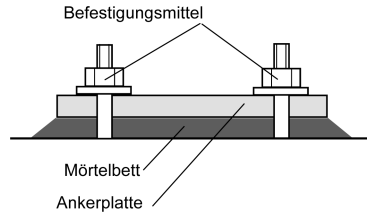


Bild 18. Ankerplatte mit Mörtelausgleichsschicht

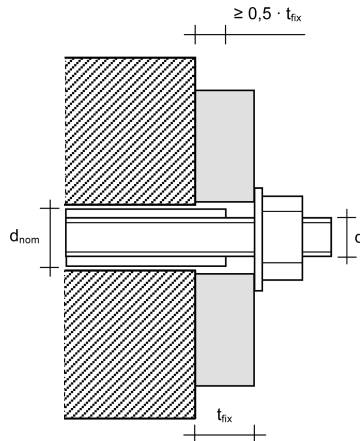


Bild 19. Erforderliche Auflagefläche des Befestigungsmittels bei Querbeanspruchung

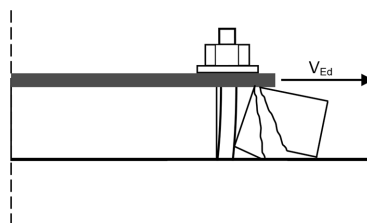


Bild 20. Abspalten des Randes einer dicken Mörtelausgleichsschicht unter Querlast

Für Dicken der Mörtelausgleichsschicht  $d/2 \leq t_{\text{Mörtel}} \leq 40 \text{ mm}$  und  $\leq 5 \cdot d$  liegen keine Untersuchungen mit Befestigungen im gerissenen Beton und damit auch gerissenen Mörtelbett vor. Daher darf nach EN 1992-4, 6.2.2.3(2) bei Gruppen mit mindestens zwei Befestigungsmitteln in Richtung der einwirkenden Querlast lediglich bei Anwendun-

gen im ungerissenen Beton auf eine Biegebemessung der Befestigungsmittel verzichtet werden, wenn nur die o. g. Bedingung b) nicht erfüllt ist, die Dicke der Mörtelschicht  $\leq 40$  mm und  $\leq 5 \cdot d$  (Befestigungsmittel ohne Hülse) bzw.  $\leq 5 \cdot d_{\text{nom}}$  (Befestigungsmittel mit Hülse) ist und der charakteristische Widerstand  $V_{Rk,s}$  nach Abschnitt 6.3.3.1, Gl. (24) abgemindert wird. Außerdem dürfen keine Biegemomente oder Zugkräfte einwirken und der Achsabstand in Richtung der Querkraft muss mindestens  $s \geq 10 \cdot d$  betragen (bei Querkraften in zwei Richtungen muss die letztgenannte Bedingung für beide Richtungen erfüllt sein). Ferner muss die Druckfestigkeit des Mörtels  $\geq 30$  N/mm<sup>2</sup> betragen und der Mörtel unter der gesamten Fläche des Anbauteils bzw. der Ankerplatte vorhanden sein.

Sind die genannten Bedingungen für den Verzicht auf einen Biegenachweis nicht erfüllt, dann muss das Befestigungsmittel auf Biegung nachgewiesen werden. Der anzusetzende Hebelarm beträgt (Bild 21):

$$l_a = a_3 + e_1 \quad (6)$$

mit

$$a_3 = 0,5 \cdot d_{\text{nom}} \text{ (s. Bild 21a)}$$

= 0, wenn das Befestigungsmittel mit Mutter und Unterlegscheibe direkt gegen die Betonoberfläche verspannt ist (Bild 21b)

$d_{\text{nom}}$  Durchmesser des Bolzens oder Gewindedurchmesser

$e_1$  Abstand zwischen Querlast und Betonoberfläche

Durch den Wert  $a_3$  wird berücksichtigt, dass beim Erstellen des Bohrlochs auf der Betonoberfläche Abplatzungen entstehen, die den Hebelarm der Querlast vergrößern. Diese Abplatzungen sind ohne Bedeutung, wenn das Befestigungsmittel mit einer Mutter und Unterlegscheibe gegen die Betonoberfläche verspannt wird oder wenn sie durch Aufbringen einer Mörtelausgleichsschicht verfüllt werden. Wird bei einbetonierten Kopfbolzen nach Bild 1a oder 1c das Anbauteil in einem Abstand zur Betonoberfläche montiert, darf  $a_3 = 0$  angenommen werden, weil die o. g. Abplatzungen nicht auftreten.

Das Bemessungsmoment beträgt:

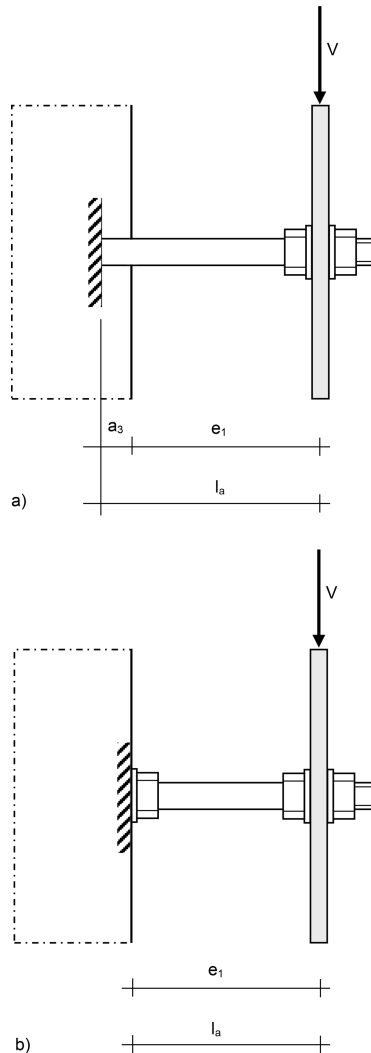
$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{l_a}{\alpha_M} \quad (7)$$

mit

$V_{Ed}$  einwirkende Querlast

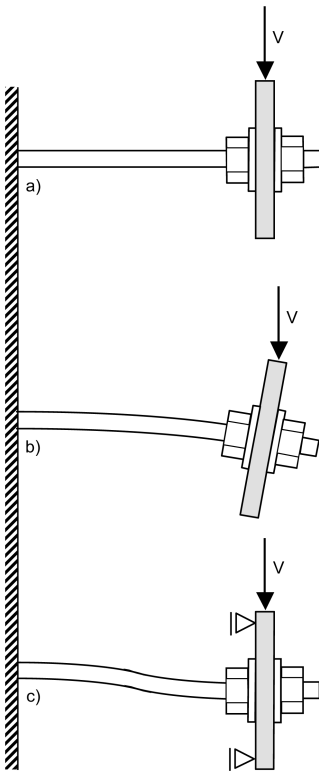
$l_a$  Hebelarm nach Bild 21

$\alpha_M$  Faktor zur Berücksichtigung des Einspanngrads des Befestigungsmittels im Anbauteil



