

Europäische Bemessungsregeln für Hülsenanker

M. Ricker, J. Geus, F. Häusler

Zusammenfassung Hülsenanker sind geeignet für die dauerhafte Befestigung von Anschlusskonstruktionen in bewehrtem und unbewehrtem Beton. Sie bestehen aus einer Hülse mit Innengewinde, die im Beton verankert wird. Diese Verankerung kann auf unterschiedliche Weise realisiert werden. Mittlerweile gibt es für verschiedene Arten von Hülsenankern Europäische Technische Zulassungen (ETAs), die auch für quasi-statische Belastungen und gerissenen Beton gültig sind. Im Rahmen dieses Artikels sollen die ETAs für T-FIXX Hülsenanker, Bolzenanker und Wellenanker vorgestellt und die Unterschiede näher erläutert werden. Alle drei Zulassungen verlangen die Anwendung des gleichen Bemessungskonzeptes, das in der Technischen Spezifikation CEN/TS 1992-4 aus dem Jahr 2009 geregelt ist und momentan den allgemein akzeptierten Stand der Technik beschreibt. Zukünftig soll die CEN/TS 1992-4 ein Bestandteil der europäischen Stahlbetonnorm EN 1992 (Eurocode 2) werden. In diesem Artikel wird die Bemessung von Hülsenankern nach CEN/TS 1992-4 näher vorgestellt. Anschließend werden anhand von Parameterrechnungen die Tragfähigkeiten der drei Ankertypen (T-FIXX Hülsenanker, Bolzenanker und Wellenanker) verglichen und bewertet.

Comparison of European Technical Approvals for fixing anchors

Abstract Fixing anchors are intended to be used for permanent anchorages in reinforced and unreinforced concrete. The fixing anchors consist of a socket with an internal thread, which is anchored in concrete. For several types of fixing anchors, European Technical Approvals (ETAs) are available, which also deal with quasi-static loading and cracked concrete. In this paper, the ETAs for the T-FIXX fixing anchors, bolt anchors, and waved anchors are presented and the differences are discussed in detail. The Approvals demand that the design of the fixing anchors is done in accordance to the Technical Specification CEN/TS 1992-4 from 2009, which describes the actual state of the art technology. In the future, CEN/TS 1992-4 will become a part of the European code for the design of concrete structures EN 1992 (Eurocode 2). In the present paper, the design of fixing anchors according to CEN/TS 1992-4 is presented more closely. The results of a parametric study are presented, which compares the load bearing capacities of the abovementioned anchor types, T-FIXX fixing anchors, bolt anchors, and waved anchors. Finally, the results of the parametric study are critically discussed.

Dr.-Ing. Marcus Ricker, M.Sc.

marcus.ricker@halfen.de

Dipl.-Ing. Jörg Geus

joerg.geus@halfen.de

Dr.-Ing. Frank Häusler

frank.haeusler@halfen.de

HALFEN GmbH

Research – Development – Engineering

Liebigstraße 14

40764 Langenfeld

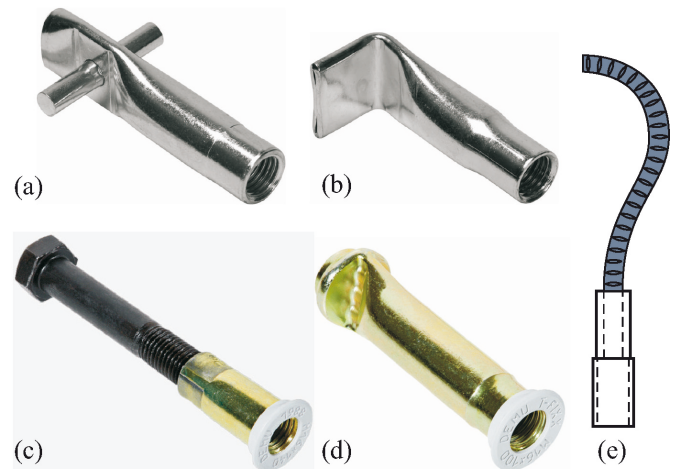


Bild 1. Typische Hülsenanker (a) bis (d) und gebogener Rippenstab mit aufgedrückter Hülse (Wellenanker) (e)

Fig. 1. Different types of fixing anchors (a) to (d) and a waved reinforcing bar with a pressed on socket (waved anchor) (e)

1 Einleitung

Mit Hülsenankern können Anschlusskonstruktionen dauerhaft in bewehrtem und unbewehrtem Beton befestigt werden. Das Tragverhalten von Verankerungen im Beton ist Gegenstand aktueller Forschung [1 – 5]. In der Vergangenheit wurden hierzu bereits umfangreiche Untersuchungen durchgeführt [6 – 10], welche die Grundlage der aktuellen Bemessungsregeln bilden. Dieser Beitrag soll einen Überblick über die Bemessung von Hülsenankern nach den gültigen Technischen Regelwerken geben und anhand einer Parameterstudie die rechnerischen Tragfähigkeiten von verschiedenen Hülsenankern mit europäischer technischer Zulassung vergleichen.

Hülsenanker bestehen aus einer Hülse mit Innengewinde, die geeignet im Beton verankert wird. Diese Verankerung kann z. B. durch einen Querstab (Bild 1a) erfolgen. Alternativ kann die Hülse am Ende abgeflacht und abgebogen werden (Bild 1b). Beim Bolzenanker wird eine Normschraube in die Hülse eingedreht und verpresst. Der Schraubenkopf stellt dann die Verankerung im Beton sicher (Bild 1c). Für den neuen T-FIXX Hülsenanker wird das Hülsenende zu einem Kopf umgeformt, der die Verankerung im Beton ähnlich einem Kopfbolzen sicherstellt (Bild 1d). Beim Wellenanker wird ein s-förmig gebogener Betonrippenstahl mit der Gewindehülse verpresst (Bild 1e).

Die Bemessung der Hülsenanker erfolgt nach CEN/TS 1992-4, Teil 1 und 2 [11, 12]. Die CEN/TS 1992-4 wurde 2009 mit dem Ziel, die Bemessung von Befestigungen in Beton europaweit zu vereinheitlichen, veröffentlicht. Sowohl Einlegeteile (wie Ankerschienen und Kopfbolzen) als auch Dübel sind in der CEN/TS 1992-4 geregelt. Es handelt sich um eine Vornorm, die in naher Zukunft als weiterer Teil der europäischen Stahlbetonnorm EN 1992 (Eurocode 2) verbindlich eingeführt werden soll. Die CEN/TS 1992-4 darf verwendet werden, wenn für das Befestigungsmittel eine Technische Produktspezifikation vorliegt, in der die Eignung

Tabelle 1. Für Hülseanker erforderliche Nachweise gemäß CEN/TS 1992–4
 Table 1. Required verifications for fixing anchors according to CEN/TS 1992–4

Zugbeanspruchung		Querbeanspruchung	
Versagensart	Nachweis	Versagensart	Nachweis
Stahlversagen des Hülseankers	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s}$	Stahlversagen des Hülseankers ohne Hebelarm	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$
Herausziehen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p}$	Stahlversagen des Hülseankers mit Hebelarm	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$
Kegelförmiger Betonausbruch	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c}$	Betonkantenbruch	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$
Spalten	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp}$	Rückwärtiger Betonausbruch	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp}$
Lokaler Betonausbruch	$N_{Ed} \leq N_{Rd,cb}$		

N_{Ed} , V_{Ed} : Bemessungswert der Zug- bzw. Querbeanspruchung, die auf den Hülseanker einwirkt

des Produktes bestätigt und die für die Bemessung erforderlichen Kennwerte angegeben werden. Bei Befestigungselementen ist die Europäische Technische Zulassung ETA die benötigte Technische Spezifikation. Die ETA ist somit der Nachweis der Brauchbarkeit eines Bauproduktes im Sinne der Bauproduktenverordnung [13]. Sie definiert alle Produktmerkmale, die zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen notwendig sind. Die ETAs beruhen auf Versuchen und einer technischen Beurteilung durch sogenannte Technische Bewertungsstellen (Technical Assessment Bodies, TABs), die von den Mitgliedsstaaten der EOTA (European Organisation for Technical Assessment) benannt werden. Mittlerweile sind ETAs für verschiedene Arten von Hülseankern verfügbar, das sind im einzelnen Wellenanker [14], Bolzenanker [15] und T-FIXX Hülseanker [16]. Nachfolgend wird zunächst das für Hülseanker adaptierte Berechnungsverfahren nach CEN/TS 1992–4 Teil 1 und Teil 2 vorgestellt und anschließend im Rahmen einer Parameterrechnung die sich nach den ETAs ergebenden Traglasten für Wellenanker, Bolzenanker und T-FIXX Hülseanker verglichen.

