Bemessung von Befestigungen mit Stahldübeln – Zukünftiges Konzept

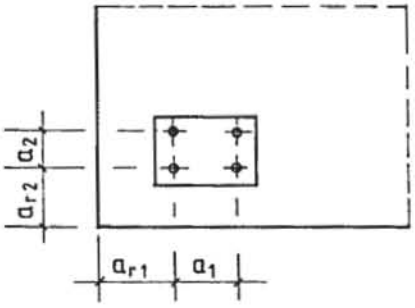
Design of Fastenings with Steel Anchors – Future Concept

Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart

1 Einleitung

Nach umfangreicher Forschungstätigkeit (u. a. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]) wurden 1984 erstmals für drei Dübelsysteme bauaufsichtliche Zulassungen für Befestigungen in der Zug- und Druckzone flächiger und stabförmiger Beton- und Stahlbetonbauteile erteilt [8]. Zwischenzeitlich wurden weitere Zulassungen ausgegeben [23] bzw. sind in der Beratung.

Nach diesen Zulassungen wird die zulässige Last von Einzeldübeln sowie von einem Dübel einer Zwei- oder Vierfachbefestigung nach dem sog. $\varkappa$-Verfahren ermittelt (Bild 1). Sie ergibt sich aus der zulässigen Last zul. F_0^E eines Einzeldübels mit großen Achs- und Randabständen durch Multiplikation mit den Beiwerten $\varkappa_a$ und $\varkappa_{ar}$. Die Beiwerte $\varkappa_a$ und $\varkappa_{ar}$ erfassen den Einfluß der vorhandenen Achs- und Randabstände auf die Tragfähigkeit der Befestigung. Die Werte für zul. F_0^E, die kritischen Achs- und Randabstände a_k bzw. a_{rk}, bei denen keine gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Dübeln bzw. kein Einfluß des Bauteilrandes vorliegt, sowie die minimal zulässigen Abstände sind in den Zulassungsbescheiden angegeben.



$$\text{zul } F^E = \varkappa_{ar1} \cdot \varkappa_{ar2} \cdot \varkappa_{a1} \cdot \varkappa_{a2} \cdot \text{zul } F_0^E$$

zul F^E = reduzierte zul. Last eines Dübels / reduced permissible load of an anchor

$$\varkappa_{ar} = \frac{a_r}{a_{rk}} \leq 1$$

$$\varkappa_a = 0{,}5\left(1 + \frac{a}{a_k}\right) \leq 1$$

a_{rk} = erf. Randabstand / critical edge distance

a_k = erf. Achsabstand / critical anchor spacing

für zul F_0^E / for zul F_0^E

zul F_0^E = zul. Last eines Einzeldübels / permissible load of an single anchor

zul F_0^E (Zugzone) / (tensile zone) $\approx 0{,}4 - 0{,}6$ zul F_0^E (Druckzone) / (compressive zone)

Bild 1. $\varkappa$-Verfahren nach Zulassungen für Dübel

Fig. 1. $\varkappa$-method for anchor fixings according to certification documents

Fig. 1. Procédé $\varkappa$ suivant agréations pour chevilles

Die Dübel sind in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe in Lastklassen eingeteilt (Bild 2). Die zulässige Last gilt für alle Beanspruchungsrichtungen. Verankerungen in der Zugzone werden als Regelfall angesehen. Die zugehörige zulässige Last beträgt je nach Verankerungstiefe das ca. 0,4- bis 0,6fache des für Verankerungen in der Druckzone geltenden Wertes. Allerdings

1 Introduction

In 1984, after comprehensive research (inter alia: [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]), three anchorage systems were for the first time granted certificates of official approval (agrément certificates) for use as fastenings in the tensile and the compressive zones of slab-type and beam-type concrete and reinforced concrete structural members [8]. Meanwhile further certificates have been issued [23] or are under consideration.

In compliance with these conditions of approval the permissible load of a single anchor and of an anchor in a double or quadruple fastening is determined by the so-called "$\varkappa$ method" (Fig. 1). It is calculated from the permissible load zul. F_0^E*) of an individual anchor (located at considerable distance from other anchors and from an edge of a structural member) by multiplication with the coefficients $\varkappa_a$ and $\varkappa_{ar}$. These coefficients take account of the effect of the actual anchor-to-anchor distance and edge distance upon the load-carrying capacity of the fastening. The values for zul. F_0^E, the critical anchor spacings and edge distances (a_k and a_{rk} respectively) for which adjacent anchors do not affect each other and there is no edge effect, as well as the minimum permissible spacings and distances, are stated in the certification documents.

The anchors are classified according to their anchorage depth into load classes (Fig. 2). The permissible load is valid for any direction of loading. Anchorages in the tensile zone are regarded as the normal case, for which the permissible load is – depending on anchorage depth – about 0.4–0.6 times the permissible load for anchorages in the compressive zone. However, the higher permissible loads for the latter category of anchorages are allowed to

*) The German abbreviation "zul." denotes "zulässig" (= permissible) and has been retained for convenience of notation

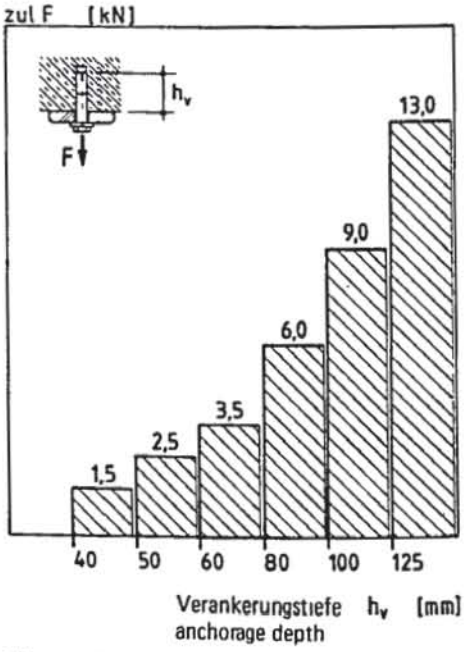


Bild 2. Lastklassen für Dübel in der Betonzugzone

Fig. 2. Load classes for anchors in the concrete tensile zone

Fig. 2. Catégories de charges pour chevilles dans la zone de traction du béton

dürfen die höheren zulässigen Lasten für Verankerungen in der Druckzone nur dann ausgenutzt werden, wenn in jedem Einzelfall – unter Berücksichtigung der durch die Verankerung eingeleiteten Lasten – nachgewiesen wird, daß in Haupttragrichtung des als Ankergrund dienenden Bauteiles auf der der Verankerung zugewandten Bauteilseite ständig Druckspannungen einwirken (Betonrandspannung <0), die Dübel also über die gesamte Verankerungstiefe im gedrückten Beton liegen. Für die Ermittlung der Schnittkräfte und Betonrandspannungen gilt DIN 1045. Schnittkräfte aus Zwangsbeanspruchungen sind dann zu berücksichtigen, wenn dies auch für die Bemessung des als Ankergrund dienenden Bauteils gefordert wird.

Mit Hilfe des $\varkappa$-Verfahrens, das in [9] ausführlich beschrieben ist, können Befestigungen mit bis zu vier Dübeln mit beliebigen Achs- und Randabständen für beliebige Belastungen bemessen werden. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber den bisherigen Zulassungen, die – von einigen Ausnahmen abgesehen – nur Einzeldübel in der Druckzone mit nicht praxisgerechten Achs- und Randabständen regelten. Trotzdem erscheint eine Verbesserung des Bemessungskonzeptes der Zulassungen sinnvoll.

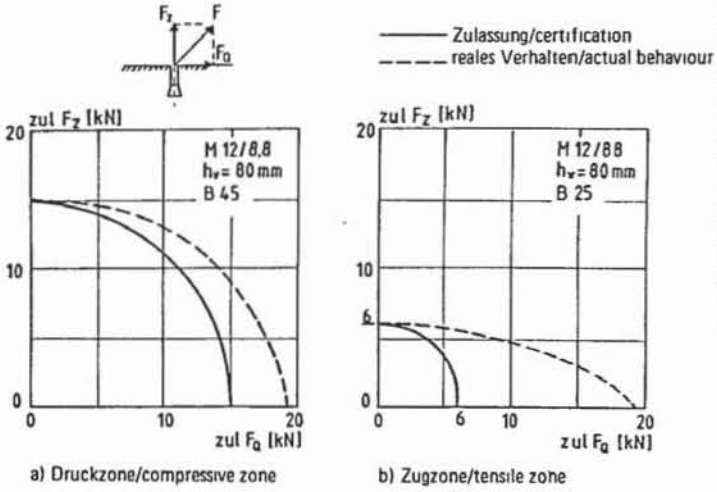


Bild 3. Interaktionsdiagramm nach Zulassung und realem Verhalten

Fig. 3. Interaction diagram according to certification documents and actual behaviour

Fig. 3. Diagramme d'interaction suivant agréation et comportement réel

Bild 3 zeigt die zulässige Last für Dübel M 12 (Verankerungtiefe h_v = 80 mm) mit großen Achs- und Randabständen in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung. Eingetragen sind die nach Versuchsergebnissen möglichen Werte sowie die Regelung nach den Zulassungen. Die in den Zulassungen angegebene zulässige Last gilt für alle Beanspruchungsrichtungen. Dies ergibt einen Kreisabschnitt im Interaktionsdiagramm. Maßgebend für die Festlegung der zulässigen Last ist die zentrische Zugbeanspruchung, die höhere Tragfähigkeit bei Querzugbeanspruchung wird vernachlässigt. Während die Unterschätzung der Querzugtragfähigkeit bei Verankerungen in der Druckzone und hochfestem Beton relativ gering ist (Bild 3 a), ist sie bei Verankerungen in der Zugzone (Bild 3 b) jedoch sehr groß.