**Bild 21.** Definition des Hebelarms beim Biegenachweis des Befestigungsmittels; a) ohne Verspannung des Dübels auf der Betonoberfläche, b) mit Verspannung des Dübels auf der Betonoberfläche

Durch den Faktor  $\alpha_M$  wird eine mögliche Einspannung des Befestigungsmittels im Anbauteil berücksichtigt (Bild 22). Die Höhe des Einspanngrads ist vom bemessenden Ingenieur zu beurteilen. Kann sich das Anbauteil frei drehen, dann beträgt  $\alpha_M = 1,0$  (Bild 22b). Volle Einspannung ( $\alpha_M = 2,0$ ) darf



**Bild 22.** Befestigungsmittel ohne und mit Einspannung im Anbauteil (nach [35])

nur angenommen werden, wenn das Befestigungsmittel durch Mutter und Unterlegscheibe mit dem Anbauteil verspannt ist und sich nicht drehen kann (Bild 22c). Liegt die Unterlegscheibe flächig auf einer Ankerplatte auf, dann können sich Mutter und Unterlegscheibe ebenfalls nicht verdrehen und es darf  $\alpha_M = 2,0$  angenommen werden. Grundsätzlich ist zu beachten, dass das Anbauteil auch in der Lage sein muss, das ihm zugewiesene Einspannmoment aufzunehmen. Im Zweifelsfall wird empfohlen,  $\alpha_M = 1,0$  anzunehmen.

## 5.3 Ankerschienen

### 5.3.1 Zuglasten

Die Lasteinleitung bei Ankerschienen unterscheidet sich von der Einleitung bei Befestigungen mit Dübeln oder Kopfbolzen, da die Steifigkeit einer Schiene generell geringer ist als die eines steifen Anbauteils. Die Verteilung der auf die Schiene ein-

wirkenden Zuglasten auf die Anker kann mithilfe eines Balkens mit elastischen Stützen und teilweiser Einspannung der über die Anker überstehenden Schienenenden berechnet werden. Die Steifigkeit der elastischen Stützen entspricht der Verschiebung des Ankers einschließlich der Verformung der Schienenlippen und des Betons. Die berechneten Ankerkräfte hängen wesentlich von der angesetzten Ankersteifigkeit und dem angenommenen Einspanngrad der Ankerschiene ab.

Das der EN 1992-4 zugrunde liegende Verfahren zur Ableitung der Ankerkräfte beruht im Wesentlichen auf der Auswertung von Versuchsergebnissen mit Ankerschienen von *Kraus* [44], die vor ca. 20 Jahren vermarktet wurden und relativ steife Schienenprofile und Verbindungen zwischen Ankerschiene und Anker aufweisen. Diese Produkte sind auch heute noch verfügbar. Die Innovation hat jedoch auch bei der Entwicklung von Ankerschienen nicht Halt gemacht. Daher werden inzwischen Ankerschienen mit Profilen vermarktet, bei denen Schienenprofil und Anschluss des Ankers an die Schiene vergleichsweise weniger steif sind. Dies wirkt sich insbesondere bei Schienenstücken mit lediglich zwei Ankern aus. Bei Ankerschienen mit mehr als zwei Ankern kann das in EN 1992-4 angegebene Verfahren für alle aktuellen Schienenprofile als ausreichend genau betrachtet werden. Bei Ankerschienen mit zwei Ankern sollten die auf die beiden Anker wirkenden Lasten vereinfachend und konservativ unter der Annahme eines Balkens auf zwei Stützen berechnet werden, wobei die Spannweite dem Achsabstand der beiden Anker entspricht.

Die Ermittlung der Ankerkräfte von Ankerschienen mit mehr als zwei Ankern beruht auf einem Vorschlag von *Kraus* [44]. Demnach kann die Verteilung der Ankerkräfte über ein Dreieck mit Spitze an der aufgebrachten Last und einer Einflusslänge  $l_i$  bestimmt werden. Die Einflusslänge ist abhängig vom Ankerabstand und dem Trägheitsmoment der Schiene und beträgt:

$$l_i = 13 \cdot I_y^{0,05} \cdot s^{0,5} \geq s \quad (8)$$

mit

$I_y$  Trägheitsmoment der Ankerschiene [ $\text{mm}^4$ ]  
(s. Europäische Technische Produktspezifikation)

$s$  Achsabstand der Anker

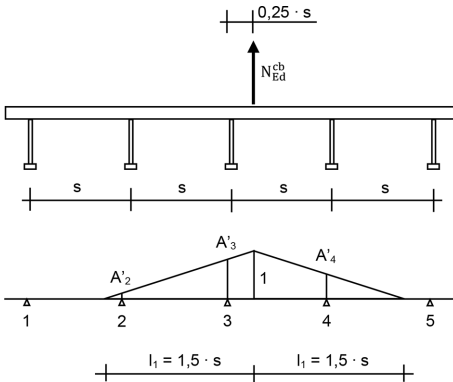
Je größer das Trägheitsmoment der Ankerschiene ist, desto wirkungsvoller wird eine einwirkende Zuglast  $N_{Ed}$  auf benachbarte Anker verteilt.

Für eine beliebige Lage der Last  $N_{Ed}$  können die auf den Anker  $i$  einwirkenden Kräfte nach Gl. (9) berechnet werden (Bild 23 zeigt ein Beispiel):

$$N_{Ed,i}^a = k \cdot A_i' \cdot N_{Ed}^{cb} \quad (9)$$

mit

$A_i'$  Ordinate eines Dreiecks an der Stelle des betrachteten Ankers  $i$  mit der Einheitshöhe an der Stelle der Last  $N_{Ed}$  und der Grundlänge  $2 \cdot l_i$



$$A'_2 = (l - 1,25 \cdot s) / l = 1/6$$

$$A'_3 = (l - 0,25 \cdot s) / l = 5/6$$

$$A'_4 = (l - 0,75 \cdot s) / l = 1/2$$

$$k = 1 / (A'_2 + A'_3 + A'_4) = 2/3$$

$$N_{Ed,1}^a = N_{Ed,5}^a = 0$$

$$N_{Ed,2}^a = 2/3 \cdot 1/6 \cdot N_{Ed}^{cb} = 1/9 \cdot N_{Ed}^{cb}$$

$$N_{Ed,3}^a = 2/3 \cdot 5/6 \cdot N_{Ed}^{cb} = 5/9 \cdot N_{Ed}^{cb}$$

$$N_{Ed,4}^a = 2/3 \cdot 1/2 \cdot N_{Ed}^{cb} = 1/3 \cdot N_{Ed}^{cb}$$

**Bild 23.** Beispiel für die Berechnung der Ankerkräfte für eine Ankerschiene mit 5 Ankern (die Einflusslänge wurde zu  $l_i = 1,5 \cdot s$  und die Exzentrizität zu  $e = 0,25 \cdot s$  angenommen) [44]

$$k = \frac{1}{\sum_i^n A_i'} \quad (9a)$$

$N_{Ed}^{cb}$  über eine Spezialschraube in die Ankerschiene eingeleitete einwirkende Zugkraft