2 Europäische Technische Zulassungen für Hülseanker – Bemessungsvorschriften

2.1 Versagensarten

Für die Bemessung der Hülseanker sind die Teile 1 „Allgemeines“ und 2 „Kopfbohlen“ der CEN/TS 1992–4 maßgebend. Es sind verschiedene Brucharten möglich, die in ein Versagen unter Zugbeanspruchung und in ein Versagen unter Querbeanspruchung unterteilt werden können [6 – 8, 11, 12]. Als Brucharten unter Zugbeanspruchung sind zu nennen: Stahlversagen des Hülseankers, Herausziehen des Hülseankers, kegelförmiger Betonausbruch, Spalten des Bauteils und lokaler Betonausbruch (Tabelle 1). Beim Stahlversagen unter Zugbeanspruchung bricht der Hülseanker (Bild 2a). Die eingedrehte Befestigungsschraube sowie das Anbauteil sind separat nachzuweisen und werden nachfolgend nicht weiter diskutiert. Die mögliche Anordnung einer Zusatzbewehrung aus Betonstahl und die notwendigen Nachweise werden ebenfalls nicht betrachtet. Die Stahlbruchlast ist die obere Grenze der erreichbaren Tragfähigkeit. Beim Betonausbruch entsteht ein kegelförmiger

Betonausbruchkörper, der in Höhe des Kopfes des Hülseankers beginnt (Bild 2b). Werden benachbarte Hülseanker durch ein Anbauteil gemeinsam belastet, kann es zu einer Überschneidung der Ausbruchkegel kommen, sodass ein gemeinsamer Ausbruchkörper entsteht. Ein Herausziehen des Hülseankers tritt auf, wenn die Pressung am Kopf des Hülseankers einen zulässigen Wert überschreitet (Bild 2c). Beim Spalten wird entweder das gesamte Bauteil gespalten (Bild 2d) oder es entstehen Spalttrisse zwischen

benachbarten Hülseankern bzw. von randnahen Hülseankern zum freien Bauteilrand. Bei sehr geringem Randabstand kann ein lokaler Betonausbruch auftreten. Hierbei kommt es im Bereich des Kopfes des Hülseankers zu einem örtlichen Ausbrechen des Betons in Richtung des freien Randes (Bild 2e).

Unter Querbeanspruchung können folgende Brucharten auftreten: Stahlversagen des Hülseankers, Betonkantenbruch und rückwärtiger Betonausbruch (Tabelle 1).

Bei Querbeanspruchung werden die Hülseanker durch Scher-, Biege- und Normalspannungen beansprucht. Wenn diese Spannungen einen bestimmten Wert überschreiten, kann es zu einem Stahlversagen des Hülseankers kommen (Bild 3a). Diese Versagensart führt zur höchsten Bruchlast, wobei die bis zum Bruch auftretenden Verformungen relativ groß sind. Sind die Hülseanker mit kleinem Randabstand eingebaut, kann es zu einem Ausbrechen der Betonkante (Betonkantenbruch) kommen (Bild 3b). Bei Ankergruppen kann sich ein gemeinsamer Ausbruchkörper zum Rand hin bilden und bei der Anordnung eines Hülseankers in einer Bauteilecke kann die gesamte Bauteilecke wegplatzen. Bei Hülseankern mit einer kurzen Einbindelänge kann es bei großen Randabständen zu einem Ausbrechen des Betons auf der lastabgewandten Seite kommen (rückwärtiger Betonausbruch, Bild 3c). Bei Ankergruppen mit einem entsprechend kleinen Ankerabstand tritt unter Umständen ein gemeinsamer Ausbruchkörper auf.

Für die einzelnen Versagensarten wird der Nachweis der Tragfähigkeit geführt, indem der Bemessungswert der Einwirkung E_d einem Bemessungswert des Widerstandes R_d gegenübergestellt wird. Die Tragfähigkeit ist gegeben, wenn folgende Ungleichung erfüllt ist:

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

Der Bemessungswert der Einwirkungen kann nach EN 1990 [17] aus den einzelnen Einwirkungen als Lastfallkombination ermittelt werden, dabei sind die jeweiligen Nationalen Anhänge zu berücksichtigen.

Der Bemessungswert des Widerstandes errechnet sich als Quotient aus den charakteristischen Widerständen unter Zug- und Querbelastung R_k und einem Teilsicherheitsbeiwert γ_M :

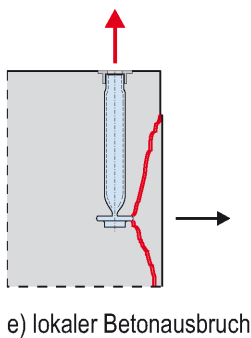
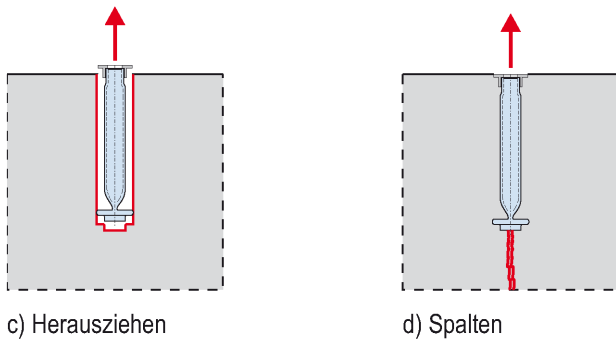
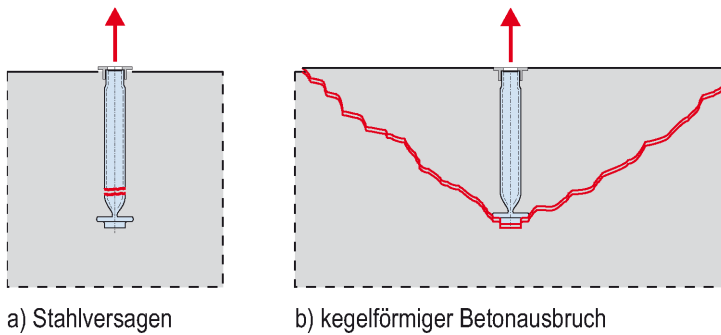


Bild 2. Brucharten bei Zugbeanspruchung
(exemplarisch dargestellt für den T-FIXX
Hülsenanker)
Fig. 2. Failure modes under tension load
(shown for the T-FIXX fixing anchor)

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2)$$

Hierbei ist γ_M der Teilsicherheitsbeiwert auf der Tragwiderstandsseite. Der anzusetzende Wert hängt von der Bruchart ab und ist der jeweiligen Europäischen Technischen Zulassung zu entnehmen.

2.2 Zugbeanspruchung

2.2.1 Stahlversagen der Hülsenanker

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,s}$ für die Versagensart Stahlbruch kann gemäß ETAG 001 [18] aus den Querschnittsabmessungen und der Stahlzugfestigkeit ermittelt werden:

$$N_{Rk,s} = A_s f_{uk} \quad (3)$$

Hierbei sind A_s der Spannungsquerschnitt des Hülsenankers und f_{uk} die Zugfestigkeit des verwendeten Stahls. Für alle Ankerabmessungen sind die entsprechenden charakteristischen Stahltragfähigkeiten in der ETA-11/0288 (Wellenanker) [14], ETA-13/0401 (Bolzenanker) [15] bzw. ETA-13/0222 (T-FIXX) [16] tabelliert.

Der Bemessungswert für das Stahlversagen der Anker ergibt sich zu:

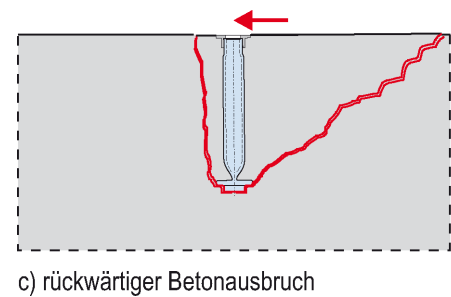
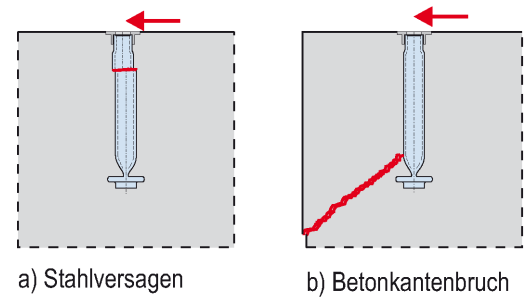


Bild 3. Brucharten bei Querbeanspruchung
(exemplarisch dargestellt für den T-FIXX Hülsenanker)

Fig. 3. Failure modes under shear load (shown for the T-FIXX fixing anchor)

$$N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} \quad (4)$$

Hierbei ist γ_{Ms} der Teilsicherheitsbeiwert für ein Stahlversagen und ergibt sich nach CEN/TS 1992-4-1 zu $\gamma_{Ms} = 1,2 f_{uk} / f_{yk}$. Die entsprechenden Werte können in Abhängigkeit des verwendeten Ankermaterials direkt den ETAs entnommen werden.

2.2.2 Herausziehen des Hülsenankers

Der charakteristische Widerstand gegen das Herausziehen des Ankers wird in den ETAs angegeben. Für den Bolzenanker und den T-FIXX Hülsenanker wird der Widerstand gegen Herausziehen durch die Betonpressung unter dem Anker- bzw. Schraubenkopf begrenzt und lässt sich wie folgt berechnen:

$$N_{Rk,p} = 6 A_h f_{ck,cube} \psi_{ucr,N} \quad (5)$$

Hierbei sind A_h die Lasteinleitungsfläche des Anker- bzw. Schraubenkopfes, $f_{ck,cube}$ der charakteristische Wert der Betondruckfestigkeit (gemessen am Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm) und $\psi_{ucr,N}$ ein Beiwert zur Berücksichtigung des Risszustandes des Betons ($\psi_{ucr,N} = 1,4$ für ungerissenen Beton und $\psi_{ucr,N} = 1,0$ für gerissenen Beton).

Für den Wellenanker wird der Widerstand gegen Herausziehen experimentell bestimmt, da keine definierte Lasteinleitungsfläche A_h ermittelt werden kann. Der Widerstand wird wesentlich von den Verbundeigenschaften und der Biege- steifigkeit des Betonstahls beeinflusst.

Zur Berechnung des Bemessungswiderstands für die Versagensart Herausziehen ist der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mp} anzusetzen. Da das Herausziehen durch ein Versagen des umgebenden Betons bestimmt wird, kann der Teilsicherheitsbeiwert für Beton nach EN 1992-1-1 [19] $\gamma_{Mp} = \gamma_C = 1,5$ angesetzt werden.