In Bild 4 sind die nach den Gleichungen (3) bzw. (8) berechneten zulässigen Lasten eines Dübels am Bauteilrand mit einem Randabstand $a_r = 1{,}5\ h_v$ in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe h_v aufgetragen. Das Bild gilt für Verankerungen in der nachgewiesenen Druckzone und eine Betonfestigkeit B 25. Bei dem gewählten Randabstand ist kein Einfluß des Randes auf die zulässige Zuglast bei der Versagensart Betonausbruch vorhanden. Die zulässige Zugkraft ist größer als der für Querlasten geltende Wert. Da die in den Zulassungen angegebene zulässige Last für zentrischen Zug abgeleitet wurde und sie unabhängig von der Belastungsrichtung gilt, ist für die Festlegung des erforderlichen Randabstandes Querzugbeanspruchung maßgebend. Der kritische Randabstand wurde daher bei Hinterschnittdübeln zu $a_{rk} = 2\ h_v$ festgelegt, und der kritische Achsabstand wurde zu $a_k = 4\ h_v$ gewählt.

be utilized only if in each individual case it is, while taking due account of the loads transmitted by the anchorage, shown that the anchors are installed in concrete which is under compression over the full anchorage depth. More particularly this means that in the principal spanning direction of the structural member there is compressive stress permanently acting in the concrete on the face on which the anchorage is installed (i.e., extreme fibre stress on that face must be <0). The stress resultants and extreme fibre stresses in the concrete should be determined in accordance with DIN 1045. Stresses due to restraint effects should be taken into account if that is necessary also for designing the member in which the anchorage is installed.

With the aid of the $\varkappa$ method, which has been described more fully in [9], fixings with up to four anchors with any spacings and edge distances can be designed for any loading. This represents a significant advantage over the design rules hitherto given in the certification documents, which – with a few exceptions – relate only to single anchors in the compressive zone with spacings and edge distances not in accordance with practical requirements. However, some improvement in the design concept of the certification documents would appear appropriate.

Fig. 3 shows the permissible load for M 12 anchors (anchorage depth h_v = 80 mm), with wide spacings and large edge distances, as a function of the direction of loading. The possible values determined from test results and those determined from the rules contained in the certification documents are plotted in the diagrams. The permissible load according to these rules is valid for any direction of loading, so that the corresponding curve in the interaction diagram is part of a circle. The axial tensile loading condition (i.e., pure tension) governs the permissible load, while the higher load-carrying capacity under shear loading is ignored. Whereas the under-estimation of the shear carrying capacity in the compressive zone of high-strength concrete is relatively slight (Fig. 3 a), for anchorages in the tensile zone it is very considerable (Fig. 3 b).

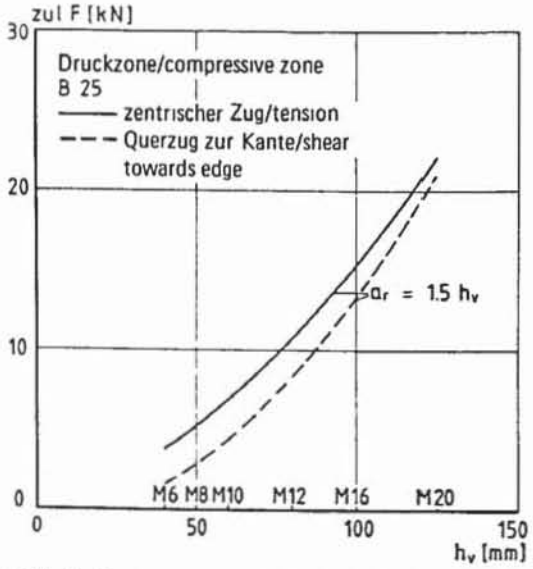


Bild 4. Zulässige Lasten nach Theorie für eine Befestigung am Bauteilrand bei Zug- bzw. Querzugbeanspruchung

Fig. 4. Permissible loads according to the theory for a fixing at the edge of a member under axial tension and shear

Fig. 4. Charges admissibles théoriques pour une fixation au bord d'un élément de construction sous sollicitations de traction et de traction transversale

In Fig. 4 the permissible loads – calculated from equations (3) and (8) respectively – of an anchor near the edge of the member (edge distance a_r = 1.5 h_v) has been plotted against the anchorage depth h_v. The diagram is valid for anchorages in the compressive zone of grade B 25 concrete. With the chosen edge distance there is no edge effect on the permissible tensile load for the failure mode "concrete break-out". The permissible tensile load is greater than the value for shear loading. Since the permissible load in accordance with the certification documents was evaluated for axial tensile loading and is valid independent of the direction of loading, the criterion for determining the required edge distance is

Bei der bisherigen Betrachtungsweise wird also jeweils die ungünstigste Beanspruchungsrichtung für die Ableitung der in den Zulassungen angegebenen zulässigen Last und kritischen Achs- und Randabstände zugrunde gelegt. Dies erlaubt zwar die Angabe von sehr einfachen Anwendungsregeln, führt jedoch in vielen Anwendungsfällen zu einer wesentlichen Unterschätzung der Leistungsfähigkeit einer Befestigung. Will man aus wirtschaftlichen Gründen die Tragfähigkeit von Dübelbefestigungen in allen Anwendungsfällen etwa gleichmäßig ausnutzen, muß bei der Bemessung nach den verschiedenen Beanspruchungsrichtungen (vgl. Bild 5) und Brucharten unterschieden werden. Diese Unterscheidung wird bereits in den Zulassungen für Kopfbolzen [10] getroffen.

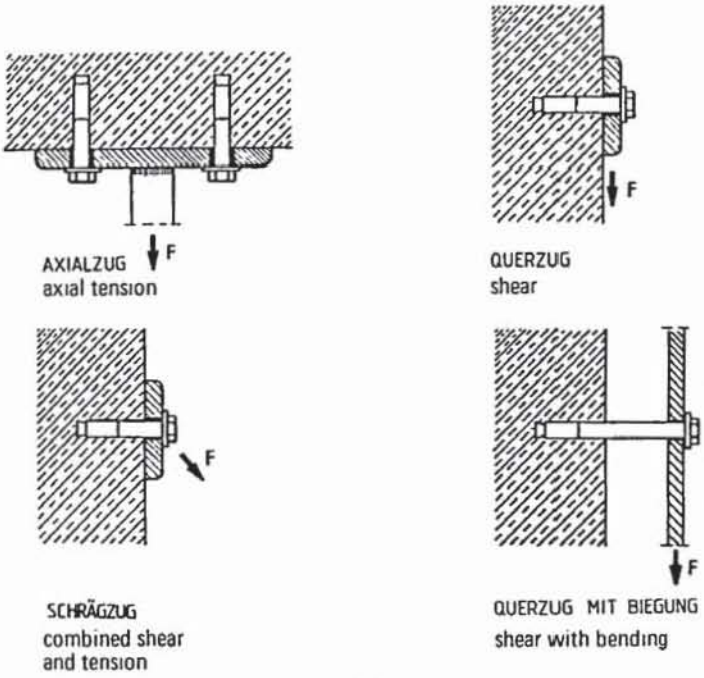


Bild 5. Beanspruchungsrichtungen von Befestigungen
Fig. 5. Loading directions of fastenings
Fig. 5. Directions de sollicitations de fixations

Im folgenden werden die Grundzüge dieses verbesserten Verfahrens erläutert. Die Ausführungen gelten für Metallspreiz- und Hinterschnittdübel, deren Eignung für Anwendungen in der Zugzone nach den in [5], [11] vorgeschlagenen und zwischenzeitlich vom zuständigen Sachverständigenausschuß „Dübel und Ankerschienen" verabschiedeten Prüf- und Beurteilungskriterien [12] nachgewiesen ist.

Weiterhin werden vorwiegend ruhende Lasten vorausgesetzt. Der Einfluß einer eventuell vorhandenen speziellen Bewehrung zur Rückhängung der Lasten in das Bauteilinnere wird vernachlässigt. Das Verfahren kann ohne Schwierigkeiten auf andere Befestigungselemente (z. B. Kopfbolzenanker und Ankerschienen) übertragen werden.

Es werden unterschiedliche Lasten für Befestigungen in der Druck- bzw. Zugzone angegeben. Die höheren zulässigen Lasten für Befestigungen in der Druckzone dürfen nur ausgenutzt werden, wenn in jedem Einzelfall – wie in den geltenden Zulassungen gefordert – nachgewiesen wird, daß die Dübel über die gesamte Verankerungstiefe im gedrückten Beton liegen (vgl. oben).

Leitet man mit Befestigungselementen (Dübel, Kopfbolzen oder Ankerschienen) örtlich hohe Lasten in den Beton ein, kann die Tragfähigkeit des als Ankergrund dienenden Bauteils reduziert werden [13], [14]. Dieses Problem wird hier nicht diskutiert. Es wird vorausgesetzt, daß die in den geltenden Zulassungen angegebenen Maßnahmen (Beschränkung der maximalen Last pro Befestigungspunkt sowie der durch Dübellasten hervorgerufenen Schubspannungen, Querbewehrung im Bereich der Verankerung) eingehalten werden.

shear loading. For undercut anchors the critical edge distance has therefore been specified as $a_{rk} = 2\ h_v$ and the critical centre-to-centre spacing as $a_k = 4\ h_v$.

In the approach hitherto adopted in the approval certificates, therefore, the most unfavourable direction of loading in any given instance is assumed for the derivation of the permissible load and of the critical spacings and edge distances respectively. Although this allows the design rules to be presented in a very simple form, in many cases it results in a considerable under-estimation of the load-carrying capacity of a fastening. If it is, for reasons of economy, desired to utilize the capacity of anchor-type fastenings more or less equally in all cases of application, it is necessary to adopt a more differentiated approach, i.e., to distinguish between different directions of loading (cf. Fig. 5) and modes of failure. This approach is already embodied in the approval certificates for headed studs [10].

The fundamentals of this improved design method will now be explained. These considerations apply to metal torque controlled expansion anchors and undercut anchors, whose suitability for application in the tensile zone in accordance with the testing and assessment criteria proposed in [5], [11] which have meanwhile been confirmed by the relevant committee of experts "Anchors and anchor channels" [12].

Predominantly static loading is presumed. The effect of any special reinforcement provided for transmitting the load into the interior of the structural member is not considered. The method can without difficulty be applied also to other types of fastenings (e.g., headed studs and cast-in anchor channels).

Different loads for fastenings installed in the compressive zone and tensile zone, respectively, are indicated. The higher permissible loads for fastenings in the compressive zone are allowed to be utilized only if, in each individual case, it is shown that the anchors are situated in concrete which is in compression over their full anchorage depth (see above).