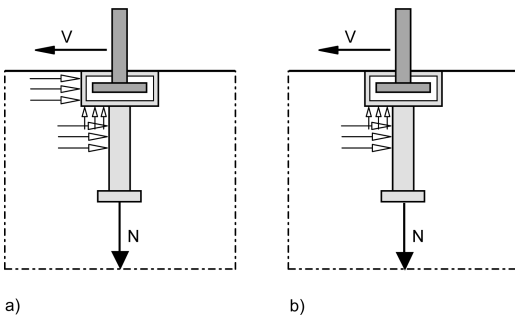
$n$  Anzahl der Anker innerhalb der Einflusslänge  $l_i$  beidseitig der einwirkenden Last  $N_{Ed}^{cb}$

Wird eine Ankerschiene durch mehrere Zuglasten  $N_{Ed}^{cb}$  beansprucht, dann dürfen die Ankerkräfte nach Gl. (9) linear überlagert werden. Ist die genaue Lage der einwirkenden Zugkraft nicht bekannt, dann ist je nach Versagensart von der ungünstigsten Lage auszugehen. Bei Stahlbruch und Herausziehen ist die Zugkraft über dem Anker anzunehmen, und bei Biegeversagen der Schiene zwischen den Ankern. Lokales Versagen durch Aufbiegen der Schiene ist mit der unmittelbar am Einleitungspunkt einwirkenden Last nachzuweisen.

Der Bemessungswert des Biegemoments  $M_{Ed}^{cb}$  infolge der auf die Schiene einwirkenden Zuglasten  $N_{Ed}^{cb}$  darf unter Annahme eines Einfeldträgers mit einer Spannweite entsprechend dem Achsabstand der Anker berechnet werden. Dies stellt eine Vereinfachung dar, weil die teilweise Einspannung an den Schienenenden, die Durchlaufwirkung bei Ankerschienen mit mehr als 2 Ankern und die Seiltragwirkung nach dem Fließen der Schiene vernachlässigt werden. Die charakteristischen Werte für die Widerstände der Biegemomente, die in der jeweiligen Europäischen Technischen Produktspezifikation angegeben sind, berücksichtigen diese Effekte. Die Werte können größer sein als die plastischen Momente, die sich für die Abmessungen der Schiene und den Nennwert der Fließgrenze des Stahls ergeben.

### 5.3.2 Querlasten

Nach EN 1992-4 dürfen Querlasten nur senkrecht zur Schienenlängsachse aufgebracht werden. Sie werden über den Schienenkörper und die Anker in den Ankergrund eingetragenen (Bild 24a). Aus



**Bild 24.** Weiterleitung von Querlasten bei Ankerschienen über Pressungen zwischen dem in Lastrichtung liegenden Schienenschkel und dem Beton sowie über die Anker [46]; a) Querkräfte werden der Schiene und dem Anker zugewiesen, b) Querkräfte werden nur dem Anker zugewiesen

Gleichgewichtsgründen wirken in den Ankern zusätzliche Zugkräfte, die aus der Exzentrizität zwischen der angreifenden Querlast und der Resultierenden der Spannungen im Beton entstehen. Sie behindern dadurch das Ausbrechen der Schiene aus dem Beton. Diese Zugkraft wird bei der Bemessung vernachlässigt. Der Anteil der Querlast, der über die Schiene abgetragen wird, hängt von zahlreichen Parametern ab und kann in weiten Grenzen schwanken [45]. Aus Gründen der Vereinfachung – auch im Hinblick auf die Durchführung einer Interaktion zur Ermittlung des Widerstands bei kombinierten Zug- und Querkräften – werden die Querkräfte den einzelnen Ankern im Lasteinflussbereich zugewiesen (Bild 24b). Die Verteilung von Querkräften auf die einzelnen Anker einer Ankerschiene wird analog zu Abschnitt 5.3.1 ermittelt.

Spezielle Ankerschienen mit Verzahnungen oder Einkerbungen auf den Schienenlippen können auch Querkräfte in Richtung der Schienenachse aufnehmen. Sie sind im Technischen Report CEN/TR 17080 [19] geregelt (s. nachfolgenden Abschnitt 5.3.3).

### 5.3.3 Ergänzende Regelungen nach CEN/TR 17080

#### 5.3.3.1 Allgemeines

Herkömmliche Ankerschienen gemäß Bild 2 dürfen nicht durch Querkräfte in Längsrichtung (x-Richtung, s. Bild 86) der Schiene belastet werden. Für diese Lastrichtung werden spezielle Ankerschienen angeboten, deren Lippen Verzahnungen oder Einkerbungen aufweisen. Ihre Bemessung ist im Technischen Report CEN/TR 17080 [19] geregelt, der nur in Verbindung mit EN 1992-4 angewendet werden darf. Voraussetzung ist auch für diese Ankerschienen eine Europäische Technische Produktspezifikation.

Die Regelungen nach CEN/TR 17080 [19] gelten für Ankerschienen mit 2 oder 3 Ankern. Einwirkende Zug- und Querlasten werden über Spezialschrauben in die Schiene und von dort über die Anker in den Beton eingeleitet. Die Lastverteilung auf die Anker der Ankerschiene hängt von der Lastrichtung und der Lage der Schiene ab. Bei Zuglasten und quer zur Schienenlängsrichtung einwirkenden Querlasten hängt die Lastverteilung unabhängig von der Lage der Ankerschiene in Bezug auf Bauteilränder von der Steifigkeit der Schiene ab (s. Abschnitt 5.3.2). Wirkt die Querlast aber in Richtung der Schienenlängsachse, dann ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Bei randfernen Ankerschienen wird von einer gleichmäßigen Verteilung der Querlasten auf alle Anker ausgegangen.
- Bei randnahen und senkrecht zum Bauteilrand angeordneten Ankerschienen wird beim Nach-

weis für Betonkantenbruch nur der randnahe Anker angesetzt, während beim Nachweis für Stahlversagen und rückwärtigen Betonausbruch die Querlasten wie bei randfernen Ankerschienen verteilt werden.