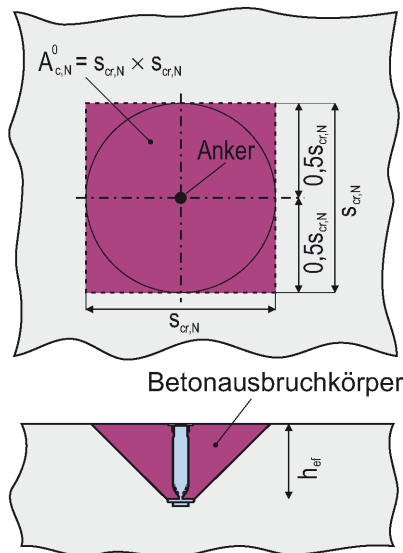
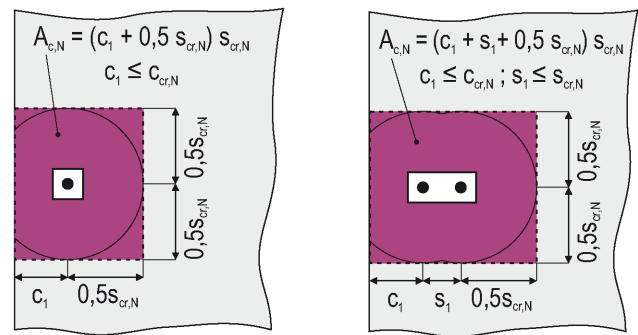


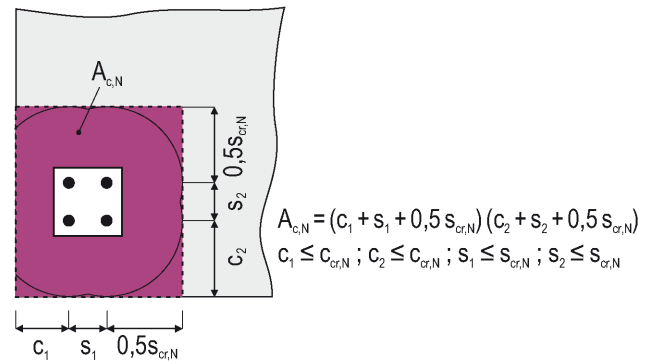
Bild 4. Idealisierter Betonausbruchkörper und projizierte Fläche $A_{c,N}^0$ bei einem kegelförmigen Betonausbruch eines Einzelankers mit großem Achs- und Randabstand unter Zuglast (aus [12], überarbeitet)

Fig. 4. Idealised concrete cone and area of concrete cone of an individual fastener under tension load in case of concrete cone failure (taken from [12], revised)



a) randnahe Einzelbefestigung

b) randnahe 2er-Gruppe



c) 4er-Gruppe in Bauteillecke

Bild 5. Vorhandene projizierte Ausbruchflächen $A_{c,N}$ der idealisierten Betonausbruchkörper für die Versagensart kegelförmiger Betonausbruch für verschiedene Anordnungen von Hülseankern unter Zuglast (aus [12], überarbeitet)

Fig. 5. Actual areas of the idealised concrete cones $A_{c,N}$ of different fastener groups under axial loading in case of concrete cone failure (taken from [12], revised)

2.2.3 Kegelförmiger Betonausbruch

Ein Betonausbruch kann bei nahezu allen Befestigungssystemen auftreten [6]. Die Mantelfläche des Ausbruchkegels hat eine Neigung von etwa 30° bis 40° zur Horizontalen (Bild 2b). Die Höhe des Ausbruchkegels entspricht bei den Hülseankern der (1,0-fachen) effektiven Verankerungstiefe. Die Verankerungstiefe h_{ef} ist der Abstand zwischen der Betonoberfläche und der Unterkante des Ankerkopfes (T-FIXX) bzw. des Schraubenkopfes (Bolzenanker). Beim Wellenanker kann h_{ef} nicht eindeutig über die Geometrie des Ankers ermittelt werden, es wird daher eine äquivalente Verankerungstiefe h_{ef} aus Versuchsergebnissen bestimmt. Gemäß CEN/TS 1992-4-2 kann der charakteristische Widerstand für kegelförmigen Betonausbruch nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{ec,N} \psi_{re,N} \quad (6)$$

Der charakteristische Grundwert für die Betonausbruchlast bei großem Achs- und Randabstand der Anker ergibt sich zu:

$$N_{Rk,c}^0 = k \sqrt{f_{ck,cube}} h_{ef}^{1,5} \quad (7)$$

Hierbei sind h_{ef} die Verankerungstiefe und k ein empirischer Vorfaktor. Für die T-FIXX Hülseanker und die Bolzenanker kann k für gerissenen Beton zu $k_{cr} = 8,5$ und für ungerissenen Beton zu $k_{ucr} = 11,9$ angenommen werden. Gemäß der ETA für Wellenanker dürfen Werte $k_{cr} = 7,2$ für gerissenen und $k_{ucr} = 10,1$ für ungerissenen Beton angesetzt werden. Der geometrische Einfluss von Rand- und Achsabständen auf die Betonausbruchlast wird in Gleichung (6) durch den Faktor $A_{c,N}/A_{c,N}^0$ berücksichtigt. Hierbei sind $A_{c,N}^0$ die projizierte Fläche des idealisierten Ausbruchkegels einer Einzelverankerung mit großem Achs- und Randabstand auf der Betonoberfläche (Bild 4) und $A_{c,N}$ die vorhandene projizier-

te Fläche des Ausbruchkörpers der Verankerung auf der Betonoberfläche. $A_{c,N}$ wird durch die Überschneidung der einzelnen Ausbruchkörper benachbarter Befestigungen ($s \leq s_{cr,N}$) und durch Bauteilränder ($c \leq c_{cr,N}$) begrenzt (Bild 5). Die Werte für $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$ können den jeweiligen ETAs entnommen werden. Für Hülseanker darf $s_{cr,N}$ zu $3,0 h_{ef}$ bestimmt werden. Es wird angenommen, dass die Bruchlast proportional zur Fläche $A_{c,N}$ ansteigt.

Der Faktor $\psi_{s,N}$ berücksichtigt den Einfluss von freien Rändern auf die Spannungsverteilung im Bereich der Anker. Für Befestigungen mit mehreren Randabständen (z. B. in der Nähe einer Bauteillecke) sollte der kleinste Randabstand c in die Gleichung für $\psi_{s,N}$ eingesetzt werden:

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,0 \quad (8)$$

Der Wert für $c_{cr,N}$ kann der jeweiligen ETA entnommen werden. Für Hülseanker gilt $c_{cr,N} = 1,5 h_{ef}$. Mit dem Faktor $\psi_{re,N}$ wird der Einfluss einer dichten Bewehrung für Verankerungstiefen $h_{ef} < 100$ mm berücksichtigt, da diese ein Schalenabplatzen begünstigen kann. Der Faktor kann zu $\psi_{re,N} = 1,0$ gesetzt werden, wenn die vorhandene Bewehrung (unabhängig vom Durchmesser) mit einem Achsabstand von mindestens 150 mm eingebaut wurde oder wenn eine Bewehrung mit einem Durchmesser $d_s \leq 10$ mm mit einem Achsabstand von mindestens 100 mm vorgesehen wurde. Für abweichende Bewehrungsanordnungen kann $\psi_{re,N}$ nach folgender Gleichung in Abhängigkeit der wirkamen Verankerungstiefe h_{ef} bestimmt werden:

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1,0 \quad (9)$$

Eine exzentrisch angreifende Zuglast wird durch den Faktor $\psi_{ec,N}$ berücksichtigt:

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,N}} \leq 1,0 \quad (10)$$

Hierbei ist e_N die Lastausmitte der resultierenden Zuglast. Wenn der Lasteingriffspunkte eine Ausmitte $e_{N,x}$ und $e_{N,y}$ aufweist, ist $\psi_{ec,N}$ für beide Richtungen getrennt zu ermitteln und das Produkt der beiden Faktoren in Gleichung (6) einzusetzen.

Bei Befestigungen mit drei oder mehr Rändern und einem maximalen Randabstand von $c_{max} \leq c_{cr,N}$ ergibt Gleichung (6) sehr konservative Werte für den Widerstand gegen Betonausbruch. Genauere Ergebnisse erhält man, wenn bei der Berechnung von $N_{Rk,c}^0$ die wirksame Verankerungstiefe h_{ef} in Gleichung (7) durch einen der folgenden Werte für h'_{ef} ersetzt wird:

$$h'_{ef} = \frac{c_{max}}{c_{cr,N}} h_{ef} \quad (\text{Einzelbefestigung}) \quad (11a)$$

$$h'_{ef} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{c_{max}}{c_{cr,N}} h_{ef} \\ \frac{s_{max}}{s_{cr,N}} h_{ef} \end{array} \right. \quad (\text{Gruppenbefestigung}) \quad (11b)$$

Weiterhin sind bei der Ermittlung des Widerstands gegen kegelförmigen Betonausbruch des Ankers in allen Gleichungen und bei der Ermittlung der Flächen $A_{c,N}^0$ und $A_{c,N}$ die Werte $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$ durch $s'_{cr,N} = s_{cr,N} h'_{ef} / h_{ef}$ bzw. $c'_{cr,N} = c_{cr,N} h'_{ef} / h_{ef}$ zu ersetzen.

Für die Berechnung des Bemessungswiderstands für kegelförmigen Betonausbruch ist gemäß den ETAs ein Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} von 1,5 anzusetzen.

2.2.4 Spalten des Betons

Ein Spalten des Betons kann auftreten, wenn die Bauteilabmessungen zu klein oder die Abstände zwischen den Ankern oder zu einem Rand zu gering sind. Die Bruchlast ist dann kleiner als beim kegelförmigen Betonausbruch. Die Versagensart Spalten geht mit zunehmendem Randabstand in Betonausbruch über. Man unterscheidet ein Spalten bei der Montage und ein Spalten unter Lasteinwirkung [9].