If large loads are locally transmitted into the concrete through fastening elements (anchors, headed studs or anchor channels), the load-carrying capacity of the member in which they are installed may be reduced, i.e., its ability to perform the structural functions for which it was designed for may be impaired [13], [14]. This problem will not be discussed here. It is presupposed that the relevant precautions laid down in the certification documents (limitation of the maximum load per fastening point and of the shear stresses caused by the anchor loads; transverse reinforcement in anchorage zone) are duly complied with.

2 Design of anchor fastenings

2.1 Tensile loading

Failure of an anchor-type fastening may occur in consequence of pull-out without appreciable damage to the concrete, by break-out of concrete, by splitting or by steel fracture. The failure mode "pull-out" will as a rule not occur with the anchors under consideration here when anchored in the tensile zone, however, it may occur in the case of fastenings in the compressive zone. The admissible load in respect to the failure mode "pull-out" may be taken from the certification documents.

The failure "splitting of the concrete" is obviated by compliance with the specified spacings, edge distances and structural member thicknesses. Neither of these failure modes will therefore be considered here.

2.1.1 Steel failure

The permissible load zul. F_S^E of an anchor as governed by the load-carrying capacity of the steel is:

$$\text{zul. } F_S^E = A_s \cdot \text{zul. } \sigma \text{ [N]} \qquad (1)$$

where:

A_s = stressed cross-section [mm²]
zul. σ = permissible steel stress according to Table 1 [N/mm²]

In the case of a group of anchors loaded in axial tension the permissible load of the group is obtained from the value given by equation (1) multiplied by the number of anchors. If the anchors in

2 Bemessung von Dübelbefestigungen

2.1 Zugbeanspruchung

Das Versagen einer Befestigung kann durch Herausziehen ohne wesentliche Betonschädigungen, Betonausbruch, Spalten oder Stahlbruch erfolgen. Die Versagensart „Herausziehen" kommt bei den vorausgesetzten Dübeln bei Verankerung in der Zugzone in der Regel nicht vor, sie kann jedoch bei Verankerungen in der Druckzone auftreten. Die im Hinblick auf diese Versagensart zulässige Last ist den Zulassungen zu entnehmen. Die Versagensart „Spalten des Ankergrundes" wird durch die in den Zulassungen vorgeschriebenen Achs- und Randabstände sowie Bauteildicken verhindert. Beide Versagensarten werden im Rahmen dieses Aufsatzes nicht behandelt.

2.1.1 Stahlbruch

Die im Hinblick auf die Stahltragfähigkeit zulässige Last zul. F_S^E eines Dübels beträgt

$$\text{zul } F_S^E = A_s \cdot \text{zul. } \sigma \text{ [N]} \quad (1)$$

mit

A_s = Spannungsquerschnitt [mm²]

zul. σ zulässige Stahlspannung nach Tabelle 1 [N/mm²]

Bei einer auf zentrischen Zug beanspruchten Dübelgruppe ergibt sich die zulässige Last der Gruppe aus dem Wert nach Gleichung (1) multipliziert mit der Zahl der Dübel. Sind die Befestigungselemente einer Gruppe durch unterschiedlich hohe Zugkräfte beansprucht (z. B. bei Momentenangriff an der Ankerplatte), ist der höchstbeanspruchte Dübel nachzuweisen.

2.1.2 Betonausbruch

Bei der Versagensart „Betonausbruch" beträgt die mittlere Bruchlast eines im ungerissenen Beton verankerten Dübels mit großem Achs- und Randabstand nach [16]

$$F_u^E = 13{,}5\, h_v^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_w} \text{ [N]} \quad (2)$$

mit

h_v = Verankerungstiefe [mm]
Sie entspricht dem Abstand zwischen der Betonkante und dem Ende der Krafteinleitung (vgl. Bild 5 in [16]).

β_w = Betondruckfestigkeit, gemessen an Würfeln mit 20 cm Kantenlänge [N/mm²]

Diese Gleichung liefert etwa gleiche Traglasten wie die in [17] für Kopfbolzen vorgeschlagene Beziehung. Die 5%-Fraktile der Bruchlast beträgt

$$F_{u,5\%}^E = 10{,}5\, h_v^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_w} \text{ [N]} \quad (2\text{ a})$$

Die Bruchlast von Verankerungen in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen beträgt bei den als zulässig angesehenen Rißbreiten (w ~ 0,3–0,4 mm) etwa das 0,6fache des für Verankerungen in der Druckzone zu erwartenden Wertes. Bei geringen Verankerungstiefen und dichter Bewehrung ist das sog. „Schalenabplatzen" zu beachten (vgl. [16]).

Der Sachverständigenausschuß „Dübel und Ankerschienen" fordert bei Betonausbruch einen Sicherheitsbeiwert $\gamma = 3{,}0$, bezogen auf die 5%-Fraktile der Versuchsergebnisse. Da die im Bauwerk vorhandene Betondruckfestigkeit geringer sein kann als der aufgrund der Prüfung von Gütewürfeln unter Beachtung des Gestaltseinflusses zu erwartende Wert [18], soll die zulässige Last für $\beta_w = 0{,}8\, \beta_{wN}$ (β_{wN} = Nennfestigkeit des Betons nach DIN 1045) errechnet werden.

Bei Beachtung dieser Gesichtspunkte ergibt sich die zulässige Last zul. F_{Bo}^E eines Dübels mit großen Achs- und Randabständen zu

$$\text{zul. } F_{Bo}^E \text{ (Zugzone)} = \alpha \cdot 1{,}9 \cdot h_v^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \text{ [N]} \quad (3\text{ a})$$

$$\text{zul. } F_{Bo}^E \text{ (Druckzone)} = \alpha \cdot 3{,}1 \cdot h_v^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \text{ [N]} \quad (3\text{ b})$$

Es bedeuten:

β_{wN} = Nenndruckfestigkeit des Betons

α = Abminderungsfaktor bei geringen Verankerungstiefen wegen der Gefahr des Schalenabplatzens bei dichter Bewehrung
= 1,0 $h_v \geq 120$ mm
= 0,9 $h_v =$ 80 mm
= 0,8 $h_v =$ 60 mm
= 0,7 $h_v \leq$ 50 mm

Tabelle 1: Zulässige Stahlspannung für Gewindebolzen und Schrauben nach [15]

Table 1: Permissible steel stress for threaded anchors and bolts according to [15]

Stahlart steel grade	zul. Stahlspannung/permissible steel stress [N/mm²] zentrischer Zug axial tension	Abscheren shear	Biegung bending
4.6	110	112	160
5.6	150	168	200
5.8	160	120	250
8.8	256	230	400
A4–70 ≤ M 20	150	168	300
A4–70 > M 20	110	112	167

a group are subjected to tensile forces differing in magnitude (e.g., if a bending moment is acting on the anchor plate), the most severely loaded anchor should be analysed.

2.1.2 Concrete break-out failure

With the failure mode "concrete break-out" the average failure load of an anchor installed in uncracked concrete at some considerable distance from the edge and from adjacent anchors is, according to [16]:

$$F_u^E = 13.5\, h_v^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_w} \text{ [N]} \quad (2)$$

where:

h_v = anchorage depth [mm]
this corresponds to the distance between the face of the concrete and the end of the force transmission region (cf. Fig. 5 in [16])

β_w = compressive strength of concrete, measured on 20 cm test cubes [N/mm²]

This equation gives approximately the same results for the ultimate load as does the formula proposed for headed studs in [17]. The 5 per cent fractile of the failure load is:

$$F_{u,5\%}^E = 10.5\, h_v^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_w} \text{ [N]} \quad (2\text{ a})$$

The failure load of anchorages in the tensile zone of reinforced concrete members is, for the crack widths regarded as permissible (w = 0.3–0.4 mm), about 0.6 times the value that can be expected for anchorages in the compressive zone. For small anchorage depths and closely spaced reinforcing bars the phenomenon of "spalling of the concrete cover" must be reckoned with (cf. [16]).

The German committee of experts "Anchors and anchor channels" requires, in the case of concrete break-out, a safety factor $\gamma = 3.0$, referred to the 5 per cent fractile of the test results. Since the compressive strength of the concrete in the structure may be lower than the value determined from cube tests, having regard to the shape effect [18], the permissible load should be calculated for a compressive strength $\beta_w = 0.8\, \beta_{wN}$ (where β_{wN} is the specified strength of the concrete).

With due regard to these considerations the permissible load for an anchor widely spaced in relation to adjacent anchors and far from an edge is:

$$\text{zul. } F_{Bo}^E \text{ (tensile zone)} = \alpha \cdot 1.9 \cdot h_v^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \text{ [N]} \quad (3\text{ a})$$

$$\text{zul. } F_{Bo}^E \text{ (compressive zone)} = \alpha \cdot 3.1 \cdot h_v^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \text{ [N]} \quad (3\text{ b})$$

where:

β_{wN} = specified compressive strength of the concrete

α = reduction factor for small anchorage depths to allow for *spalling of the concrete cover in the case of closely* spaced reinforcement
= 1.0 $h_v \geq 120$ mm
= *0.9* $h_v =$ *80 mm*
= *0.8* $h_v =$ *60 mm*
= *0.7* $h_v \leq$ *50 mm*

The permissible loads indicated in the certification documents [23] are in agreement with the calculated values if the minimum anchorage depth of each particular load class (see Fig. 2) is substituted in equation (3) and if – as it is done in the certification documents – the factor α is neglected for fastenings with small anchorage depth in the compressive zone (Fig. 6). In the normal case this is indeed justified, but for anchorages in a heavily reinforced compressive zone the factor α should be introduced. The certification documents will be changed accordingly in the near future.

Die in den Zulassungen [23] angegebenen zulässigen Lasten stimmen mit den rechnerischen Werten überein, wenn in Gleichung (3) die jeweils minimale Verankerungstiefe der Lastklasse (vgl. Bild 2) eingesetzt und – wie in den Zulassungen – bei Befestigungen in der nachgewiesenen Druckzone mit geringer Verankerungstiefe der Einfluß der Schalenbildung (Faktor α) nicht berücksichtigt wird (Bild 6). Dies ist im Normalfall berechtigt, jedoch sollte man bei hoch bewehrter Druckzone den Faktor α ebenfalls ansetzen. Die Zulassungen sollen in Zukunft in diesem Sinne geändert werden.