- Bei randnahen und parallel zum Bauteilrand angeordneten Ankerschienen werden die Querlasten gleichmäßig auf alle Anker verteilt.

#### 5.3.3.2 Zuglasten

EN 1992-4, Abschnitt 6.3 gilt unverändert (s. Abschnitt 5.3.1).

#### 5.3.3.3 Querlasten

Bei randfernen Ankerschienen ( $c \geq \max\{10 \cdot h_{ef}; 60 \cdot d_a\}$ ) mit  $d_a$  = Durchmesser eines runden Ankers) wird eine gleichmäßige Verteilung einer in Schienenlängsrichtung wirkenden Querlast auf alle Anker angenommen (Gl. (10)).

$$V_{Ed,x}^a = \frac{1}{n_a} \cdot \sum V_{Ed,x}^{cb} \quad (10)$$

mit

$n_a$  Anzahl der Anker  $\leq 3$

$V_{Ed,x}^{cb}$  auf eine Spezialschraube in Schienenlängsrichtung einwirkende Bemessungsquerlast

Bei randnahen Ankerschienen ( $c < \max\{10 \cdot h_{ef}; 60 \cdot d_a\}$ ) wird unterschieden, ob die Schiene senkrecht oder parallel zum Bauteilrand angeordnet ist. Ist die Schiene senkrecht zum Bauteilrand montiert, dann wird eine in Längsrichtung der Schiene einwirkende Querlast für die Versagensarten Stahlversagen und rückwärtiger Betonausbruch nach Gl. (10) verteilt. Bei Betonkantenbruch wird nur der randnächste Anker als wirksam angenommen. Das bedeutet, dass alle über die Spezialschrauben in die Schiene eingeleiteten Querlasten auf den randnächsten Anker wirken (Bild 25b). Das gilt auch für Ankerschienen in schmalen Bauteilen (Bild 25c).

Ist eine Ankerschiene parallel zum Bauteilrand montiert, dann wird eine in Richtung der Längsachse der Schiene wirkende Querlast gleichmäßig auf alle Anker verteilt.

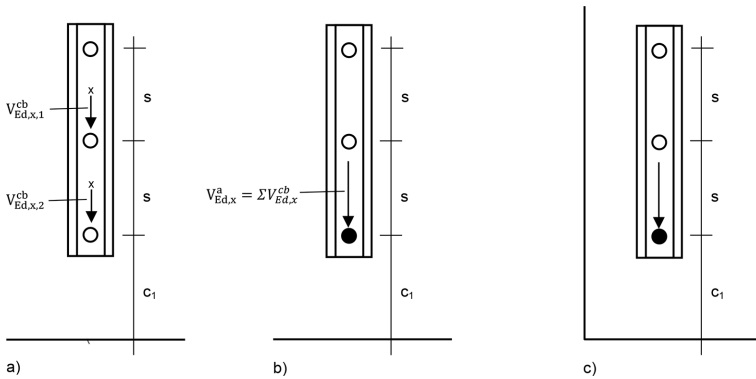
### 5.4 Kräfte in einer Zusatzbewehrung

#### 5.4.1 Allgemeines

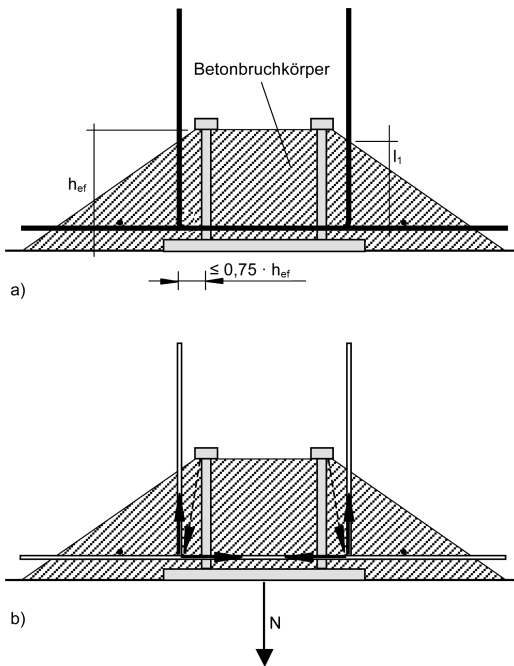
Eine Zusatzbewehrung zur Erhöhung der Traglast ist nur bei Befestigungen mit Kopfbolzen und Ankerschienen sinnvoll, da die Bewehrung gemeinsam mit den Befestigungsmitteln vor dem Betonieren eingelegt werden kann.

Die Bemessungszugkräfte in der Zusatzbewehrung sollen über ein geeignetes Fachwerkmodell abgeleitet werden. Beispiele hierzu enthalten Bild 26 für





**Bild 25.** Bestimmung der Querlast für senkrecht zum Rand montierte und senkrecht zum Rand belastete Ankerschienen; a) einwirkende Querlasten, b) maßgebende Last für die Versagensart Betonkantenbruch, c) maßgebende Last für die Versagensart Betonkantenbruch bei Anordnung der Ankerschiene in einem schmalen Bauteil

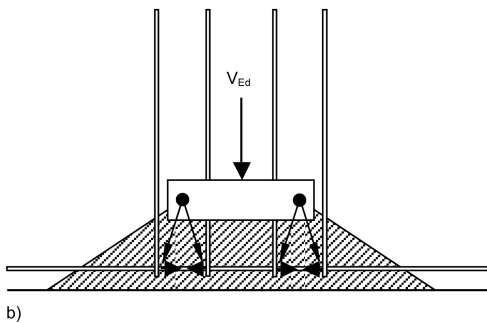
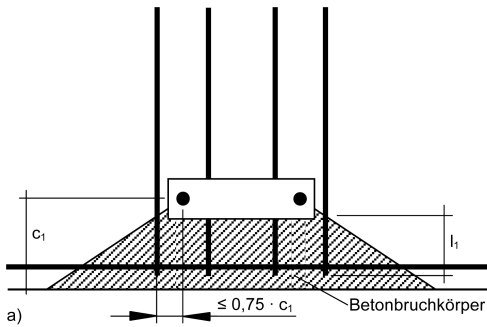


**Bild 26.** Beispiel für ein Fachwerkmodell bei einer zugbeanspruchten Gruppe mit Zusatzbewehrung; a) Kopfbolzenbefestigung mit Rückhängebewehrung, b) Fachwerkmodell

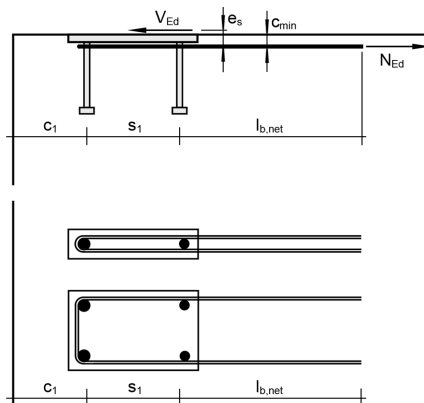
zugbeanspruchte Befestigungen und Bild 27 für querbelastete Befestigungen mit Kopfbolzen.