Ein Spalten des Betons bei der Montage kann z. B. beim Vorspannen von Hülseankern auftreten. Wenn die in den ETAs angegebenen Mindestwerte für die Bauteildicke h_{min} , den Achsabstand s_{min} und den Randabstand c_{min} eingehalten werden, tritt kein Spalten infolge Montage auf und braucht deshalb nicht weiter untersucht zu werden.

Der Nachweis für ein Spalten des Betons unter Lasteinwirkung kann nach CEN/TS 1992-4-2 entfallen, wenn die Spaltkräfte durch eine Betonstahlbewehrung aufgenommen werden, die gleichzeitig die Rissbreite auf 0,3 mm begrenzt. Die Spaltbewehrung ist dabei für 50 % der Zugkraft im Hülseanker zu bemessen. Der erforderliche Bewehrungsquerschnitt ergibt sich nach folgender Gleichung zu:

$$A_{s,min} = 0,5 \frac{\sum N_{Ed}}{f_{yk} / \gamma_{Ms,re}} \quad (12)$$

Hierbei sind $\sum N_{Ed}$ die Summe der Zugkräfte, die in den Hülseankern einer Befestigung unter Bemessungslast auftreten; f_{yk} der charakteristische Wert der Streckgrenze des Stahls der Spaltbewehrung und $\gamma_{Ms,re}$ der Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl nach EN 1992-1-1 angesetzt werden (in Deutschland $\gamma_{Ms,re} = \gamma_s = 1,15$).

Bei Bolzen- und Wellenankern tritt die Versagensart Spalten unabhängig vom Vorhandensein einer Spaltbewehrung nicht auf, wenn der Randabstand bei Einzelbefestigungen mindestens $1,0 c_{cr,sp}$ bzw. bei Gruppenbefestigungen mindestens $1,2 c_{cr,sp}$ beträgt. Die entsprechenden Werte für $c_{cr,sp}$ können der ETA-13/0401 bzw. ETA-11/0288 entnommen werden. Wenn die Randabstände bei Bolzen- und Wellenankern nicht eingehalten werden, kann entweder eine Mindestbewehrung nach Gleichung (12) angeordnet oder der charakteristische Widerstand gegen Spalten nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{ec,N} \psi_{re,N} \psi_{h,sp} \quad (13)$$

Hierbei gilt $N_{Rk}^0 = \min(N_{Rk,p}; N_{Rk,c}^0)$ mit $N_{Rk,p}$ als charakteristischem Widerstand gegen Herausziehen nach Abschnitt 2.2.2 und $N_{Rk,c}^0$ als charakteristischem Grundwert gegen kegelförmigen Betonausbruch gemäß Abschnitt 2.2.3. Die übrigen Werte für $A_{c,N}$, $A_{c,N}^0$, $\psi_{s,N}$, $\psi_{re,N}$, $\psi_{ec,N}$ und $\psi_{ucr,N}$ können wie bereits in Abschnitt 2.2.3 angegeben ermittelt werden, jedoch sind $c_{cr,sp}$ und $s_{cr,sp}$ gemäß ETA-13/0401 bzw. ETA-11/0288 einzusetzen.

Der Einfluss der vorhandenen Bauteildicke auf die Spaltbruchlast wird durch den Beiwert $\psi_{h,sp}$ berücksichtigt:

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{2/3} \leq \left(\frac{2h_{ef}}{h_{min}} \right)^{2/3} \quad (14)$$

Hierbei ist h_{min} die Mindestbauteildicke nach der Zulassung ETA-13/0401 bzw. ETA11/0288.

Der Bemessungswert des Widerstands gegen Spalten ist mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{Msp} = 1,5$ zu bestimmen.

2.2.5 Lokaler Betonausbruch

Werden Hülseanker mit geringem Randabstand eingebaut, kann es im Bereich des Kopfes zu einem lokalen Betonausbruch (*blow-out failure*) kommen [10]. Der Nachweis ist nur erforderlich, wenn der Randabstand c zwischen dem Anker und dem Bauteilrand kleiner als $0,5 h_{ef}$ ist. Ist ein Nachweis für lokalen Betonausbruch zu führen, ergibt sich der charakteristische Widerstand zu:

$$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \frac{A_{c,Nb}}{A_{c,Nb}^0} \psi_{s,Nb} \psi_{g,Nb} \psi_{ec,Nb} \psi_{ucr,N} \quad (15)$$

Hierbei sind $N_{Rk,cb}^0 = 8c_1 \sqrt{A_h} \sqrt{f_{ck,cube}}$ der charakteristische Widerstand gegen lokalen Betonausbruch eines Einzelankers; A_h die Aufstandsfläche des Hülseankers; c_1 der maßgebende Randabstand; c_2 der Abstand zu einem weiteren Rand senkrecht zu c_1 ; $\psi_{g,Nb} = \sqrt{n} + (1 - \sqrt{n}) \frac{s_1}{4c_1} \geq 1$ ein

Faktor zur Berücksichtigung der Aufstandsflächen benachbarter Anker bei Gruppenbefestigungen (mit $s_1 \leq 4c_1$); n die Anzahl der Anker unter Zugbeanspruchung parallel zum Rand; $\psi_{ec,Nb} = \frac{1}{1 + 2e_N / (4c_1)}$ ein Faktor zur Berücksichtigung einer exzentrisch angreifenden Zuglast bei einer Reihenbefestigung; e_N die Ausmitte der resultierenden Zugkraft

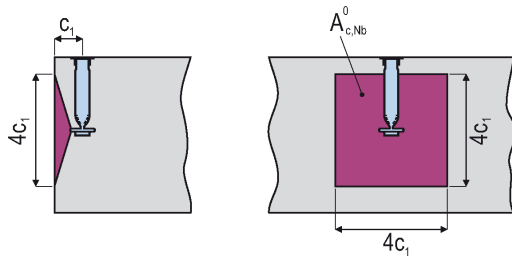


Bild 6. Idealisierter Betonausbruchkörper und Ausbruchfläche $A_{c,Nb}^0$ bei lokalem Betonausbruch eines Einzelankers unter Zuglast (aus [12], überarbeitet)

Fig. 6. Idealised concrete break-out body and area $A_{c,Nb}^0$ of an individual fastener in case of blow-out failure (taken from [12], revised)

der zugbeanspruchten Anker; $\psi_{s,Nb}$ ein Faktor zur Berücksichtigung des Eckeneinflusses, er kann analog zu $\psi_{s,N}$ nach Abschnitt 2.2.3 ermittelt werden; $\psi_{ucr,N}$ ein Faktor zur Berücksichtigung des Betonzustandes (ungerissen/gerissen) nach Abschnitt 2.2.2.

Der geometrische Einfluss von Rand- und Achsabständen auf die Betonausbruchlast wird in Gleichung (15) durch den Faktor $A_{c,Nb}/A_{c,Nb}^0$ berücksichtigt. Hierbei sind $A_{c,Nb}^0$ die projizierte Fläche des idealisierten Ausbruchkörpers einer Einzelverankerung mit großem Achs- und Randabstand (Bild 6) und $A_{c,Nb}$ die vorhandene projizierte Fläche des Ausbruchkörpers der Verankerung unter der Berücksichtigung der Bauteilränder und eventueller Überschneidungen der Ausbruchkörper benachbarter Anker (Bild 7).

Für die Versagensart lokaler Betonausbruch kann der Bemessungswert mit einem Teilsicherheitswert von $\gamma_{Mc} = 1,5$ berechnet werden.

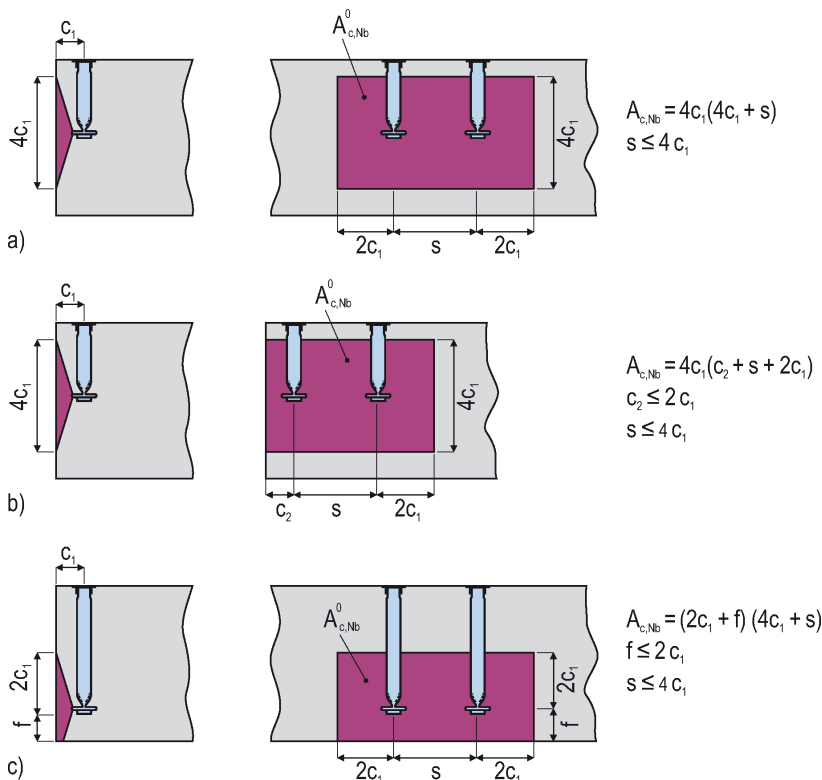


Bild 7. Vorhandene idealisierte Betonausbruchkörper und Ausbruchflächen $A_{c,Nb}$ für die Versagensart lokaler Betonausbruch für verschiedene Anordnungen von Hülseankern unter Zuglast (aus [12], überarbeitet)

Fig. 7. Actual areas $A_{c,Nb}$ of the idealised concrete break-out bodies of different arrangements of fasteners under axial loading in case of blow-out failure (taken from [12], revised)

2.3 Querbeanspruchung

2.3.1 Stahlversagen der Hülseanker

Stahlbruch tritt meist bei großem Randabstand und ausreichender Verankerungstiefe auf. Es kann dabei kurz vor dem Erreichen der Höchstlast zu einem muschelförmigen Abplatzen des oberflächennahen Betons kommen. Man unterscheidet ein Stahlversagen infolge von Querlasten mit und ohne Hebelarm. Für Querlasten ohne Hebelarm können die charakteristischen Stahltragfähigkeiten $V_{Rk,s}$ den ETAs entnommen werden. Dort sind auch die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Ms} zur Berechnung der Bemessungstragfähigkeit $V_{Rd,s} = V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$ tabelliert.