Einige neuere Versuchsergebnisse zeigen, daß die Betonzugfestigkeit und damit die Betonausbruchlast bei Betondruckfestigkeiten $\beta_w \lesssim 40$ N/mm² nicht proportional in $\sqrt{\beta_w}$, sondern wesentlich geringer ansteigen kann. Die Gründe für dieses Verhalten sind noch nicht bekannt und noch Gegenstand der Forschung. Daher sollte man in Gleichung (3) Betonnennfestigkeiten $\beta_{wN} \geq 45$ N/mm² nur dann einsetzen, wenn die gemessene Betonzugfestigkeit in dem in [24] angegebenen Streubereich liegt.

Einige Dübelhersteller empfehlen eine größere Verankerungstiefe als den Minimalwert der zugehörigen Lastklasse. Da nicht immer sichergestellt ist, daß diese Dübel eine der vergrößerten Verankerungstiefe entsprechende Betonausbruchlast erzeugen (z. B. wegen zu geringer Spreizkraft bei Spreizdübeln oder zu geringer Aufstandsfläche bei Hinterschnittdübeln), ist als Rechenwert der Verankerungslänge nur der jeweilige Minimalwert der Lastklasse anzusetzen.

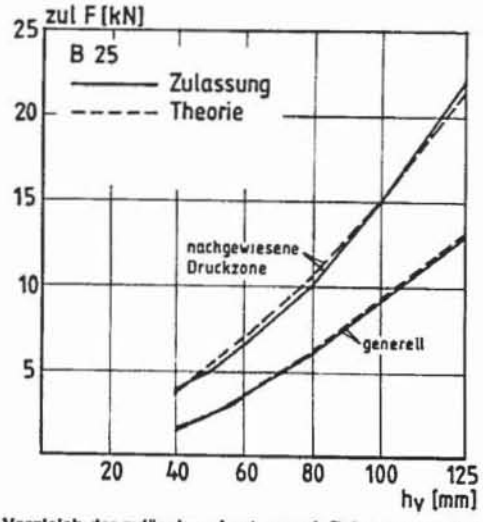


Bild 6. Vergleich der zulässigen Lasten nach Zulassung und Theorie

Fig. 6. Comparison of permissible loads according to certifications documents and according to the theory

Fig. 6. Comparaison des charges admissibles suivant agréation et théorie

Die Bemessung von Einzeldübeln und Dübelgruppen am Bauteilrand bzw. in der Bauteilfläche kann nach dem $\varkappa$-Verfahren erfolgen (vgl. Bild 1). In den Zulassungen sind nur Zwei- und Vierfachbefestigungen geregelt, das Verfahren kann jedoch ohne Schwierigkeiten auf beliebige Gruppen erweitert werden (Bild 7 a). Die entsprechenden Gleichungen sind oben in Bild 7 a angegeben. Sie werden im Diagramm im unteren Teil des Bildes für Befestigungen mit 3 bzw. 9 Dübeln ausgewertet. Zu beachten ist, daß mit den Gleichungen die zulässige Zugkraft eines Dübels der Dübelgruppe berechnet wird.

Man kann natürlich auch die zulässige Last der Gruppe berechnen, indem man die $\varkappa_a$-Beiwerte mit der Zahl der Dübel in der jeweiligen Richtung multipliziert. Berücksichtigt man, daß der Wert $(n-1) \cdot a$ dem Abstand der äußeren Dübel der Gruppe entspricht, erhält man die in Bild 7 b oben angegebenen Beziehungen. Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden zur Unterscheidung zu den Zulassungen die Beiwerte mit $\varkappa^*$ bezeichnet. Die Gleichungen gelten auch für ungleiche Dübelabstände, jedoch muß der Abstand aller Dübel kleiner als der Grenzwert a_k sein, bei dem sich die Dübel nicht mehr gegenseitig beeinflussen. Im Diagramm im unteren Teil des Bildes sind die Gleichungen ausgewertet. Danach beträgt die zulässige Last der Gruppe bei einem – nur im Gedankenmodell möglichen – Achsabstand a = 0

Some new test results show that the concrete tensile strength and therefore also the concrete break-out load might increase less than proportional to $\sqrt{\beta_w}$ if the concrete compressive strength is $\beta_w \lesssim 40$ N/mm². The reasons for this behaviour is not known get. It seems reasonable to insert in equation (3) a concrete compressive strength $\beta_{wN} \geq 45$ N/mm² only if the measured concrete tensile strength lies in between the scatter band given in [24].

Some manufacturs of anchor-type fastenings recommend a greater anchorage depth than the minimum value for the relevant load

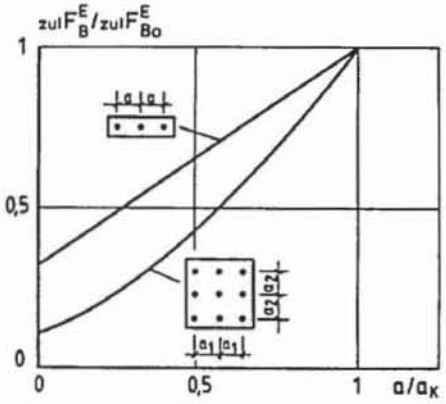
$$\text{zul}F_B^E = \varkappa_{a1} \cdot \varkappa_{a2} \cdot \text{zul}F_{Bo}^E$$

$$\varkappa_{ai} = \frac{1}{n}\left(1 + \frac{(n_i - 1)\, a_i}{a_K}\right) \leq 1$$

n_i = Zahl der Dübel in Richtung i
number of anchors in direction i

n = Zahl der Dübel der Gruppe
number of anchors in the group

$\text{zul}F_{Bo}^E$ = zul. Last Einzeldübel nach Gl. (3)
permissible load of a single anchor according to eg. (3)



a) zul. Zugkraft eines Dübels
permissible tensile force of an anchor

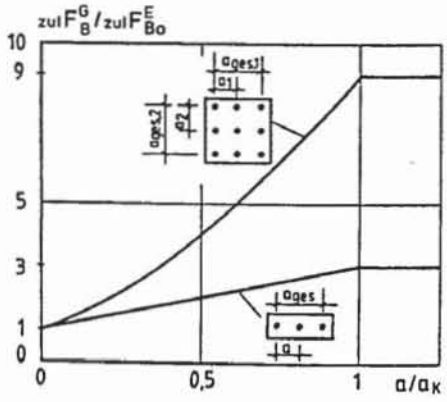
$$\text{zul}F_B^G = \varkappa^*_{a1} \cdot \varkappa^*_{a2} \cdot \text{zul}F_{Bo}^E$$

$$\varkappa^*_{ai} = 1 + \frac{a_{ges,i}}{a_K} \leq n_i$$

n_i = Zahl der Dübel in Richtung i
number of anchors in direction i

$a_i \leq a_K$

$\text{zul}F_{Bo}^E$ = zul. Last Einzeldübel nach Gl. (3)
permissible load of a single anchor according to eg. (3)



b) zul. Zugkraft der Gruppe
permissible tensile force of a group

Bild 7. Vergleich des $\varkappa$-Verfahrens nach Zulassung (a) und Neuvorschlag (b)

Fig. 7. Comparison of the $\varkappa$-method according to certificiation documents (a) and new proposal (b)

Fig. 7. Comparaison du procédé $\varkappa$ suivant agréation (a) et nouvelle proposition (b)

das 1,0fache und bei einem Abstand $a = a_k$ das n-fache (n = Zahl der Dübel einer Gruppe) des Wertes eines Einzeldübels. Dabei kann als kritischer Achsabstand $a_k = 3{,}0\ h_v$ angesetzt werden [16].

Es sei darauf hingewiesen, daß beide Berechnungsmethoden vom gleichen mechanischen Modell ausgehen und zu identischen Ergebnissen führen.

Bisher wurden nur Ankergruppen mit zentrischer Zugbeanspruchung, d. h. gleicher Beanspruchung aller Dübel, behandelt. In der Praxis sind die einzelnen Dübel oft jedoch ungleich hoch beansprucht. In diesem Fall kann die Bemessung zwar auch nach der Zulassung erfolgen, jedoch liegen die Rechenergebnisse meist weit auf der sicheren Seite, da in der Rechnung angenommen wird, daß die Belastung aller Befestigungselemente gleich hoch ist und dem Wert des maximal beanspruchten Dübels entspricht. Eine wirklichkeitsnähere Bemessung ist nach einem Vorschlag in [19] möglich. Danach wird der Einfluß der Exzentrizität auf einfache Weise durch einen zusätzlichen Beiwert $\varkappa^*_{ex}$ erfaßt. Dies ist aus Bild 8 zu ersehen, das für eine Zweifachbefestigung gilt. Dieses sog. erweiterte $\varkappa$-Verfahren kann auch bei beliebig ausgebildeten und belasteten Dübelgruppen angewandt werden, indem die Beiwerte $\varkappa^*_a$ und $\varkappa^*_{ex}$ für beide Achsenrichtungen getrennt berechnet und miteinander multipliziert werden. Die Exzentrizität der Zugkraft ist auf den geometrischen Schwerpunkt der zugbeanspruchten Dübel zu beziehen, wobei diese ggf. gedanklich zur Rechteckform zu ergänzen sind.

Bei Verankerungen von Einzeldübeln oder Dübelgruppen am Rand mit einem Randabstand des Einzeldübels bzw. der äußeren Dübel der Gruppe $a_r < a_{rk}$ zu einem Bauteilrand ist bei der Ermittlung der zulässigen Last zusätzlich der Einfluß des Randes zu berücksichtigen. Dies erfolgt durch einen Abminderungsbeiwert, der nach [16]

$$\varkappa^*_{ar} = 0{,}3 + 0{,}7 \cdot a_r/a_{rk} \leq 1 \qquad (4)$$

mit

a_{rk} = 1,5 h_v Hinterschnittdübel
≈ 3,0 h_v kraftkontrolliert spreizende Dübel (wegen Spaltgefahr)

beträgt. Der sich aufgrund des realen Tragverhaltens ergebende Randeinfluß ist also geringer, als nach den Zulassungen zu erwarten ist (vgl. Gleichung (4) mit Bild 1).