Bei querbelasteten Befestigungen bietet es sich an, die Zusatzbewehrung als Bügel oder Schlaufen auszubilden und so einzulegen, dass sie bei Einhaltung

der erforderlichen Betonüberdeckung die Kopfbolzen oberflächennah möglichst unmittelbar unterhalb der Ankerplatte in direktem Kontakt umschließt (Bild 28). Hierdurch wird die Tragfähigkeit der Zusatzbewehrung optimal ausgenutzt. Bei Ankerschie-



**Bild 27.** Beispiel für ein Fachwerkmodell bei einer querbeanspruchten Gruppe mit zusätzlicher Bewehrung; a) Kopfbolzenbefestigung mit Rückhängebewehrung, b) Fachwerkmodell



**Bild 28.** Beispiele für die Anordnung von schlaufenförmiger Zusatzbewehrung bei querbeanspruchten Kopfbolzenbefestigungen

nen ist diese Art der Zusatzbewehrung wenig wirksam, weil der überwiegende Teil der Querkraft direkt über das Schienenprofil in den Beton eingeleitet wird [45]. Daher ist eine Zusatzbewehrung in Form von Bügeln und Schlaufen, die die Anker direkt umschließen, in EN 1992-4 nicht geregelt.

### 5.4.2 Zugkräfte

Die Zusatzbewehrung wird bei Einzelbefestigungen für die Zugkraft  $N_{Ed}$  und bei Gruppen für  $N_{Ed}^b$  (Zugkraft im höchstbelasteten Befestigungsmittel der Gruppe) bemessen. Im letztgenannten Fall ist die Bewehrung für jedes Befestigungsmittel der Gruppe vorzusehen. Bei Ankerschienen wird die Zusatzbewehrung aller Anker für  $N_{Ed}^b$  bemessen.

### 5.4.3 Querkkräfte

Wird die Zusatzbewehrung in Richtung der Querkraft eingelegt, dann errechnet sich der Bemessungswert  $N_{Ed, re}$  der Zugkraft in der Bewehrung aufgrund einer senkrecht zum Rand wirkenden Querkraft  $V_{Ed}$  nach Gl. (11).

$$N_{Ed, re} = \left( \frac{e_s}{z} + 1 \right) \cdot V_{Ed} \quad (11)$$

mit

$e_s$  Abstand zwischen der Achse der Zusatzbewehrung und der einwirkenden Querkraft (Bild 29)

$z$  innerer Hebelarm des Betonbauteils

$$\approx 0,85 \cdot d$$

$d$  nach Bild 29

$$\leq \min \{ 2 \cdot h_{ef}; 2 \cdot c_1 \}$$

Wirkt die Bemessungsquerkraft in einem Winkel zum Bauteilrand, dann darf die Zusatzbewehrung unter der Annahme bemessen werden, dass die gesamte Querkraft senkrecht zum Rand wirkt. Wirkt die Bemessungsquerkraft parallel zum Rand oder in einem Winkel vom Bauteilrand weg, dann darf die Zusatzbewehrung auf der sicheren Seite unter der Annahme bemessen werden, dass die parallel zum Bauteilrand wirkende Komponente der Querkraft senkrecht zum Bauteilrand wirkt.

Greifen Querlasten in unterschiedlicher Größe an den einzelnen Befestigungsmitteln einer Gruppe an, dann ist zur Ermittlung des Bemessungswerts der Zuglast der Bewehrung in Gl. (11) die Querlast des höchstbeanspruchten Befestigungsmittels einzusetzen. Diese Kraft wird dann für alle Befestigungsmittel der Gruppe angesetzt.

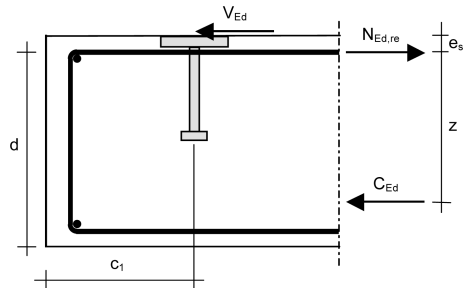
Verläuft die Zusatzbewehrung nicht in Richtung der Querkraft, dann ist diese Abweichung bei der Ermittlung der Zugkraft in der Bewehrung unter Ansatz der Gleichgewichtsbedingungen im Fachwerkmodell zu berücksichtigen.

## 6 Nachweis für Kopfbolzen und mechanische bzw. chemische Dübel im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 6.1 Allgemeines

Die im Folgenden beschriebenen Bemessungsregeln gelten für Kopfbolzen nach Bild 1 sowie Dübel nach Bild 3. Außerdem wird vorausgesetzt, dass die auf die Befestigungsmittel einwirkenden Kräfte auf Basis der Elastizitätstheorie ermittelt wurden. Ferner gelten die Bemessungsregeln für statische Belastung. Anforderungen für Ermüdungsbeanspruchungen und Erdbebenlasten enthalten die Abschnitte 9 und 10.

EN 1992-4 unterscheidet im Anhang G drei Bemessungsverfahren, die sich deutlich in ihrer Komplexität und in der Konservativität der Bemessungsergebnisse unterscheiden. Beim Verfahren A wird der Widerstand für alle Lastrichtungen und Versagensarten ermittelt. Dabei sind Achs- und Randabstände möglich, die kleiner als die charakteristischen Werte  $s_{cr,N}$  und  $c_{cr,N}$  sind. Als charakteristische Achs-



**Bild 29.** Ermittlung der Bemessungslast  $N_{Ed, re}$  der Zusatzbewehrung zur Übertragung von Querlasten aus der Befestigung

und Randabstände werden diejenigen Abstände bezeichnet, bei deren Einhaltung der maximale charakteristische Widerstand einer Einzelbefestigung gewährleistet ist. Der Nachweis nach Gl. (1) ist beim Verfahren A für alle Lastrichtungen (Zuglast, Querlast und kombinierte Zug- und Querlast) sowie alle Versagensarten zu führen. Dieses Verfahren ist das aufwendigste, bietet aber nahezu beliebige Anwendungsmöglichkeiten und führt zu den besten Ergebnissen.