Für Querlasten mit Hebelarm (Abstandsmontage) ergibt sich die Stahltragfähigkeit zu:

$$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M M_{Rk,s}}{l} \quad (16)$$

Hierbei sind α_M ein Faktor zur Berücksichtigung des Einspanngrades des Anbauteils ($\alpha_M = 1,0$ keine Einspannung vorhanden (Anbauteil frei drehbar) und $\alpha_M = 2,0$ Volleinspannung (Anbauteil nicht drehbar)); l der Hebelarm der einwirkenden Querkraft; $M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed}/N_{Rd,s})$ der charakteristische Biegezugwiderstand unter Zugbeanspruchung mit $N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$ und $M_{Rk,s}^0$ als Grundwert des charakteristischen Biegezugwiderstands eines einzelnen Ankers (die entsprechenden Werte können den ETAs entnommen werden).

Zur Bestimmung des Bemessungswertes des Widerstands gegen Stahlversagen unter Querbeanspruchung kann der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ms} der jeweiligen ETA entnommen werden.

2.3.2 Betonkantenbruch

Bei kleinen Randabständen kann es unter Querbeanspruchung zu einem Betonkantenbruch kommen. Bei Ankergruppen kann sich dabei ein gemeinsamer Ausbruchkörper ausbilden. Sind die Anker in einer Bauteilecke oder in einem dünnen bzw. schmalen Bauteil angeordnet, kann sich der Bruchkörper nicht vollständig ausbilden (Bild 8a), sodass sich geringere Traglasten als bei Befestigung in einem ungestörten Bauteil ergeben [1]. Der Nachweis kann entfallen, wenn der Abstand der Hülseanker zum nächstgelegenen Rand c größer als $10h_{ef}$ oder $60d_{nom}$ ist (mit d_{nom} als Schaftdurchmesser des Hülseankers). Der charakteristische Widerstand gegen Betonkantenbruch ergibt sich für eine Einzelbefestigung bzw. eine Ankergruppe zu:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,V} \psi_{h,V} \psi_{ec,V} \psi_{a,V} \psi_{re,V} \quad (17)$$

Hierbei sind $V_{Rk,c}^0 = 1,6 d_{nom}^\alpha l_f^\beta \sqrt{f_{ck,cube}} c_1^{1,5}$ die charakteristische Bruchlast eines Einzelankers im gerissenen Beton; d_{nom} der Schaftdurchmesser; l_f die wirksame Lasteinleitungslänge (Werte für d_{nom} und l_f sind den ETAs zu entnehmen);

$$\alpha = 0,1 \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0,5} \quad \text{und} \quad \beta = 0,1 \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0,2} \quad \text{zwei em-}$$

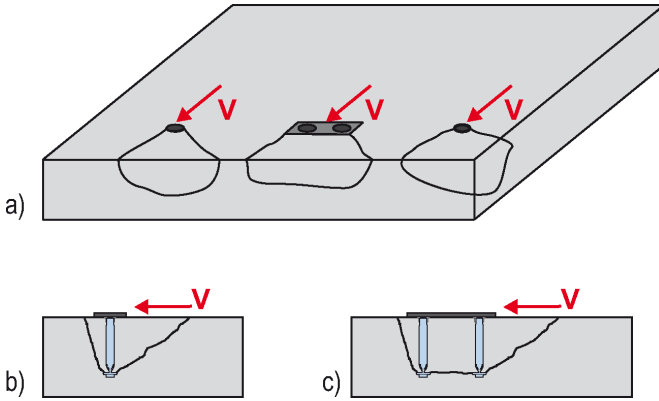


Bild 8. Betonkantenbruch (a) und rückwärtiger Betonausbruch (b), (c)
Fig. 8. Concrete edge failure (a) and concrete pry-out failure (b), (c)

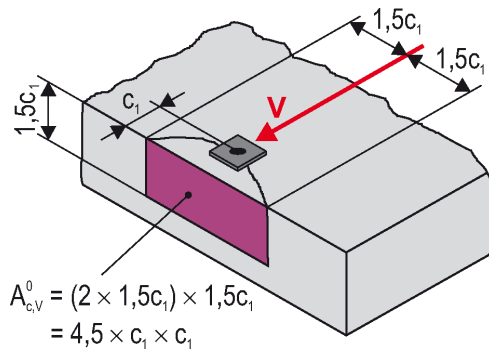


Bild 9. Idealisierter Betonausbruchkörper und projizierte Fläche $A_{c,V}^0$ eines Einzelankers unter Querlast (aus [12], überarbeitet)

Fig. 9. Idealised concrete break-out body and area $A_{c,V}^0$ of an individual fastener under shear load (taken from [12], revised)

pirische Faktoren zur Berücksichtigung der wirksamen Lasteinleitungslänge und des Einflusses des Schaftdurchmessers; c_1 der Randabstand in Richtung der Querkraft; $\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3c_2 / (1,5c_1) \leq 1,0$ ein Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses eines weiteren Bauteilrandes mit dem Abstand c_2 ; $\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5c_1}{h} \right)^{0,5} \geq 1$ ein Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Bauteildicke h ;

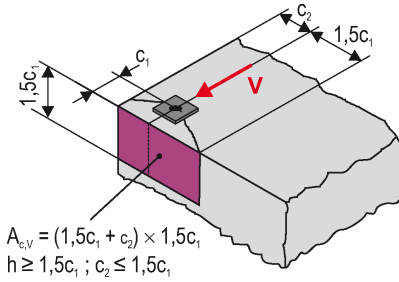
$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2e_V / (3c_1)} \leq 1$ ein Faktor zur Berücksichtigung

des Einflusses einer exzentrisch angreifenden Querkraft; e_V die Ausmitte der resultierenden Querkraft der Befestigungs-

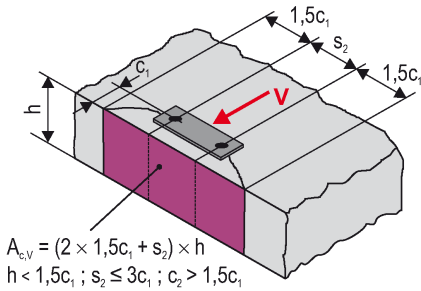
gruppe; $\psi_{a,V} = \frac{1}{\sqrt{(\cos \alpha_V)^2 + (0,4 \sin \alpha_V)^2}} \geq 1$ ein Faktor zur

Berücksichtigung der Richtung des Lastangriffs; α_V der Winkel zwischen der einwirkenden Querlast V und einer Linie senkrecht zum betrachteten Bauteilrand; $\psi_{re,V}$ ein Faktor zur Berücksichtigung des Betonzustandes (ungerissen/gerissen) bzw. einer vorhandenen Randbewehrung.

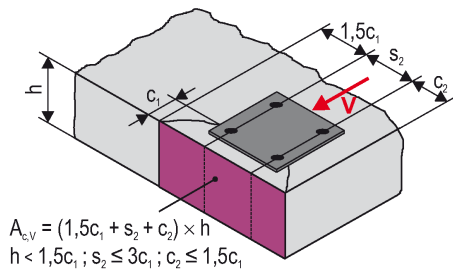
Der Einfluss der Rand- und Achsabstände sowie der Bauteildicke auf den charakteristischen Widerstand wird in Gleichung (17) durch den Faktor $A_{c,V} / A_{c,V}^0$ berücksichtigt. Hierbei sind $A_{c,V}^0$ die projizierte Fläche einer Einzelverankerung mit großem Achs- und Randabstand auf der Betonoberfläche (Bild 9) und $A_{c,V}$ die vorhandene projizierte Fläche des Ausbruchkörpers der Verankerung auf der Betonoberfläche



a) Einzelbefestigung in einer Bauteilecke



b) randnahe 2er-Gruppe in dünner Platte



c) 4er-Gruppe in der Ecke einer dünnen Platte

Bild 10. Vorhandene Flächen idealisierter Betonausbruchkörper $A_{c,V}$ bei verschiedenen Anordnungen von Hülseankern unter Querlast (aus [12], überarbeitet)

Fig. 10. Actual areas $A_{c,V}$ of the idealised concrete break-out bodies of different fastener groups under shear loading (taken from [12], revised)

(Bild 10). Die Überschneidung der einzelnen Ausbruchkörper benachbarter Befestigungen ($s \leq 3c_1$), die Bauteilränder ($c_2 \leq 1,5c_1$) und die Bauteildicke ($h \leq 1,5c_1$) begrenzen die vorhandene projizierte Fläche $A_{c,V}$ (Bild 10).

Für Befestigungen in schmalen, dünnen Bauteilen mit $c_{2,max} \leq 1,5c_1$ und $h \leq 1,5c_1$ führt die Gleichung (17) zu konservativen Ergebnissen. Genauere Ergebnisse erhält man, wenn bei einer Einzelbefestigung c_1 wie folgt begrenzt wird:

$$c_1' = \max \left\{ c_{2,max} / 1,5 \right. \\ \left. h / 1,5 \right\} \quad (18)$$

Hierbei ist $c_{2,max}$ der größere der beiden Randabstände parallel zur Lasttrichtung.

Bei Mehrfachbefestigungen kann c_1 auf den folgenden Wert begrenzt werden:

$$c_1' = \max \left\{ c_{2,max} / 1,5 \right. \\ \left. s_{max} / 3 \right\} \quad (19)$$

Hierbei ist s_{max} der maximale Abstand zwischen zwei benachbarten Ankern einer Gruppenbefestigung. Der Wert c_1 ersetzt in allen genannten Gleichungen c_1 . Dies gilt auch für die Ermittlung von $A_{c,V}^0$ und $A_{c,V}$.

Für die Berechnung des Bemessungswerts gegen Betonkantenbruch ist ein Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} von 1,5 anzusetzen.

2.3.3 Rückwärtiger Betonausbruch

Bei großen Randabständen kann bei steifen, nicht ausreichend tief verankerten Befestigungsmitteln ein Ausbrechen des Betons auf der lastabgewandten Seite (*concrete pry-out failure*) auftreten. Bei Gruppenbefestigungen bildet sich ein gemeinsamer Bruchkörper aus. Der Widerstand gegen rückwärtigen Betonausbruch kann nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$V_{Rk,cp} = k_3 N_{Rk,c} \quad (20)$$

Hierbei sind k_3 ein empirischer Faktor, der den ETAs zu entnehmen ist, und $N_{Rk,c}$ der charakteristische Widerstand gegen kegelförmigen Betonausbruch unter Zugbeanspruchung nach Gleichung (6) unter Verwendung der Lastaufteilung und der Exzentrizitäten der Querlasten [20]. Für die Ermittlung des Bemessungswertes des Widerstands gegen rückwärtigen Betonausbruch ist ein Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} von 1,5 anzusetzen.

2.4 Kombinierte Zug- und Querbelastung

Bei kombinierter Beanspruchung durch Zug- und Querlasten sind zusätzlich zu den oben genannten Einzelnachweisen abhängig von der Versagensart folgende Interaktionsgleichungen zu überprüfen:

$$\beta_N^2 + \beta_V^2 \leq 1,0 \quad (21a)$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2 \quad (21b)$$

$$\beta_N^{1,5} + \beta_V^{1,5} \leq 1,0 \quad (21c)$$

Hierbei sind $\beta_N = N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1$ der maximale Ausnutzungsgrad unter Zugbeanspruchung und $\beta_V = V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$ der maximale Ausnutzungsgrad unter Querkraftbeanspruchung. Gleichung (21a) ist anzuwenden, wenn sowohl unter Zugbeanspruchung als auch unter Querkraftbeanspruchung Stahlversagen maßgebend wird. Für alle übrigen Versagensarten sollte eine der Gleichungen (21b) oder (21c) erfüllt sein.

3 Parameterstudien

3.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Tragfähigkeiten von T-FIXX Hülseankern, Bolzenankern und von Wellenankern verglichen. Es wurde jeweils die galvanisch verzinkte Ausführung der Anker gewählt. Da in der Praxis in vielen Fällen für die Auswahl des Ankers die absolute Ankerlänge bzw. die sich daraus ergebenden Mindestbauteilabmessungen maßgebend werden, wurden für den Vergleich in etwa gleich lange Anker ausgewählt: ein T-FIXX Hülseanker M12 × 95 ($L = 97$ mm einschließlich Datenclip), ein Bolzenanker M12 × 100 ($L = 102$ mm einschließlich Datenclip) und ein Wellenanker Rd12 × 108 ($L = 110$ mm einschließlich Daten-

clip). Es ergibt sich somit für alle drei Anker eine ähnlich große erforderliche Mindestbauteildicke. Der gewählte Wellenanker besitzt ein Rundgewinde, das jedoch keinerlei Einfluss auf die Tragfähigkeit hat. In den Parameterrechnungen wurden eine Rand- und eine Ecksituation jeweils bei reiner Zug- und Querbeanspruchung betrachtet. In beiden Fällen wurde der Randabstand zwischen 50 mm und 150 mm variiert. Dabei entsprechen die 50 mm dem gemäß den ETAs minimal zulässigen Randstand. Bei einem Randabstand von 150 mm ist in vielen Fällen keine Beeinflussung der Tragfähigkeit durch einen Rand mehr festzustellen. Bei der Ecksituation wurden die beiden Randabstände gleich gewählt. Die Bauteildicke betrug 130 mm und entsprach damit der Mindestbauteildicke des Wellenankers Rd12 × 108. Die Mindestbauteildicken des ausgewählten T-FIXX Hülseankers und des Bolzenankers befinden sich mit 117 mm bzw. 122 mm in der gleichen Größenordnung. In den Diagrammen wurde der Bemessungswert der rechnerischen Tragfähigkeit über dem Randabstand c_1 bzw. c_2 aufgetragen. Die Tragfähigkeiten wurden jeweils für gerissenen und ungerissenen Beton ermittelt, dabei wurden zwei Betondruckfestigkeitsklassen C 25/30 und C 40/50 berücksichtigt. Für die Längsbewehrung wurde ein Achsabstand größer als 150 mm angesetzt und das Vorhandensein einer Spaltbewehrung nach CEN/TS 1992-4 vorausgesetzt.

3.2 Randeinfluss

3.2.1 Zugbeanspruchung

Für eine reine Zugbeanspruchung sind in **Bild 11a** die Ergebnisse der Parameterrechnung zum Randeinfluss für die Betondruckfestigkeitsklasse C 25/30 dargestellt. Im ungerissenen Beton erreicht der Bolzenanker M12 × 100 über alle Randabstände den größten und der Wellenanker Rd12 × 108 den geringsten Tragwiderstand. Für Randabstände c_1 größer als etwa 87 mm versagt der Bolzenanker auf Herausziehen, d.h. die Stahltragfähigkeit wird für die gewählte Betondruckfestigkeitsklasse C 25/30 nicht erreicht. Für kleinere Randabstände wird die Versagensart kegelförmiger Betonausbruch maßgebend. Für den T-FIXX Hülseanker M12 × 95 wird bei allen Randabständen Stahlversagen maßgebend. Beim Wellenanker Rd12 × 108 wird für einen Randabstand c_1 größer als etwa 81 mm das Herausziehen des Ankers maßgebend. Dies ist eine Folge des unterschiedlichen Verankerungsmechanismus des Wellenankers, der für die untersuchten Randbedingungen im Vergleich zum Bolzenanker und T-FIXX Hülseanker zu geringeren Tragfähigkeiten führt. Für kleinere Randabstände wird ein kegelförmiger Betonausbruch des Wellenankers maßgebend. Die Tragwiderstände des Wellenankers sind jedoch aufgrund der kleineren, die Betonausbruchslast maßgeblich beeinflussenden effektiven Verankerungstiefe von $h_{ef} = 54$ mm deutlich geringer als für den Bolzenanker M12 × 100 ($h_{ef} = 94$ mm) und den T-FIXX Hülseanker M12 × 95 ($h_{ef} = 87,5$ mm).

Für gerissenen Beton ergeben sich die gleichen Tendenzen. Beim Bolzenanker wird für Randabstände kleiner als etwa 86 mm der kegelförmige Betonausbruch und für größere Randabstände das Herausziehen des Ankers maßgebend. Für den T-FIXX Hülseanker wird bei kleinen Randabständen ($c_1 \leq 71$ mm) der kegelförmige Betonausbruch bestimmend, ansonsten tritt wie in ungerissenen Beton Stahlversagen auf. Der Wellenanker versagt rechnerisch bei kleinen Randabständen durch einen kegelförmigen Betonausbruch

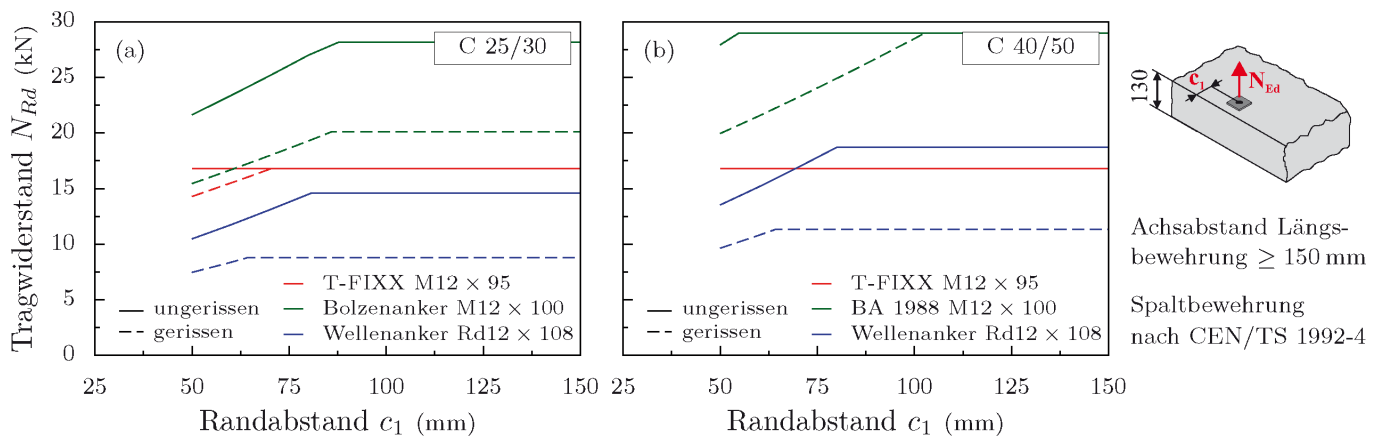


Bild 11. Einfluss des Randabstandes und der Betondruckfestigkeit auf die Zugtragfähigkeit nach CEN/TS 1992-4