Zur Verdeutlichung des erweiterten $\varkappa$-Verfahrens wird nachstehend die Gleichung zur Berechnung der zulässigen Last der in Bild 9 dargestellten Dübelgruppe angegeben.

$$\text{zul. } F^G_B = \varkappa^*_{ar,1} \cdot \varkappa^*_{ar,2} \cdot \varkappa^*_{a1} \cdot \varkappa^*_{a2} \cdot \varkappa^*_{ex,1} \cdot \varkappa^*_{ex,2} \cdot \text{zul. } F^E_{Bo} \qquad (5)$$

Es bedeuten:

zul. F^G_B = zul. Last der Gruppe
$\varkappa^*_{ar,1}$; $\varkappa^*_{ar,2}$ nach Gleichung (4) für a_{r1} bzw. a_{r2}
$\varkappa^*_{a1}$; $\varkappa^*_{a2}$ nach Bild 7 b für $a_{ges,1}$ bzw. $a_{ges,2}$ mit $a_k = 3\ h_v$
$\varkappa^*_{ex,1}$; $\varkappa^*_{ex,2}$ nach Bild 8 für e_1 bzw. e_2
zul. F^E_{Bo} nach Gleichung (3)

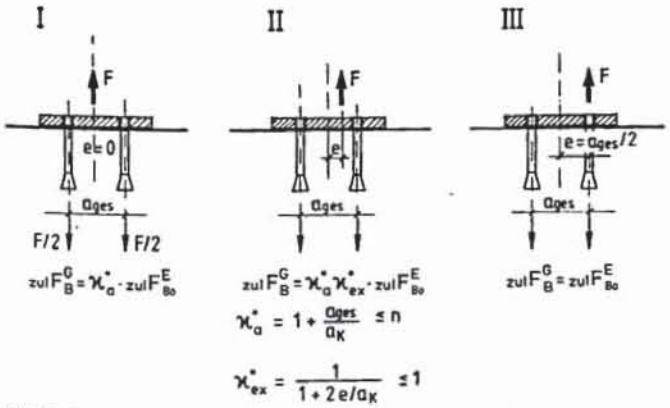


Bild 8. Berücksichtigung der Exzentrizität der Zuglast beim $\varkappa$-Verfahren (nach [19])

Fig. 8. Taking account of eccentricity of the tensile load by the $\varkappa$-method (according to [19])

Fig. 8. Considération de l'excentricité de la charge de traction dans le procédé $\varkappa$ (selon [19])

class. Since it is not always certain that these anchors will in fact develop a concrete break-out force corresponding to their increased anchorage depth (e.g., because of inadequate expansion force in the case of expanding anchors or inadequate bearing surface in the case of undercut anchors), only the minimum value for the relevant load class should be adopted as the design value of the anchorage length.

Single anchors and groups of anchors can be designed by the $\varkappa$ method, with due allowance for edge distances where relevant (see Fig. 1). The certification documents envisage only two types of multiple anchorage, namely, with two or with four anchors, but the method can quite easily be extended to any other grouping (Fig. 7 a). The appropriate equations are presented above the diagram, which more particularly relates to fixings with three and with nine anchors respectively. It is to be noted that the equations give the permissible tensile load of one anchor within the group of anchors.

Of course, the permissible load for the group as a whole can be calculated simply by multiplication of the $\varkappa_a$ coefficients by the number of anchors in the relevant direction. Taking into account that the value $(n - 1) \cdot a$ corresponds to the distance separating the outermost anchors in the group, the equations given above the diagram in Fig. 7 b are obtained. In the proposed method of calculation, to distinguish it from the certification documents procedure, the coefficients are designated as $\varkappa^*$. The equations are valid also for unequal anchor spacings, but the spacings of all the anchors must be less than the limiting value a_k above which the anchors do not interact, i.e., do not influence each other. The equations are evaluated in the diagram, from which it appears that the permissible load of the group in the – purely theoretical – case where $a = 0$ is equal to 1.0 times, and in the case where $a = a_k$ is equal to n times, the value for a single anchor (n denotes the number of anchors in the group). The critical spacing may be taken as $a_k = 3.0\ h_v$ [16].

It must be pointed out that both the above methods of calculation are based on the same mechanical model and yield identical results.

So far, only anchor groups subject to axial (centric) tensile loading, i.e., with load share equally by all the anchors, have been considered. In actual practice, however, the individual anchors are often unequally loaded. Although in that case the design can still be carried out in accordance with the certification documents, the results will usually be excessively on the safe side because it is assumed in the calculation that the anchors are all equally loaded and that this load is equal to that acting on the most severely loaded anchor in the group. A more realistic approach is possible on the basis of a proposal made in [19]. In that approach the effect of eccentricity is taken into account quite simply by means of an extra coefficient $\varkappa^*_{ex}$. This is illustrated in Fig. 8, which relates to a double-anchor fixing. This so-called "extended $\varkappa$ method" can also be applied to anchor groups of any configuration and subjected to any manner of loading, namely, by separately calculating the coefficients $\varkappa^*_a$ and $\varkappa^*_{ex}$ for the two axial directions and multiplying them together. The eccentricity of the tensile force should be referred to the geometric centroid of the anchors loaded in tension, for the purpose of which these anchors should notionally be complemented to a rectangular configuration.

In the case of single anchors or anchor groups installed near the edge of the member, with an edge distance of the single anchor or of the outermost anchor in the group $a_r < a_{rk}$, the effect of the proximity of the edge must additionally be taken into account in calculating the permissible load. This is done by applying a reduction coefficient according to [16]:

$$\varkappa^*_{ar} = 0.3 + 0.7 \cdot a_r/a_{rk} \leq 1 \qquad (4)$$

where

a_{rk} = 1.5 h_v for undercut anchors
≈ 3.0 h_v for torque-controlled expansion anchors (because of the risk of splitting)

The edge effect due to the actual load-carrying behaviour is therefore less than suggested by the certification documents: compare equation (4) with Fig. 1.

Die Achs- und Randabstände dürfen aus konstruktiven Gründen und zur Verhinderung von Spaltrissen bei der Montage bestimmte Werte nicht unterschreiten. Die folgenden Angaben gelten für eine Betonfestigkeit ≥ B 25 und eine Bauteildicke d ≳ 2 h_v:

min a_r = 1,0 h_v Hinterschnittdübel
= 1,5–2 h_v kraftkontrolliert spreizende Dübel mit einem Konus
min a = 1,0 h_v kraftkontrolliert spreizende und Hinterschnittdübel.

2.2 Querzugbeanspruchung

Bei Querzugbeanspruchung und großem Randabstand versagen Dübelbefestigungen in der Regel durch Stahlbruch, wobei es kurz vor Erreichen der Höchstlast zu einem muschelförmigen Abplatzen des Betons kommen kann. Bei geringem Randabstand versagt der Beton.

2.2.1 Stahlbruch

Die zulässige Last eines Dübels oder Bolzens für den Nachweis gegen Stahlbruch beträgt:

$$\text{zul. } F_S^E = A_S \cdot \text{zul. } \tau \quad [N] \qquad (6)$$

mit

zul. τ = zulässige Scherspannung nach Tabelle 1 [N/mm²].

Bei Gruppen mit zentrisch an der Ankerplatte angreifender Querzuglast beträgt die zulässige Last das n-fache (n = Zahl der Dübel) des Wertes nach Gleichung (6). Bei Dübelbefestigungen mit einem Lochspiel nach Zulassung sollten jedoch in Belastungsrichtung höchstens zwei Dübel hintereinander liegen, weil sonst die Beanspruchung der Dübel zu ungleichförmig wird. Bei exzentrischem Angriff der Querlast an der Ankerplatte ist Gleichung (6) für den höchstbelasteten Dübel einzuhalten.

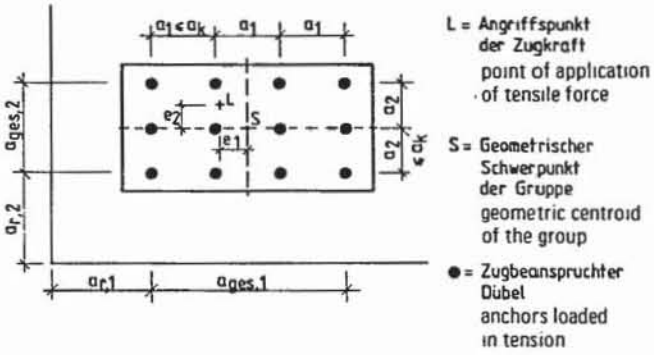


Bild 9. Beispiel für eine auf Zug beanspruchte Dübelgruppe am Bauteilrand

Fig. 9. Example of a group of anchors loaded in tension and located at the edge of a member

Fig. 9. Exemple d'un groupe de chevilles disposés au bord d'un élément de construction sous sollicitation de traction

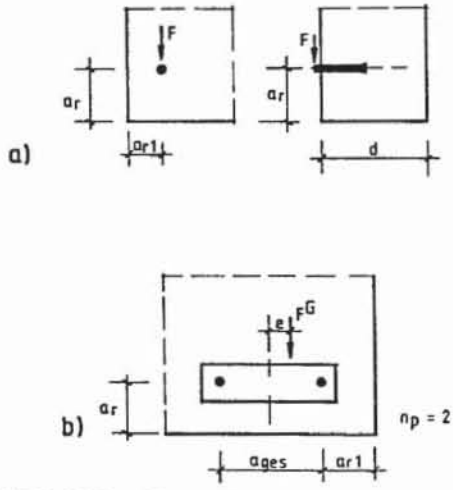


Bild 10. Beispiel für auf Querzug beanspruchte Befestigungen am Bauteilrand

Fig. 10. Example of fastenings loaded in shear and located at the edge of a member

Fig. 10. Exemple de fixations sous sollicitation de transion transversale disposées au bord d'un élément de construction

To illustrate the extended ϰ method, the equation for calculating the permissible load for the anchor group shown in Fig. 9 will now be given:

$$\text{zul. } F_B^G = \varkappa^*_{ar,1} \cdot \varkappa^*_{ar,2} \cdot \varkappa^*_{a1} \cdot \varkappa^*_{a2} \cdot \varkappa^*_{ex,1} \cdot \varkappa^*_{ex,2} \cdot \text{zul. } F_{Bo}^E \qquad (5)$$

where:

zul. F_B^G = permissible load for the group
$\varkappa^*_{ar,1}$; $\varkappa^*_{ar,2}$ according to equation (4) for a_{r1}; a_{r2}
$\varkappa^*_{a1}$; $\varkappa^*_{a2}$ according to Fig. 7 b for $a_{ges,1}$; $a_{ges,2}$ with a_k = 3 h_v
$\varkappa^*_{ex,1}$; $\varkappa^*_{ex,2}$ according to Fig. 8 for e_1; e_2
zul. F_{Bo}^E according to equation (3)

The axial spacings and edge distances must, for structural reasons and in order to avoid splitting cracks at the time of installation, not be less than certain values. The following data relate to concrete of grade (strength class) B 25 or better and a thickness of the structural member d ≥ 2 h_v:

min a_r = 1.0 h_v for undercut anchors
= 1.5–2 h_v for torque-controlled expansion anchors with one cone
min a = 1.0 h_v for torque-controlled expansion anchors and undercut anchors

2.2 Shear loading

In the case of shear loading and large edge distance the mode of failure of anchor fastenings is usually by steel fracture, possibly accompanied by shell-like spalling of the concrete shortly before the maximum load is attained. If the edge distance is small, failure occurs in the concrete.