Beim Verfahren B wird nur ein Widerstand für alle Lastrichtungen und Versagensarten berechnet, aber es sind – wie bei der Methode A – Achs- und Randabstände möglich, die kleiner als die charakteristischen Werte sind. Dieses Verfahren ist deutlich weniger aufwendig als das Bemessungsverfahren A, die Bemessungsergebnisse sind dafür aber konservativer. Das einfachste und konservativste Bemessungsverfahren ist das Verfahren C. Es entspricht im Prinzip dem Verfahren B, jedoch ist eine Verminderung der Achs- und Randabstände unter die charakteristischen Werte nicht zulässig. Verfahren C wird praktisch nur zur Bemessung redundanter Systeme eingesetzt, die überwiegenden Zugbeanspruchungen ausgesetzt sind. Dies sind z. B. abgehängte Decken oder Rohrleitungen. Für andere Anwendungsfälle wird Verfahren C aufgrund der sich ergebenden unwirtschaftlichen Ergebnisse in der Praxis kaum angewendet. Verfahren B bietet zwar wirtschaftlichere Lösungen als Verfahren C, besitzt jedoch insbesondere bei Befestigungen, die durch Querlasten beansprucht sind, erhebliche Nachteile gegenüber Verfahren A. Deshalb kommt es ebenfalls nahezu ausschließlich für die Bemessung redundanter Systeme zur Anwendung. Aus diesen Gründen wird im Folgenden nur das Bemessungsverfahren A behandelt.

Für die Anwendung des Bemessungsverfahrens gelten folgende Bedingungen: Die Achs- und Randabstände sind grundsätzlich mit positiven Toleran-

zen anzugeben. Die Bemessungsgleichungen für die Betonbrucharten unter Zuglast (kegelförmiger Betonausbruch, Herausziehen, kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch und Spalten des Betons) sowie unter Querlast (rückwärtiger Betonausbruch) gelten nur, wenn der Abstand  $a$  zwischen Einzelbefestigungen, zwischen den äußeren Dübeln benachbarter Gruppen oder zwischen Einzelbefestigungen und den äußeren Dübeln von Gruppen  $a \geq s_{cr,N}$  ist. Dies entspricht dem Mindestabstand, der eingehalten werden muss, damit sich Einzelbefestigungen oder benachbarte Gruppen von Befestigungsmitteln in ihrem Tragverhalten nicht gegenseitig beeinflussen. Wirken Querlasten, dann muss beim Nachweis für Betonkantenbruch der Abstand  $a \geq 3 \cdot c_1$  sein. Dabei ist  $c_1$  der Abstand der Befestigung zum betrachteten Rand.

EN 1992-4 gilt für Normalbeton der Druckfestigkeitsklassen C12/15 bis C90/105. Allerdings ist der Bereich der Festigkeitsklassen, in denen das jeweilige Befestigungsmittel verwendet werden darf, in der zugehörigen Europäischen Technischen Produktspezifikation angegeben.

Fehlbohrungen dürfen bei der Bemessung vernachlässigt werden, sofern sie mit einem nicht-schwindenden Mörtel verfüllt werden, dessen Festigkeit mindestens derjenigen des Ankergrunds entspricht, jedoch mindestens  $40 \text{ N/mm}^2$  beträgt. Diese Regelung ist vertretbar, da sich unter diesen Bedingungen das verfüllte Bohrloch – z. B. bei einer Querlast in Richtung der Fehlbohrung – nicht anders verhält als der unversehrte umgebende Beton.

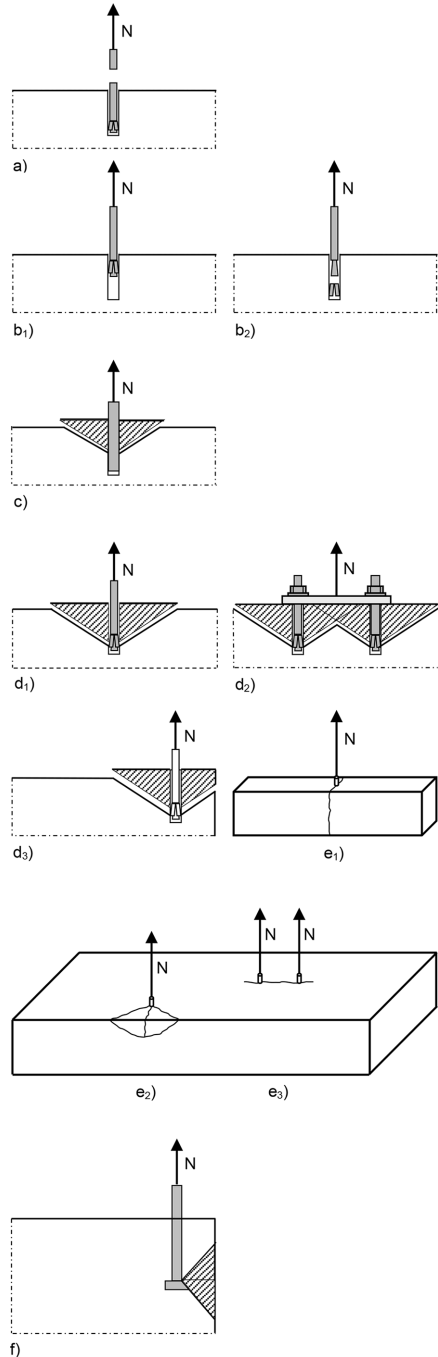
Nicht ausgenutzte im Bauwerk vorhandene Bewehrung darf bei der Bemessung einer Zusatzbewehrung angerechnet werden, sofern sie den Anforderungen von EN 1992-4 entspricht.

## 6.2 Widerstand bei Zugbeanspruchung

### 6.2.1 Erforderliche Nachweise

Kopfbolzen und mechanische sowie chemische Dübel versagen unter Zuglast auf unterschiedliche Arten (Bild 30). Beim Stahlversagen (Bild 30a) reißt das Befestigungselement im Schaft- oder Gewindebereich durch oder es versagt bei Dübeln nach Bild 3b die Dübelhülse. Stahlversagen führt zum größten möglichen Widerstand eines Befestigungsmittels.