Fig. 11. Influence of the edge distance and the concrete compressive strength on the tension resistance according to CEN/TS 1992-4

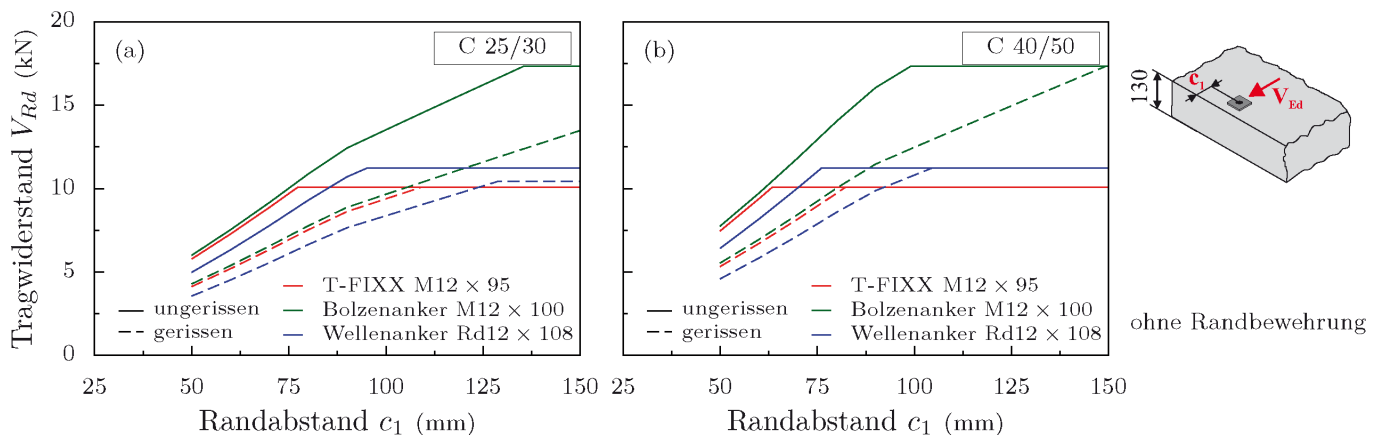


Bild 12. Einfluss des Randabstandes und der Betondruckfestigkeit auf die Querkrafttragfähigkeit nach CEN/TS 1992-4

Fig. 12. Influence of the edge distance and the concrete compressive strength on the shear resistance according to CEN/TS 1992-4

und bei größeren Randabständen infolge Herausziehen. Für eine größere Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 ergeben sich bei reiner Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton für den Bolzenanker die größten Tragfähigkeiten (Bild 11b). Aufgrund der größeren Stahltragfähigkeit erreicht der Wellenanker für größere Randabstände ($c_1 \geq 81$ mm) einen etwas größeren Tragwiderstand als der T-FIXX Hülseanker. Aufgrund der höheren Betondruckfestigkeit tritt beim T-FIXX Hülseanker generell ein Stahlversagen und bei den anderen Ankertypen für größere Randabstände Stahlversagen auf.

Für eine Betonfestigkeitsklasse C 40/50 und gerissenen Beton ergeben sich für den Bolzenanker wiederum die größten Tragwiderstände. Allerdings wird die Stahltragfähigkeit des Ankers im Vergleich zu dem ungerissenen Beton erst ab einem deutlich größeren Randabstand von $c_1 = 103$ mm erreicht. Für den T-FIXX Hülseanker wird im untersuchten Anwendungsbereich immer die Stahltragfähigkeit maßgebend, sodass sich die gleichen Tragfähigkeiten wie für ungerissenen Beton ergeben. Aufgrund der in gerissenem Beton relativ geringen Tragwiderstände gegen Herausziehen ergeben sich für den Wellenanker die kleinsten aufnehmbaren Zuglasten.

3.2.2 Querbeanspruchung

In Bild 12a sind für eine Betonfestigkeitsklasse C 25/30 die maximal aufnehmbaren Querlasten über dem Randabstand c_1 aufgetragen. Im ungerissenen Zustand wird von allen drei Ankertypen die Stahltragfähigkeit für große Randabstände

erreicht. Der Bolzenanker kann dabei aufgrund seiner großen Stahltragfähigkeit die größte Querbeanspruchung aufnehmen. Die Tragwiderstände des Wellenankers und des T-FIXX Hülseankers sind unter Querbeanspruchung deutlich geringer. Für kleinere Randabstände wird bei allen drei Ankertypen der Betondeckungsbruch maßgebend, da die projizierte Fläche des idealisierten Ausbruchs körpers $A_{c,v}$ (Bild 9) mit kleiner werdendem Randabstand c_1 geringer wird. Da der charakteristische Grundwert des Widerstands gegen Betondeckungsbruch $V_{Rk,c}^0$ eine Funktion der wirksamen Lasteinleitungslänge l_f ist, ergeben sich für den Wellenanker ($l_f = 42$ mm) die kleinsten und für den Bolzenanker ($l_f = 92$ mm) die größten Tragfähigkeiten. In gerissenem Beton werden beim T-FIXX Hülseanker und beim Bolzenanker bei ausreichend großem Randabstand die Stahltragfähigkeit erreicht. Beim Wellenanker wird dagegen der rückwärtige Betondeckungsbruch maßgebend. Für den Wellenanker Rd12 x 108 ergibt sich der Tragwiderstand für den rückwärtigen Betondeckungsbruch als 1,0-facher Wert ($k_3 = 1,0$) des Tragwiderstands, der unter Zugbeanspruchung für kegelförmigen Betondeckungsbruch des Ankers erreicht wird. Sowohl für den T-FIXX Hülseanker M12 x 95 als auch für den Bolzenanker M12 x 100 darf für den rückwärtigen Betondeckungsbruch der 2,0-fache Wert ($k_3 = 2,0$) des Widerstands gegen kegelförmigen Betondeckungsbruch angesetzt werden. Des Weiteren ergibt sich für den Wellenanker aufgrund der relativ kleinen effektiven Verankerungstiefe von $h_{ef} = 54,0$ mm im Vergleich zu den beiden anderen Ankertypen bereits ein deutlich kleinerer Widerstand gegen kegelförmigen Beton-

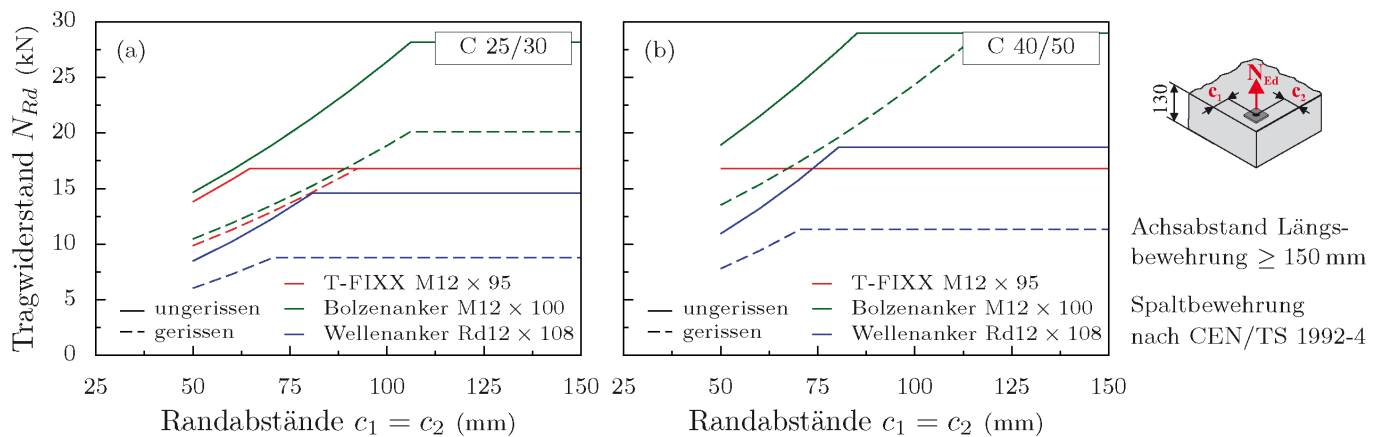


Bild 13. Einfluss des Randabstandes und der Betondruckfestigkeit auf die Zugtragfähigkeit nach CEN/TS 1992-4 für eine Eckanordnung

Fig. 13. Influence of the edge distance and the concrete compressive strength on the tension resistance according to CEN/TS 1992-4 at a corner

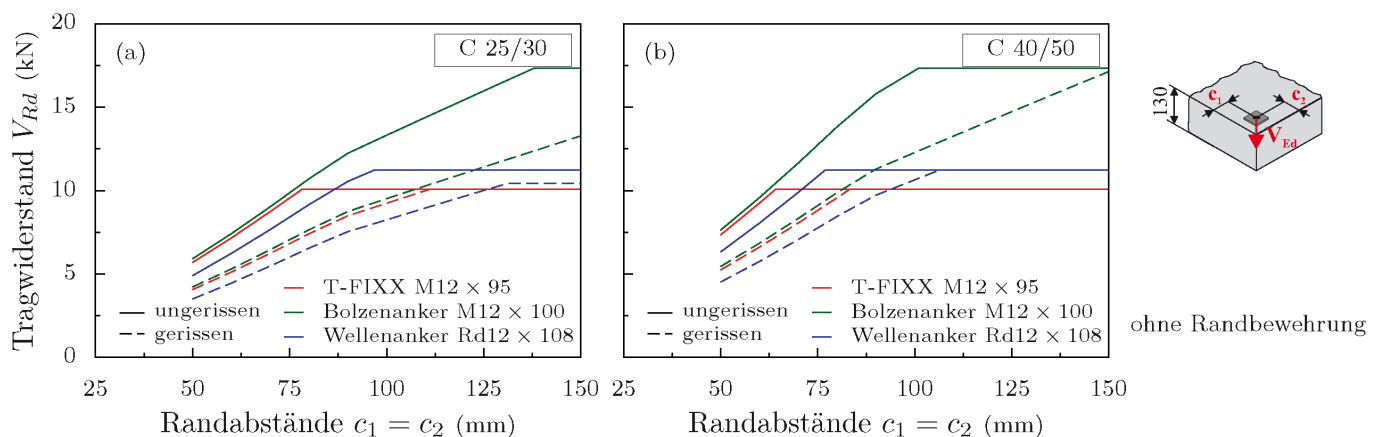


Bild 14. Einfluss des Randabstandes und der Betondruckfestigkeit auf die Querkrafttragfähigkeit nach CEN/TS 1992-4 für eine Eckanordnung

Fig. 14. Influence of the edge distance and the concrete compressive strength on the shear resistance according to CEN/TS 1992-4 at a corner

ausbruch unter Zugbeanspruchung (T-FIXX Hülseanker $h_{ef} = 87,5$ mm und Bolzenanker $h_{ef} = 94,0$ mm), der direkt in die Berechnung des Widerstands gegen rückwärtigen Betonausbruch eingeht.