2.2.1 Steel failure

The permissible load of an anchor or bolt fixing for analysing the safety against steel failure is:

$$\text{zul. } F_S^E = A_s \cdot \text{zul. } \tau \quad [N] \qquad (6)$$

where

zul. τ = permissible shear stress according to Table 1 [N/mm²].

If the transverse tensile load acts centrically on the anchor plate of a group of anchors, the permissible load is equal to n times the value given by equation (6) (n is the number of anchors). In the case of anchors with an amount of clearance between anchor and anchor plate as permitted by the certification documents, however, not more than two anchors should be arranged one behind the other in the direction of loading, for otherwise the loading of the anchors would be too unequal. If the transverse load acts eccentrically on the anchor plate, equation (6) is applicable to the most severely loaded anchor.

2.2.2 Concrete failure

With fastenings installed close to an edge the 5 per cent fractile of the concrete failure load of a single anchor loaded towards the direction of the edge and installed in uncracked concrete is, according to [20]:

$$F_{u,5\%} \approx 0.9 \cdot \sqrt{d_b} \cdot a_r^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_w} \quad [N] \qquad (7)$$

where:

d_b = diameter of drilled hole [mm]
a_r = edge distance in loading direction (cf. Fig. 10) [mm]

Equation (7) is valid for an anchorage depth $h_v \geq 4\ d_b$ and a thickness of the structural member d ≥ 1.4 a_r. According to [20], the ultimate load of transversely loaded fastenings in cracked concrete, if no edge reinforcement is provided, is about 60 per cent of the value for uncracked concrete (as in the case of tensile loading).

With due regard to the safety requirements stated in Section 2.1.2 the permissible load for a single anchor is:

$$\text{zul. } F_{Bo}^E \text{ (tensile zone)} \approx 0.16 \cdot \sqrt{d_b} \cdot a_r^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \qquad (8\text{ a})$$

$$\text{zul. } F_{Bo}^E \text{ (compressive zone)} \approx 0.26 \cdot \sqrt{d_b} \cdot a_r^{1.5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \qquad (8\text{ b})$$

In the case of fixings installed at a corner of a member, or in narrow or thin members or with close spacings, the formation of a complete break-out mass is not possible. These influences on the permissible load can be taken into account by the ϰ method, as is fully explained in [20]. The equations for two frequently encountered cases are presented below.

2.2.2 Betonbruch

Bei Befestigungen am Rand beträgt die 5%-Fraktile der Betonbruchlast einer zur Kante hin belasteten Einzelbefestigung im ungerissenen Beton nach [20]:

$$F_{u,5\%} \approx 0{,}9 \cdot \sqrt{d_b} \cdot a_r^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_w} \quad [N] \qquad (7)$$

mit

d_b = Bohrlochdurchmesser [mm]
a_r = Randabstand in Lastrichtung (vgl. Bild 10) [mm]

Gleichung (7) gilt für eine Verankerungstiefe $h_v \geq 4\, d_b$ und eine Bauteildicke $d \geq 1{,}4\, a_r$. Nach [20] beträgt die Bruchlast von quer beanspruchten Befestigungen im gerissenen Beton bei Fehlen einer Randbewehrung wie bei zentrischer Zugbeanspruchung ca. 60% des Wertes für ungerissenen Beton.

Unter Berücksichtigung der Sicherheitsanforderungen nach Abschnitt 2.1.2 ergibt sich die zulässige Last zul. F^E_{Bo} einer Einzelbefestigung zu

$$\text{zul. } F^E_{Bo} \text{ (Zugzone)} \approx 0{,}16 \cdot \sqrt{d_b} \cdot a_r^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \qquad (8\text{ a})$$

$$\text{zul. } F^E_{Bo} \text{ (Druckzone)} \approx 0{,}26 \cdot \sqrt{d_b} \cdot a_r^{1,5} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \qquad (8\text{ b})$$

Für Betonfestigkeiten $\beta_{wN} > 45$ N/mm² gilt Abschnitt 2.1.2. Bei Befestigungen in der Bauteilecke, in schmalen oder in dünnen Bauteilen sowie bei engem Achsabstand können sich keine vollständigen Ausbruchkörper ausbilden. Diese Einflüsse auf die zulässige Last können mit dem $\varkappa$-Verfahren erfaßt werden, das in [20] ausführlich erläutert ist. Nachfolgend werden die Gleichungen für zwei häufige Fälle zusammengestellt.

Einzelbefestigung in der Bauteilecke (Bild 10 a):

$$\text{zul. } F^E_B = \varkappa^*_{ar} \cdot \varkappa^*_d \cdot \text{zul } F^E_{Bo} \qquad (9\text{ a})$$

Reihenbefestigung am Bauteilrand oder in der Bauteilecke (Bild 10 b):

$$\text{zul. } F^G_B = \varkappa^*_{ar} \cdot \varkappa^*_d \cdot \varkappa^*_a \cdot \varkappa^*_{ex} \cdot \text{zul. } F^E_{Bo} \qquad (9\text{ b})$$

Es bedeuten:

$$\varkappa^*_{ar} = 0{,}3 + 0{,}7\, a_{r1}/a_{rk} \leq 1 \qquad (9\text{ c})$$

$$\varkappa^*_d = d/1{,}4\, a_{rk} \leq 1 \qquad (9\text{ d})$$

$$\varkappa^*_a = 1 + a_{ges}/a_k \leq n_p \qquad (9\text{ e})$$

$$\varkappa^*_{ex} = \frac{1}{1 + 2\, e/a_{rk}} \leq 1 \qquad (9\text{ f})$$

a_r = Randabstand in Lastrichtung
a_{r1} = Randabstand senkrecht zur Lastrichtung
a_{ges} = Achsabstand der äußeren Dübel
d = Bauteildicke
e = Exzentrizität der Querzuglast
n_p = Zahl der Dübel der Reihenbefestigung
a_k = $2\, a_{rk} \approx 3{,}5\, a_r$
zul. F^E_{Bo} nach Gleichung (8)

Zu beachten ist, daß die zulässige Last des Einzeldübels sowie der kritische Achsabstand, ab dem sich die Dübel nicht mehr gegenseitig beeinflussen, vom Randabstand a_r abhängen. Sie werden also von einem Montageparameter beeinflußt, während sie bei zentrischem Zug nur von der Dübellänge (Verankerungstiefe) abhängen. Daher ist bei Querzugbeanspruchung die Angabe einer maximal zulässigen Last für einen Dübeldurchmesser wie bei zentrischem Zug nicht möglich.

Bei Zweifachbefestigungen senkrecht zum Rand bzw. Vierfachbefestigungen ist das mögliche Lochspiel der Dübel zu beachten, weil die Betonkante vorzeitig versagen kann. Dieser Fall wird in [20] behandelt. Im allgemeinen ist es sinnvoll, durch Anordnung von Langlöchern eine Lastaufnahme der randnahen Dübel zu verhindern.

Das Verhalten von Befestigungen mit mehr als zwei Dübeln in einer Reihe und einem Lochspiel zwischen Dübel und Ankerplatte wurde bisher nicht untersucht. Dies ist jedoch erforderlich, um die Bemessungsgleichungen auch für diesen Fall zu erweitern. Weiterhin sollte das Verhalten von randnahen Befestigungen in der Betonzugzone studiert werden, wobei insbesondere der Einfluß der Randbewehrung zu erfassen ist.

2.3 Schrägzugbeanspruchung

Im allgemeinen Fall der Schrägzugbeanspruchung müssen die Zug- bzw. Querzuganteile der Last kleiner sein als die jeweiligen zulässigen Lasten. Weiterhin ist die in [17] für Kopfbolzen vorge-

Single anchor at a corner of a member (Fig. 10 a):

$$\text{zul. } F^E_B = \varkappa^*_{ar} \cdot \varkappa^*_d \cdot \text{zul. } F^E_{Bo} \qquad (9\text{ a})$$

Row of anchors at an edge or a corner (Fig. 10 b):

$$\text{zul. } F^G_B = \varkappa^*_{ar} \cdot \varkappa^*_d \cdot \varkappa^*_a \cdot \varkappa^*_{ex} \cdot \text{zul. } F^E_{Bo} \qquad (9\text{ b})$$

where:

$$\varkappa^*_{ar} = 0.3 + 0.7\, a_{r1}/a_{rk} \leq 1 \qquad (9\text{ c})$$

$$\varkappa^*_d = d/1.4\, a_{rk} \leq 1 \qquad (9\text{ d})$$

$$\varkappa^*_a = 1 + a_{ges}/a_k \leq n_p \qquad (9\text{ e})$$

$$\varkappa^*_{ex} = \frac{1}{1 + 2\, e/a_{rk}} \leq 1 \qquad (9\text{ f})$$

a_r = edge distance in loading direction
a_{r1} = edge distance perpendicular to loading direction
a_{ges} = centre-to-centre distance between extreme anchors
d = thickness of structural member
e = eccentricity of shear load
n_p = number of anchors in the row
a_k = $2\, a_{rk} \approx 3.5\, a_r$
zul. F^E_{Bo} according to equation (8)

It should be borne in mind that the permissible load of a single anchor and the critical spacing above which there is no mutual influence of adjacent anchors are dependent on the edge distance a_r. They are therefore affected by an "installation parameter", whereas in the case of axial tensile loading they depend only on the length of the anchor (anchorage depth). In the case of shear loading it is therefore not possible to state a maximum permissible load for a given anchor diameter, as distinct from the tensile loading case.