**Bild 30.** Versagensarten von mechanischen und chemischen Dübeln sowie von Kopfbolzen unter Zuglast  
a) Stahlversagen, b) Herausziehen und Durchziehen (mechanische Dübel und Kopfbolzen), c) kombiniertes Versagen aus Herausziehen und Betonausbruch (chemische Dübel), d) kegelförmiger Betonausbruch, e) Spalten, f) lokaler Betonausbruch



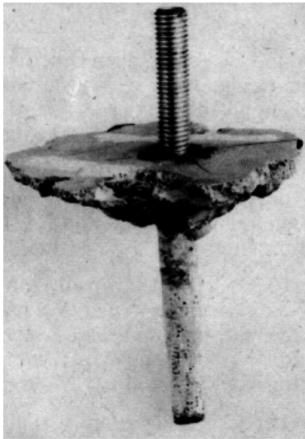
Beim Herausziehen (Bild 30b<sub>1</sub>) wird das gesamte Befestigungsmittel aus dem Bohrloch herausgezogen, wobei der oberflächennahe Beton geschädigt werden kann. Diese Betonschädigung ist sekundär und beeinflusst deshalb den Widerstand nicht. Herausziehen kann bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln auftreten, deren Spreizkraft zu gering ist, um den Dübel im Bohrloch zu fixieren oder die ein schlechtes Nachspreizverhalten aufweisen. Außerdem ist Herausziehen bei wegkontrolliert spreizenden Dübeln mit zu geringer Spreizkraft zu erwarten. Durchziehen (Bild 30b<sub>2</sub>) tritt nur bei ordnungsgemäß funktionierenden drehmomentkontroll-

liert spreizenden Dübeln auf. Dabei wird der Spreizkonus durch die Sprezhülse bzw. die Spreizsegmente hindurchgezogen. Dieses Verhalten entspricht dem Wirkungsprinzip drehmomentkontrolliert spreizender Dübel. In EN 1992-4 werden aus Gründen der Vereinfachung die Versagensarten Herausziehen und Durchziehen unter dem gemeinsamen Begriff Herausziehen behandelt.

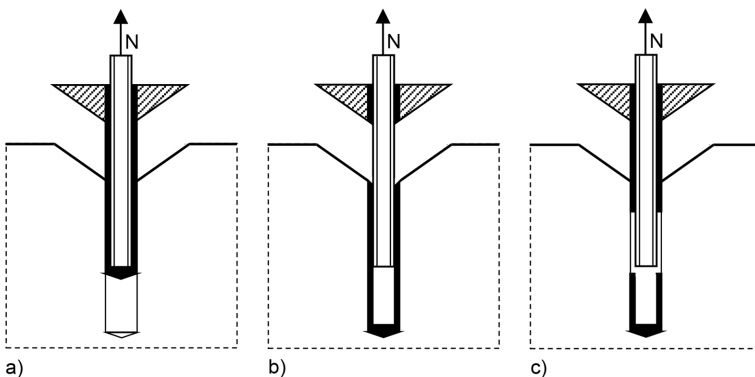
Während Herausziehen bei mechanischen Dübeln und bei Verbundspreizdübeln nach Bild 3e<sub>2</sub> auftritt, versagen chemische Dübel (Verbunddübel) nach Bild 3e<sub>1</sub> durch kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch (Bild 30c). Bei dieser Versagensart beginnt der Ausbruchkegel nicht wie bei Spreiz- und Hinterschnittdübeln am Ende des Dübels, sondern produktabhängig bei der 0,3- bis 0,7-fachen Verbundlänge (Bild 31). Auf der verbleibenden Länge der Ankerstange wird der Verbund zwischen erhärtetem Mörtel und Beton oder zwischen Gewindestange und Mörtel zerstört. Oft tritt auch ein gemischter Verbundbruch auf (im oberen Teil der Verbundlänge zwischen Mörtel und Beton und im unteren Teil zwischen Gewindestange und Mörtel). Bild 32 zeigt die möglichen Verbundversagensarten.

Beim kegelförmigen Betonausbruch reißt der Dübel einen Bruchkegel aus dem Beton heraus (Bild 30d<sub>1</sub>). Werden mehrere Befestigungselemente gemeinsam über eine Stahlplatte belastet und ist der gegenseitige Abstand kleiner als der Kegeldurchmesser, dann kommt es zu einem gemeinsamen Betonausbruch (Bild 30d<sub>2</sub>). Wird ein Dübel in der Nähe eines Bauteilrands gesetzt, dann überschneidet sich der Ausbruchkegel mit dem Rand (Bild 30d<sub>3</sub>).

Bei der Versagensart Spalten wird entweder das gesamte Betonbauteil gespalten (Bild 30e<sub>1</sub>) oder es



**Bild 31.** Bruchbild eines Verbunddübels bei kombiniertem Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch (nach [47])



**Bild 32.** Verbundversagensarten von Verbunddübeln (nach [48]); a) Versagen zwischen Mörtel und Bohrlochwand, b) Versagen zwischen Mörtel und Gewindestange, c) Mischbruch

entstehen Spaltrisse zwischen der Befestigung und dem Bauteilrand (Bild 30e<sub>2</sub>). Bei großem Randabstand können bei der Montage Spaltrisse zwischen benachbarten Dübeln auftreten (Bild 30e<sub>3</sub>), wenn sie mit zu kleinen Achsabständen und/oder in dünnen Bauteilen gesetzt werden.

Kopfbolzen und Hinterschnittdübel, die wie Kopfbolzen wirken, können mit kleinen Randabständen verankert werden. Unter Zugbeanspruchung treten unter dem Kopf hohe Druckspannungen auf, welche Querpressungen hervorrufen. Diese Querpressungen können bei kleinen Randabständen im Bereich des Kopfes zu einem örtlichen (kegelförmigen) Ausbrechen des Betons in Richtung des freien Bauteilrands führen (Bild 30f). Diese Versagensart wird als lokaler Betonausbruch bezeichnet. EN 1992-4 geht davon aus, dass lokaler Betonausbruch nur auftritt, wenn der Randabstand  $c_1 \leq 0,5 \cdot h_{ef}$  ist. Randabstände dieser Größenordnung sind nur bei Kopfbolzen und mechanischen Hinterschnittdübeln möglich.

Da nicht vorhergesagt werden kann, welche der genannten Brucharten für die Tragfähigkeit einer Befestigung maßgebend ist, müssen beim Bemessungsverfahren A alle Versagensarten nachgewiesen werden. Da der Widerstand bei Stahlversagen und Herausziehen bzw. Durchziehen weder durch benachbarte Befestigungsmittel noch durch Bauteilränder beeinflusst wird, wird der Nachweis für diese Versagensarten für das höchstbelastete Befestigungsmittel einer Gruppe geführt. Demgegenüber haben Achs- und Randabstände bei den Brucharten kegelförmiger Betonausbruch, kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch, Spalten und lokaler Betonausbruch einen deutlichen Einfluss auf den Widerstand der Befestigung. Deshalb ist der Nachweis bei diesen Versagensarten für die Gruppe zu führen.

In Tabelle 4 sind die erforderlichen Nachweise für Kopfbolzen und mechanische bzw. chemische Dübel unter Zugbeanspruchung zusammengestellt.

**Tabelle 4.** Erforderliche Nachweise für Kopfbolzen und mechanische bzw. chemische Dübel unter Zugbeanspruchung

| Versagensart                                                          | Einzelbefestigung                                             | Gruppe <sup>1)</sup>                                            |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Stahlversagen des Befestigungsmittels                                 | $N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$         | $N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$         |
| kegelförmiger Betonausbruch                                           | $N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$         | $N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$         |
| Herausziehen <sup>2)</sup>                                            | $N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$         | $N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$         |
| kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch <sup>3)</sup> | $N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$         | $N_{Ed}^g \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$         |
| Spalten                                                               | $N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$      | $N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$      |
| lokaler Betonausbruch                                                 | $N_{Ed} \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$       | $N_{Ed}^g \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$       |
| Stahlversagen der Zusatzbewehrung                                     | $N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$ | $N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$ |
| Versagen der Verankerung der Zusatzbewehrung                          | $N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$                                     | $N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$                                     |

<sup>1)</sup>  $N_{Ed}^h$  Zuglast des höchstbelasteten Befestigungsmittels einer Gruppe  
 $N_{Ed}^g$  resultierende Zuglast einer Gruppe

<sup>2)</sup> nicht erforderlich für chemische Dübel nach Bild 3e<sub>1</sub>

<sup>3)</sup> nicht erforderlich für Kopfbolzen und mechanische Dübel

### 6.2.2 Zusatzbewehrung

Wird eine Zusatzbewehrung angeordnet, dann kann der Nachweis für kegelförmigen Betonausbruch nach Tabelle 4 bzw. Abschnitt 6.2.4 entfallen, jedoch muss die Bewehrung nach Abschnitt 6.2.9 für die Gesamtlast nachgewiesen werden. Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein (vgl. Bild 26):

- Die Bewehrung besteht aus Rippenstahl ( $f_{yk, re} \leq 600 \text{ N/mm}^2$ ) mit einem Durchmesser  $\leq 16 \text{ mm}$  in Form von Bügeln oder Schlaufen mit einem Biegerolldurchmesser nach EN 1992-1-1.
- Die Zusatzbewehrung wird für die Zuglast des höchstbelasteten Befestigungsmittels einer Gruppe bemessen und diese Bewehrung wird bei allen Befestigungsmitteln der Gruppe eingelegt.
- Die Zusatzbewehrung wird symmetrisch und so nahe wie möglich zur Befestigung eingelegt. Sie soll vorzugsweise die Oberflächenbewehrung umschließen.
- Nur Bewehrungsstäbe in einem Abstand von maximal  $0,75 \cdot h_{ef}$  vom Befestigungsmittel sind wirksam.
- Nur Bewehrungsstäbe, die im Betonausbruchkörper mit einer Länge von  $l_1 \geq 4 \cdot \varnothing$  (Verankerungen durch Winkelhaken, Haken oder Schlaufen) oder  $l_1 \geq 10 \cdot \varnothing$  (gerade Bewehrungsstäbe mit angeschweißten oder ohne angeschweißte Querstäbe) verankert sind, sind wirksam.

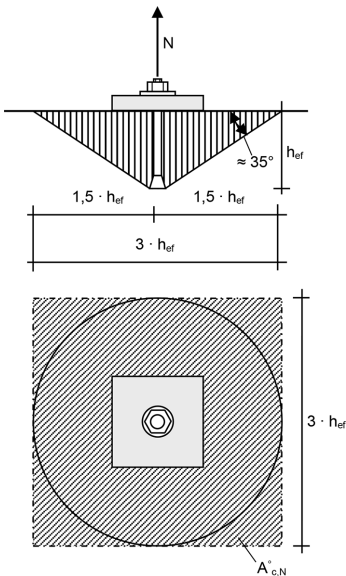


Bild 33. Betonausbruchkegel (schematisch) (nach [49])

- Die Zusatzbewehrung wird außerhalb des Betonausbruchkörpers mit einer Verankerungslänge  $l_{bd}$  nach EN 1992-1-1 verankert oder über einen Übergreifungsstoß an die vorhandene Bewehrung im tragenden Bauteil angeschlossen. Die vorhandene Bewehrung muss dazu in der Lage sein, diese zusätzlichen Kräfte aufzunehmen.
- Die Oberflächenbewehrung des als Ankergrund dienenden Stahlbetonbauteils muss die Zugkräfte aufnehmen können, die aus dem Fachwerkmodell sowie den Spaltkräften der Befestigungsmittel nach Abschnitt 6.2.7 resultieren (Bild 26b).

### 6.2.3 Stahlversagen

Der charakteristische Widerstand eines Kopfbolzens oder Dübels bei Stahlversagen ist in der jeweiligen Europäischen Technischen Produktspezifikation des Befestigungsmittels angegeben. Er basiert auf der Nennzugfestigkeit  $f_{uk}$  des Stahls und berechnet sich nach Gl. (12):

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} \quad (12)$$

mit

$A_s$  Querschnitt des Dübels, bei Gewindeteilen Spannungsquerschnitt

$f_{uk}$  Zugfestigkeit des Stahls

Bei Bolzendübeln ist der Querschnitt über die Dübellänge nicht konstant. Im oberen Bereich weisen diese Dübel ein Gewinde und darunter einen glatten Schaft auf. Am Ende des Bolzens befindet sich ein konischer Abschnitt mit verringertem Querschnitt. Alle drei Bereiche können unterschiedliche Querschnitte und bei durch Kaltumformung hergestellten Dübeln auch unterschiedliche Zugfestigkeiten aufweisen. Dies wird in den Zulassungsversuchen überprüft und der in der Europäischen Technischen Produktspezifikation angegebene charakteristische Widerstand stellt den kleinsten Wert der drei Bereiche dar.

### 6.2.4 Kegelförmiger Betonausbruch

Beim kegelförmigen Betonausbruch reißt der Kopfbolzen oder Dübel einen Bruchkegel aus dem Beton heraus (Bild 30d<sub>1</sub>). Die Ausbruchkörper unterschiedlicher Befestigungsmittel ähneln sich. Der Neigungswinkel der Mantelflächen der Kegel gegenüber der Horizontalen ist über die Verankerungstiefe und den Umfang nicht konstant und streut von Versuch zu Versuch. Er beträgt zwischen 30° und 40°, im Mittel etwa 35°. Als Tiefe der Bruchkegel kann vereinfachend die Verankerungstiefe  $h_{ef}$  angenommen werden. Damit beträgt der Durchmesser eines Bruchkegels etwa das 3-Fache der Verankerungstiefe  $h_{ef}$  des Dübels (Bild 33, oben).