Für eine Betondruckfestigkeitsklasse von C 40/50 erreichen alle drei Ankertypen die Stahltragfähigkeit, wenn der Randabstand c_1 ausreichend groß ist (Bild 12b). Für kleinere Randabstände wird der Betonkantenbruch maßgebend. Insgesamt erreicht der Bolzenanker sowohl für ungerissenen als auch für gerissenen Beton die größten Tragfähigkeiten. Auf deutlich geringerem Lastniveau erreicht der Wellenanker bei größeren Randabständen etwas größere aufnehmbare Querlasten als der T-FIXX Hülseanker.

3.3 Eckeinfluss

3.3.1 Zugbeanspruchung

Für eine Betondruckfestigkeitsklasse C 25/30 werden in **Bild 13a** für eine Ecksituation die Tragfähigkeiten der drei Ankertypen bei reiner Zugbeanspruchung verglichen. Die Abstände zu den beiden Rändern wurden in der Parameterrechnung gleich groß gewählt ($c_1 = c_2$). Grundsätzlich ergeben sich die gleichen Tendenzen wie bei der Randsituation (Abschnitt 3.2.1). Sowohl der Bolzenanker als auch der Wellenanker versagen bei einem ausreichend großen Randabstand durch ein Herausziehen des Ankers. Der T-FIXX Hülseanker versagt dagegen rechnerisch infolge Stahlversagen. Dies ist auf seine im Vergleich zu den beiden anderen Ankertypen kleine Stahltragfähigkeit zurückzuführen. Für kleinere Randabstände versagen alle Ankertypen durch ei-

nen kegelförmigen Betonausbruch. Absolut gesehen erreicht der Bolzenanker die größte Tragfähigkeit, gefolgt von dem T-FIXX Hülseanker und dem Wellenanker. In gerissenen Beton erreicht der Bolzenanker, der durch ein Herausziehen des Ankers versagt, bei großen Randabständen kaum höhere Tragfähigkeiten als der T-FIXX Hülseanker, bei dem ein Stahlversagen maßgebend wird.

Bei Wahl einer Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 erreichen im ungerissenen Zustand bei großen Randabständen alle untersuchten Ankertypen die Stahltragfähigkeit (Bild 13b). Bei gerissenen Beton versagt der Wellenanker dagegen vorzeitig durch ein Herausziehen des Ankers. Für kleine Randabstände wird bei allen Ankern ein kegelförmiger Betonausbruch maßgebend.

3.3.2 Querbeanspruchung

In **Bild 14a** und **b** sind die maximalen Tragfähigkeiten unter reiner Querbeanspruchung für die Betondruckfestigkeitsklassen C 25/30 bzw. C 40/50 dargestellt. Es ergeben sich nahezu die gleichen Werte wie für den Randeinfluss und somit die gleichen Tendenzen und Folgerungen wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben.

4 Zusammenfassung

Mittlerweile gibt es mehrere Europäische Technische Zulassungen (ETAs) für verschiedene Arten von Hülseankern. Die Bemessung dieser Ankertypen ist in CEN/TS 1992-4 geregelt. In diesem Artikel wurden die wesentlichen Bemes-

sungsregeln dieser Technischen Spezifikation vorgestellt. Anschließend wurde im Rahmen einer Parameterrechnung der Rand- und Eckenfluss auf die Tragfähigkeiten von T-FIXX Hülseankern, Bolzenankern und Wellenankern untersucht. Dabei wurden drei Anker mit nahezu der gleichen Einbaulänge ausgewählt. Die Tragfähigkeiten wurden jeweils für den ungerissenen und den gerissenen Zustand sowie zwei Betondruckfestigkeiten C 25/30 und C 40/50 überprüft. Anhand der Parameterrechnung können für die untersuchten Ankergrößen folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

- Bolzenanker weisen die größte Stahltragfähigkeit auf. Wellenanker erreichen sowohl bei Zug- als auch bei Querbeanspruchung eine etwas höhere Stahltragfähigkeit als die T-FIXX Hülseanker. Die Stahltragfähigkeit wird bei ausreichend großen Randabständen oder bei kleineren Randabständen in Kombination mit einer hohen Betondruckfestigkeit maßgebend.

- Bei gleicher Ankerlänge besitzt der Wellenanker im Vergleich zu dem T-FIXX Hülseanker bzw. Bolzenanker eine kleinere effektive Verankerungstiefe. Daraus ergibt sich für den Wellenanker ein geringerer Widerstand gegen Betonausbruch. Das betrifft die Versagensarten kegelförmiger Betonausbruch, Betonkantenbruch und rückwärtiger Betonausbruch.
- Aufgrund der kopfbolzenartigen Verankerungselemente ergeben sich für den T-FIXX Hülseanker bzw. den Bolzenanker optimale Widerstände gegen ein Herausziehen des Ankers aus dem Bauteil. Der Widerstand gegen ein Herausziehen des Wellenankers ist dagegen vom Verbundverhalten und der Biegesteifigkeit des Betonstahls abhängig und führt zu geringeren Traglasten.

Literatur

- [1] Hofmann, J.E.: Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen unter beliebiger Querbelastung in ungerissenem Beton. Universität Stuttgart, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Diss. 2004.
- [2] Mallée, R.; Pusill-Wachtmuth, R.: Design of Anchors Close to an Edge under Shear Loading – Engineering approach for consideration of load direction. In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007), Supplement 1, S. 7–15.
- [3] Silva, J.F.: Open Questions in the Field of Anchorage to Concrete. In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007), Supplement 1, S. 2–6.
- [4] Hofmann, J.; Eligehausen, R.: Tragfähigkeit von randnahen Kopfbolzen bei der Versagensart seitlicher Betonausbruch. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), S. 386–393. doi: 10.1002/best.200900011
- [5] Lachinger, S.; Bergmeister, K.: Randnahe Mehrfachbefestigungen unter kombinierter Belastung – Experimentelle und theoretische Untersuchungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), S. 334–343. doi: 10.1002/best.201300091
- [6] Eligehausen, R.; Mallée, R.; Rehm, G.: Befestigungstechnik. In Betonkalender 1997, Teil II, S. 609–753. Berlin: Ernst & Sohn 1997.
- [7] Eligehausen, R.; Mallée, R.; Rehm, G.; Silva, J.F.: Befestigungstechnik im Beton- und Mauerwerksbau. Berlin: Ernst & Sohn, 2000.
- [8] Eligehausen, R.; Mallée, R.; Rehm, G.; Silva, J.F.: Anchorage in Concrete Constructions. Berlin: Ernst & Sohn, 2006.
- [9] Asmus, J.: Bemessung von zugbeanspruchten Befestigungen bei der Versagensart Spalten des Betons. Universität Stuttgart, Fakultät Bauingenieur-, Vermessungswesen, Diss. 1999.
- [10] Furche, J.; Eligehausen, R.: Lateral Blow-Out Failure of Headed Studs Near the Free Edge. In: Senkiw, G.A.; Lancelot, H.B. (Hrsg.): Anchors in Concrete, Design and Behavior. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1991 (Special Publications SP-130), S. 235–252.
- [11] CEN/TS 1992–4–1:2009 Mai 2009. Design of fastenings for use in concrete – Part 4–1: General (Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton – Teil 4–1: Allgemeines).
- [12] CEN/TS 1992–4–2:2009 Mai 2009. Design of fastenings for use in concrete – Part 4–2: Headed Fasteners (Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton – Teil 4–2: Kopfbolzen).
- [13] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 9. März 2011. Zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. Europäisches Amtsblatt L 88/5, 2011.
- [14] Europäische Technische Zulassung ETA-11/0288 Dezember 2012: PFEI-FER-DB-Anker-System. DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- [15] Europäische Technische Zulassung ETA-13/0401 Juni 2013: DEMU Bolzenanker. DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- [16] Europäische Technische Zulassung ETA-13/0222 Mai 2013: DEMU Hülseanker T-FIXX. DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- [17] Norm EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010 Dezember 2010. Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.
- [18] ETAG 001 März 1997 (3. Geänderte Fassung vom August 2010). Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete.
- [19] Norm EN 1992–1–1:2004 + AC:2010 Januar 2011. Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1–1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [20] fib Special Activity Group 4, Fastenings to structural concrete and masonry structures: Design of anchorages in concrete (fib Bulletin No. 58). Zürich: fib – fédération internationale du béton, 2011.