With double anchor fastenings aligned perpendicularly to the edge, or with quadruple anchor fastenings, it is necessary to take account of possible hole clearance, because the concrete at the edge of a member may fail prematurely. This case is dealt with in [20]. In general it is a good idea to employ slot-shaped holes to prevent load transmission by anchors located close to an edge.

The behaviour of fastenings comprising more than two anchors in a row and with clearance between anchor and anchor plate has so far not been investigated. Such investigation is necessary, however, in order to extend the design equations to include that case as well. Furthermore, the behaviour of fastenings close to the edge in the tensile zone of the concrete should be studied, with particular attention to the effect of edge reinforcement.

2.3 Combined tension and shear loading

In the general case of combined tension and shear loading the axial tensile and the shear components of the load must be less than the respective permissible loads. Furthermore, the interaction equation proposed in [17] for headed studs should be adopted, which according to [21] is applicable also to anchors. The following relationships are thus obtained:

$$F_Z/\text{zul. } F_Z \leq 1 \qquad (10\text{ a})$$

$$F_Q/\text{zul. } F_Q \leq 1 \qquad (10\text{ b})$$

$$F_Z/\text{zul. } F_Z + F_Q/\text{zul. } F_Q \leq 1.2 \qquad (10\text{ c})$$

where (compare Fig. 11):

F_Z = tensile portion of the load
F_Q = shear portion of the load
zul. F_Z = zul. $F_{Z,B} \leq$ zul. $F_{Z,S}$
zul. F_Q = zul. $F_{Q,B} \leq$ zul. $F_{Q,S}$
zul. $F_{Z,B}$ and zul. $F_{Z,S}$ according to Section 2.1
zul. $F_{Q,B}$ and zul. $F_{Q,S}$ according to Section 2.2

The equations (10) have been evaluated in Fig. 11. They are rigorously valid only for single anchors, but can be applied also to groups of anchors. In the latter case it is appropriate to compare the load on the group with the permissible values for the group. If only some of the anchors in a group are loaded in tension (e.g., in a case where a bending moment acts upon the anchor plate), the interaction equations (10) should be evaluated only for the anchors loaded in tension.

Equation (10 c) is based on a relatively small number of tests with single fastenings and a few tentative ones with square anchor group configurations. Hence it would appear necessary to verify the correctness of this interaction equation for groups of any configuration and subject to any loading.

schlagene Interaktionsgleichung einzuhalten, die nach [21] auch für Dübel gilt. Damit erhält man:

$F_Z/\text{zul. } F_Z \leq 1$ (10 a)

$F_Q/\text{zul. } F_Q \leq 1$ (10 b)

$F_Z/\text{zul. } F_Z + F_Q/\text{zul. } F_Q \leq 1{,}2$ (10 c)

Es bedeuten (vgl. Bild 11):

F_Z = Zuganteil der Last

F_Q = Querzuganteil der Last

zul. F_Z = zul. $F_{Z,B} \leq$ zul. $F_{Z,S}$

zul. F_Q = zul. $F_{Q,B} \leq$ zul. $F_{Q,S}$

zul. $F_{Z,B}$ und zul. $F_{Z,S}$ nach Abschnitt 2.1

zul. $F_{Q,B}$ und zul. $F_{Q,S}$ nach Abschnitt 2.2

Die Gleichungen (10) sind in Bild 11 ausgewertet. Sie gelten streng nur für Einzeldübel, sie können jedoch auf Dübelgruppen übertragen werden. Bei Gruppen ist es sinnvoll, die Belastung der Gruppe mit den für die Gruppe zulässigen Werten zu vergleichen. Wird nur ein Teil der Dübel einer Gruppe auf Zug beansprucht (z. B. bei einem an der Ankerplatte angreifenden Biegemoment), sind die Interaktionsgleichungen (10) nur für die zugbeanspruchten Dübel auszuwerten.

Die Interaktionsgleichung (10 c) beruht auf relativ wenigen Versuchen mit Einzelbefestigungen und einigen Tastversuchen mit quadratischen Ankergruppen. Daher erscheint es notwendig, die Richtigkeit dieser Interaktionsgleichung für beliebig ausgebildete und belastete Gruppen zu überprüfen.

2.4 Biegung

Bei Dübelbefestigungen darf eine Biegebeanspruchung nur vernachlässigt werden, wenn die in den Zulassungen angegebenen Bedingungen eingehalten sind. Andernfalls darf das auftretende Biegemoment den zulässigen Wert nicht überschreiten. Dieser beträgt:

$$\text{zul. } M = W \cdot \text{zul. } \sigma \quad (11)$$

mit

W = Widerstandsmoment, bei Gewindeteilen bezogen auf den Spannungsquerschnitt

zul. σ = zulässige Biegespannung nach Tabelle 1.

Bei der Berechnung des Biegemomentes ist die rechnerische Einspannstelle um das Maß $a_E = d_s$ (d_s = Schraubendurchmesser) hinter der Betonoberfläche anzunehmen. Dadurch sollen mögliche Betonabplatzungen am Bohrlochmund berücksichtigt werden.

Bei Biegebeanspruchung wird im allgemeinen die Stahlfestigkeit ausgenutzt. In diesem Fall ist die Querzugkraft meist wesentlich geringer als der zulässige Wert nach Abschnitt 2.2. Während die zulässige Zugkraft im Hinblick auf die Stahltragfähigkeit mit zunehmendem Moment abnimmt (Gleichung (12)), wird die zulässige Zugkraft im Hinblick auf die Betontragfähigkeit durch eine Biegebeanspruchung nicht wesentlich beeinflußt.

$$\text{red. } F_{Z,S} = \text{zul. } F_{Z,S} \cdot (1 - M/\text{zul. } M) \quad (12)$$

mit

red. $F_{Z,S}$ = reduzierte zulässige Zugkraft von biegebeanspruchten Dübeln

zul. $F_{Z,S}$ = zulässige Zugkraft nach Gleichung (1)

M = vorhandenes Biegemoment

zul. M = zulässiges Biegemoment nach Gleichung (11).

3 Sicherheitsbeiwert

Der Sicherheitsbeiwert wird bisher bei Betonversagen unabhängig von der Art des Befestigungsmittels zu $\gamma = 3{,}0$ angenommen. Es erscheint jedoch sinnvoll, den Sicherheitsbeiwert entsprechend den Vorschlägen in neueren Vorschriften [22] in Teilsicherheitsbeiwerte aufzusplitten (Bild 12). Ziel muß es sein, die Teilsicherheitsbeiwerte so zu bestimmen, daß die in [22] geforderten operativen Versagenswahrscheinlichkeiten gewährleistet werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Lasten und γ_m für Beton auf Druck sind allgemein anerkannt. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_1 berücksichtigt die Unsicherheiten bei der Übertragung von im Labor gewonnenen Versuchsergebnissen auf Bauwerke, und γ_2 berücksichtigt den Einfluß von Montageunsicherheiten. Die vorgeschlagenen Teilsicherheitsbeiwerte für γ_1 und γ_2 wurden nur grob geschätzt, sie sollten in Zukunft genauer bestimmt werden. Insbe-

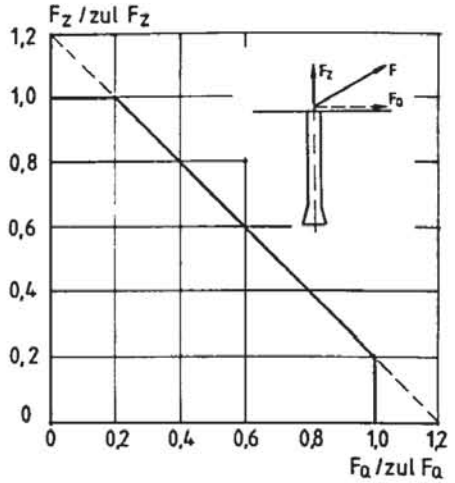


Bild 11. Interaktionsdiagramm (nach [17], [21])
Fig. 11. Interaction diagram (according to [17], [21])
Fig. 11. Diagramme d'interaction (selon [17], [21])

2.4 Flexural loading

Flexural loading on anchors is allowed to be neglected only if the conditions laid down in the certification documents are satisfied. Otherwise the bending moment must not exceed the permissible value, namely:

$$\text{zul. } M = W \cdot \text{zul. } \sigma \quad (11)$$

where:

W = section modulus (in the case of a threaded anchor it relates to the stressed cross-section)

zul. σ = permissible bending stress according to Table 1.

In calculating the bending moment the theoretical point of restraint (fixity) should be taken as located at a distance $a_E = d_s$ inward from the concrete face (where d_s is the diameter of the anchor). This takes account of possible spalling of the concrete around the mouth of the bored hole.

With flexural loading the strength of the steel is in general utilized. In that case the shear force is usually considerably smaller than the permissible value envisaged in Section 2.2. Whereas with increasing moment the permissible tensile force decreases in view of the load-carrying capacity of the steel (equation [12]), the permissible tensile force as governed by the load-carrying capacity of the concrete is not significantly affected by flexural loading.

$$\text{red. } F_{Z,S} = \text{zul. } F_{Z,S} \cdot (1 - M/\text{zul. } M) \quad (12)$$

where:

red. $F_{Z,S}$ = reduced permissible tension load of an anchor loaded in tension and bending

zul. $F_{Z,S}$ = permissible tension load according to equation (1)

M = actual bending moment

zul. M = permissible bending moment according to equation (11).

3 Factor of safety

Up to the present, for the case where failure occurs in the concrete, the safety factor has been taken as $\gamma = 3.0$, irrespective of the type of fastening. However, it would appear advantageous to split up the safety factor into partial factors in accordance with the proposals contained in the more recent code [22] (Fig. 12). The aim must be to evaluate the partial safety factors such that the propabilities of failure as envisaged in [22] are complied with.

The partial factors of safety γ_F for loads and γ_m for concrete in compression are generally accepted. The partial factor γ_1 takes account of the uncertainties inherent in applying experimental results (laboratory tests) to actual structures, while γ_2 takes account of the effect of installation uncertainties. The proposed partial factors γ_1 and γ_2 have only been roughly estimated; they will have to be determined more accurately in the future. More particularly, it must be endeavoured to quantify the "installation certainty" of a fastening system, so as to encourage manufacturers to develop systems with high installation certainty and correspondingly low partial safety factor γ_2.

The use of partial safety factors is recommended in [25] – based on [26] – as well.

sondere muß versucht werden, die Montagesicherheit eines Befestigungssystems zu quantifizieren, um so die Hersteller anzuregen, Systeme mit hoher Montagesicherheit und entsprechend niedrigem Teilsicherheitsbeiwert γ_2 zu entwickeln.
In [25] wird – basierend auf [26] – ebenfalls die Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten empfohlen.

$\gamma = 3{,}0$

$$\gamma = \gamma_F \cdot \gamma_M$$

$$\gamma_F = \frac{1{,}35G + 1{,}5Q}{G + Q} \sim 1{,}4$$

$$\gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2$$

γ_m = 1,5 (Beton auf Druck)
(concrete in compression)

γ_1 = Unterschied Labor/Baustelle
difference between laboratory and site
$\sim 1{,}2$

γ_2 = Einfluß Montage
effect of installation of assembly
$\sim 1{,}2$

bisher Neuvorschlag

Bild 12. Sicherheitsbeiwert bei Betonversagen nach Zulassung und Neuvorschlag

Fig. 12. Factor of safety for concrete failure according to certification documents and new proposal

Fig. 12. Coefficient de sécurité en cas de défaillance du béton suivant agréation et nouvelle proposition

Zusammenfassung:

Die Ausnutzung der Leistungsfähigkeit von Dübelbefestigungen in allen Anwendungsfällen ist nur möglich, wenn nicht – wie bisher – *eine* zulässige Last angegeben wird, die für alle Belastungsrichtungen gilt, sondern getrennte Bemessungen für die einzelnen Beanspruchungsrichtungen unter Berücksichtigung der verschiedenen Brucharten erfolgen. Bei Anwendung des erweiterten x-Verfahrens ist die Bemessung auch weiterhin ausreichend einfach und überschaubar. Einige Probleme bei auf Querzug bzw. Schrägzug beanspruchten Befestigungen sowie die Größe des erforderlichen Sicherheitsbeiwertes müssen jedoch noch eingehend studiert werden.

Dimensionnement de fixations par chevilles en acier – Conceptions futures

Résumé:

L'exploitation de la capacité de fixations par chevilles est seulement réalisable au cas où l'on commence de ne spécifier pas seulement une seule charge admissible applicable à toutes les directions de charges – ce qui a été d'usage jusqu'à présent – mais de calculer des dimensionnements séparés pour les directions de sollicitations individuelles en tenant compte des différents types de rupture. Sur la base du procédé x le dimensionnement est toujours suffisamment simple et clair. Mais il sera encore nécessaire d'étudier d'une façon plus intensive et détaillée quelques problèmes de fixations sous sollicitations de tractions transversale et diagonale ainsi que le valeur du coefficient de sécurité nécessaire.

R. Eligehausen legte sein Diplomexamen 1968 an der Technischen Universität Braunschweig ab und promovierte 1979 an der Universität Stuttgart zum Dr.-Ing. Nach einem zweijährigen Forschungsaufenthalt an der University of California in Berkeley wurde er 1984 zum Professor für Befestigungstechnik ernannt. Er arbeitet in zahlreichen nationalen und internationalen Fachgremien mit und ist Autor vieler Aufsätze über Fragen des Stahlbetonbaus und der Befestigungstechnik.

Summary:

Utilization of the full capacity of anchor-type fastenings in all applications is possible only if the principle, as hitherto applied, of specifying one permissible load for all directions of loading is abandoned and, instead, separate design calculations are done for the individual directions of loading, with due regard to the different modes of failure that may occur. With the "extended x method" the calculations remain simple and clear. Some problems associated with fastenings loaded in shear or in combined tension and shear and with the magnitude of the factor of safety to be applied still require detailed study, however.

Literaturnachweis

[1] Eligehausen, R., und Pusill-Wachtsmuth, P.: Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau. IVBH-Bericht S 19/82, IVBH-Periodica 1/1982, Februar 1982.

[2] Pusill-Wachtsmuth, P.: Tragverhalten von Metallspreizdübeln unter zentrischer Zugbeanspruchung bei den Versagensarten Betonausbruch und Spalten des Betons. Dissertation, Universität Stuttgart, 1982.

[3] Rehm, G., und Lehmann, R.: Untersuchungen mit Metallspreizdübeln in der gerissenen Zugzone von Stahlbetonbauteilen. Forschungsbericht, Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart, Juli 1982.

[4] Eligehausen, R.: Wechselbeziehungen zwischen Befestigungstechnik und Stahlbetonbauweise. Fortschritte im Konstruktiven Ingenieurbau, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1984.

[5] Eligehausen, R., und Lehmann, R.: Verankerungen mit Metallspreizdübeln in der aus Lastspannungen erzeugten Zugzone von Stahlbetonbauteilen, Einflüsse auf das Tragverhalten und Vorschlag für Zulassungsversuche, Bericht Nr. 1/4-84/1 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Januar 1984, nicht veröffentlicht.

[6] Mayer, B., und Eligehausen, R.: Ankergruppen mit Dübeln in der Betonzugzone. Werkstoffe und Konstruktion, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart und Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg (Eigenverlag), Oktober 1984, S. 167–180.

[7] Henzel, J.: Zulassungsversuche für Metalldübel in der Zugzone. 3. Internationales Darmstädter Kolloquium 1985 „Verankern mit Dübeln", Darmstadt, November 1985, S. 19–36.

[8] Zulassungsbescheide des Instituts für Bautechnik, Berlin, Nr. Z 21.1-355 vom 13. 12. 1984 für Fischer-Zykon-Anker M 12, Nr. Z 21.1-360 vom 13. 12. 1984 für Hilti-Schwerlastanker M 12 und Z 21.1-379 vom 13. 12. 1984 für Liebig-Einspannanker M 12, veröffentlicht in „Bauaufsichtliche Zulassungen (BAZ)", Herausgeber: Breitschaft, G., Reuter, F., und Wagner, O., Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.

[9] Eligehausen, R., Mallée, R., und Rehm, G.: Befestigungen mit Verbundankern. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 1984, Heft 10, S. 686–692, Heft 11, S. 781–785, Heft 12, S. 825–829.

[10] Zulassung des Instituts für Bautechnik, Berlin, Nr. Z 21.5-82 vom 24. 6. 1983 für Nelson-Kopfbolzen.

[11] Eligehausen, R.: Vorschlag für ein Prüfprogramm für Eignungs- und Zulassungsversuche für Dübel, die in der Zugzone eingesetzt werden sollen. Bericht Nr. 1/16-86/2 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Februar 1986, nicht veröffentlicht.

[12] Institut für Bautechnik, Berlin: Rahmenprogramm für Eignungs- und Zulassungsversuche für Dübel, die in der Betonzugzone eingesetzt werden sollen. Fassung September 1987, nicht veröffentlicht.

[13] Reuter, M., und Eligehausen, R.: Zulässiger Anteil der durch Befestigungselemente in die Zugzone einleitbaren Lasten an der Gesamtbelastung von Stahlbetonbauteilen ohne Schubbewehrung. Bericht Nr. 1/17a-86/18, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, November 1986, nicht veröffentlicht.

[14] Lieberum, K. H., Reinhardt, H. W., und Wallraven, J. C.: Lasteinleitung über Dübel in der Schubzone von Beton-Plattenstreifen, Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 10, 1987, S. 708–715.

[15] Institut für Bautechnik, Berlin: Beschlüsse des Arbeitskreises „Biegebeanspruchung von Bolzen und Schrauben bei Dübeln und Ankerschienen" des Sachverständigenausschusses „Ankerschienen und Dübel", Juni 1982, nicht veröffentlicht.

[16] Eligehausen, R., Fuchs, W., und Mayer, B.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Zugbeanspruchung. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 12, 1987, S. 826–832 und Heft 1, 1988, S. 29–35.

[17] Bode, H., und Hanenkamp, W.: Zur Tragfähigkeit von Kopfbolzen bei Zugbeanspruchung. Bauingenieur, 1985, S. 361–367.

[18] Lewandowski, R.: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongütewürfeln und -bohrproben. Beitrag zur Abschätzung der Festigkeitsverteilung in Bauwerken. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1969.

[19] Riemann, H.: Das erweiterte x-Verfahren für Befestigungsmittel, Bemessung an Beispielen von Kopfbolzenverankerungen. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 1985, Heft 12, S. 808–815.

[20] Eligehausen, R., und Fuchs, W.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Querzug-, Schrägzug- und Biegebeanspruchung. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 2, 1988, S. 48–56.

[21] Meinheit, D. F., und Heidbrink, F. D.: Behavior of Drilled-In-Expansion Anchors. Concrete International, April 1985, S. 62–66.

[22] Eurocode Nr. 2: Gemeinsame einheitliche Regeln für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauten, Fassung 1984.

[23] Institut für Bautechnik, Berlin: Zulassungsbescheide für Dübel, die für Anwendungen in der Zugzone geeignet sind. Veröffentlicht in „Bauaufsichtliche Zulassungen (BAZ)", Herausgeber: Breitschaft, G., Reuter, F., und Wagner, O., Erich Schmidt-Verlag, Berlin.

[24] Heilmann, G.: Beziehungen zwischen Zug- und Druckfestigkeit des Beton. beton 2-69, S. 68–70.

[25] Manleitner, S.: Stand der Befestigungstechnik im Beton- und Stahlbetonbau, Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 10, 1987, S. 699–707.

[26] Eligehausen, R.: Bemessung von Befestigungen – zukünftiges Konzept, Bericht Nr. 1/11-85/15 vom Nov. 1985 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart.