

Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Zugbeanspruchung, Teil 1

Loadbearing Behaviour of Anchor Fastenings in Tension, Part 1

Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen¹⁾, Dipl.-Ing. W. Fuchs¹⁾, Dipl.-Ing. B. Mayer¹⁾

1 Einleitung

Die moderne Befestigungstechnik wird in steigendem Maße gezielt bei der Planung und Ausführung von Ingenieurbauwerken eingesetzt. Sie erlaubt die wirtschaftliche Anwendung einfach und zeitsparend montierbarer Dübel, die in nachträglich erstellten Bohrlöchern in Beton- oder Stahlbetonbauteilen verankert werden. In diesem Beitrag werden die unterschiedlichen Systeme von Metalldübeln sowie deren Tragverhalten unter kurzzeitiger Zugbeanspruchung im ungerissenen (Teil 1) und gerissenen Beton (Teil 2) beschrieben. Das Verhalten von Dübelbefestigungen unter Querkzug-, Schrägzug- oder Biegebeanspruchung ist in [1] erläutert, ein Vorschlag für die Bemessung enthält [2].

2 Systeme von Metalldübeln

Metalldübel lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Metallspreizdübel,
- Hinterschnittdübel.

Die Verankerung von Metallspreizdübeln erfolgt über das Aufspreizen einer Spreizhülse oder von Spreizsegmenten, wobei Spreiz- und damit Haltekräfte im Verankerungsgrund aktiviert werden. Man unterscheidet zwischen kraft- und wegkontrolliert spreizenden Dübeln. Kraftkontrolliert spreizende Dübel (Bild 1 a) werden durch das Aufbringen eines definierten Drehmoments verankert. Dabei werden – je nach Dübeltyp – ein oder zwei Konen in die Spreizhülse bzw. Spreizsegmente gezogen. Diese Dübel können bei Belastung nachspreizen. Wegkontrolliert spreizende Dübel werden durch Einschlagen eines Konus in die Hülse (Bild 1 b₁) bzw. Auftreiben der Hülse auf den Konus (Bild 1 b₂) verankert und können nicht nachspreizen.

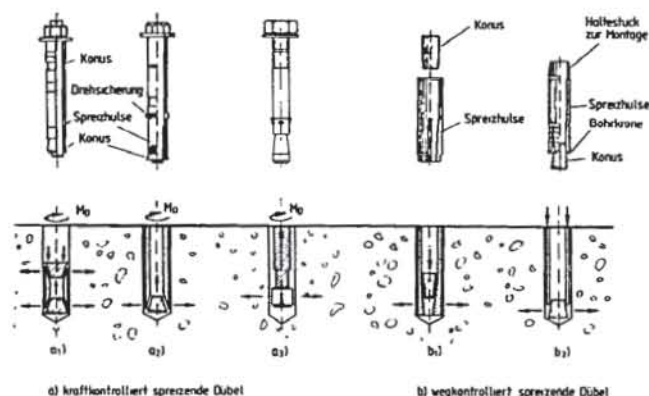


Bild 1. Ausbildung und Funktionsprinzipien von Metallspreizdübeln

Fig. 1. Design and functioning principles of expansion anchors

Fig. 1. Forme et principe de fonctionnement des chevilles métalliques à expansion

Hinterschnittdübel leiten die Kräfte durch mechanische Verzahnung infolge Hinterschneidung des Betons in den Ankergrund ein. Dabei kann die Hinterschneidung durch einen speziellen Bohrvorgang vor dem Setzen (Bilder 2 a, b) oder beim Setzen des Dübels (Bild 2 c) erzeugt werden.

1 Introduction

Modern fastening technology is increasingly being employed to good purpose in the design and execution of engineering structures. It allows the economical application of simple and time-saving fastenings which are anchored in drilled holes in plain or reinforced concrete structural members. This article describes the various systems of metal anchors (bolt-type fastenings) and their loadbearing behaviour under short-time tensile loading in uncracked (Part 1) and in cracked concrete (Part 2). The behaviour of such fastenings under shear, combined tension and shear or flexural loading is described in [1]; a proposal for a design procedure is presented in [2].

2 Metal anchor systems

Metal anchors for fastening in pre-drilled holes are assignable to two categories:

- expansion anchors,
- undercut anchors (i.e., installed in holes with undercutting).

An expansion anchor is anchored in the hole by the expansion of a shell or segments so that it is gripped in the concrete. A distinction is made between torque-controlled and displacement-controlled expanding anchors. The former are anchored by the application of a predetermined torque (Fig. 1 a), as a result of which either one or two cones (depending on the type of anchor) are drawn into the expanding shell or segments. Such anchors are able to undergo further expansion on being subjected to load. Displacement-controlled anchors are anchored by driving a conical plug into the shell (Fig. 1 b₁) or by driving the shell over the cone (Fig. 1 b₂) and cannot undergo subsequent expansion.

Undercut anchors transmit the forces by mechanical interlock with the concrete into the structure. The undercut may be formed by means of a special drilling operation before insertion (Figs. 2 a, b) or in conjunction with insertion and securing of the anchor (Fig. 2 c).

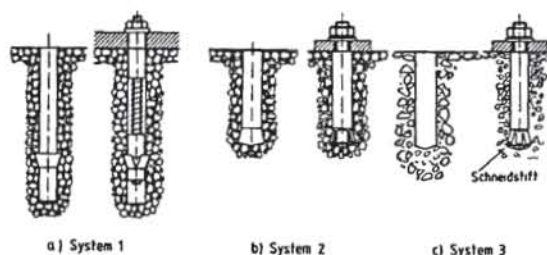


Bild 2. Hinterschnittdübel

Fig. 2. Undercut anchors

Fig. 2. Chevilles autotaraudeuses

3 Loadbearing behaviour in uncracked concrete

The loadbearing behaviour of fastenings is assessed with reference to the load-displacement behaviour, the mode of failure and the maximum load.

3.1 Load-displacement behaviour and failure modes

Typical load-displacement curves are shown in Fig. 3. The anchors were not preloaded when pulled out. In the case of torque controlled expansion anchors the prestressing force generated

¹⁾ Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart

3 Tragverhalten im ungerissenen Beton

Zur Beurteilung des Tragverhaltens von Befestigungen dienen das Lastverschiebungsverhalten, die Versagensart und die Höchstlast.

3.1 Lastverschiebungsverhalten und Versagensarten

Typische Lastverschiebungskurven sind in Bild 3 dargestellt. Die Dübel waren beim Ausziehen nicht vorgespannt, bei kraftkontrolliert spreizenden Dübeln wurde die bei der Montage erzeugte Vorspannkraft vor Versuchsbeginn auf Null reduziert. Das Versagen erfolgte durch einen kegelförmigen Betonausbruch, wobei die Höchstlast nicht wesentlich durch das Dübelssystem beeinflusst wurde.

Die Verschiebung des Dübels setzt sich aus dem Schlupf im Bohrloch und den Verformungen des Betons sowie des Dübels zusammen. Die auftretenden Verschiebungen hängen von der Ausbildung des Dübels ab:

Die geringsten Verschiebungen weisen Einschlagdübel (siehe Bild 1 b₁) auf, da die hohen Spreizkräfte einen Schlupf des Dübels im Bohrloch verhindern. Bei kraftkontrolliert spreizenden Dübeln nach Bild 1 a₁, 1 a₂ wird der Spreizkegel bei steigender Belastung in die Sprezhülse gezogen, was zu einem Anwachsen der Gesamtverschiebung führt. Selbstbohrdübel nach Bild 1 b₂ weisen noch größere Verschiebungen auf, weil die Betonpressungen im Bereich der Aufspreizung sehr hoch sind. Hinterschnittdübel nach Bild 2 leiten die Last über Formschluß in den Ankergrund ein. Die Verschiebung ist somit von der Größe der Aufstandsfläche abhängig.

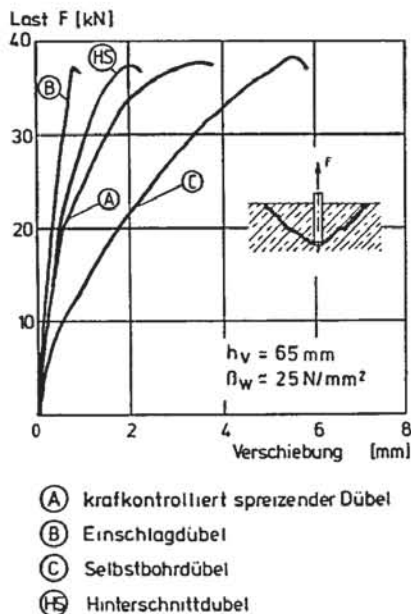


Bild 3. Typische Last-Verschiebungskurven von Dübeln

Fig. 3. Typical load-displacement curves of anchors

Fig. 3. Courbes typiques effort/déplacement de chevilles

Es werden folgende Versagensarten beobachtet (Bild 4):

a) Herausziehen

Der Dübel wird aus dem Bohrloch gezogen, wobei der oberflächennahe Beton geschädigt werden kann (Bild 4 a). Diese Versagensart ist bei Spreiz- bzw. Hinterschnittdübeln nur zu erwarten, wenn die Spreizkraft bzw. die Aufstandsfläche zu gering ist.

b) Betonausbruch

Der Dübel verursacht einen kegelförmigen Betonausbruch (Bild 4 b₁), die Zugfestigkeit des Betons wird ausgenutzt. Bei einer Dübelgruppe mit geringen Achsabständen zwischen den Dübeln kommt es zu einem gemeinsamen Ausbruchkegel (Bild 4 b₂), und bei einer am Bauteilrand angeordneten Befestigung erfolgt ein Kantenbruch (Bild 4 b₃).

c) Spalten des Betons

Spalten des Betons tritt auf, wenn die Bauteilabmessungen zu gering sind (Bild 4 c₁) oder die Dübel zu nahe am Rand

during installation was reduced to zero before the test. Failure occurred in consequence of conical break-out of the concrete, the maximum load being not significantly affected by the anchor system employed.

The displacement of the anchor is composed of the slip in the drilled hole and of the deformations of the concrete and the anchor. The amounts of displacement that occur depend on the type of anchor:

The least displacement is found in drop-in (hammer-set) anchors (see Fig. 1 b₁) because the large expansion forces that are developed prevent slip of the anchor in the hole. The cone of torque-controlled expansion anchors as illustrated in Figs. 1 a₁ and 1 a₂ is drawn into the expanding shell, resulting in an increase in the overall displacement. Self-drilling anchors as shown in Fig. 1 b₂ develop even greater displacements because the concrete pressures in the expanded region are very large. Undercut anchors like those in Fig. 2 transmit the force by mechanical interlock to the concrete; therefore the displacement depends on the size of the bearing surface.

The following failure modes are observed (Fig. 4):

a) Pull-out:

The anchor is pulled out of the hole, which may be followed by damage to the concrete near the surface (Fig. 4 a). This mode of failure is to be expected with expansion anchors and undercut anchors only if the expansion force or bearing surface area is too small.

b) Concrete cone failure:

The anchor causes a conical mass of concrete to break out (Fig. 4 b₁); the tensile strength of the concrete is utilized. In the case of a group of closely spaced anchors a single overall break-out cone develops (Fig. 4 b₂), and an anchor located close to an edge of a structural member will give rise to an edge fracture (Fig. 4 b₃).

c) Splitting of concrete:

Splitting of the concrete occurs when the dimensions of the structural member are too small (Fig. 4 c₁) or the anchors are located too close to the edge (Fig. 4 c₂) or too closely spaced (Fig. 4 c₃). The failure load attained (ultimate load) is less than in the case of break-out of concrete.

d) Steel failure:

Failure by fracturing of the anchor bolt itself or the anchor shell (Fig. 4 d) represents the upper bound of the loadbearing capacity of the anchor.

In the case of anchors which the Institute for Building Technology (Institut für Bautechnik), Berlin, has approved as suitable for general application in the concrete tensile zone [3] the mode of failure usually involves break-out of the concrete. Because of the design features of the anchors, failure due to pull-out will in general not occur. Splitting of the concrete is prevented by appropriate practical measures (compliance with certain minimum values for anchor spacings and edge distances and for the

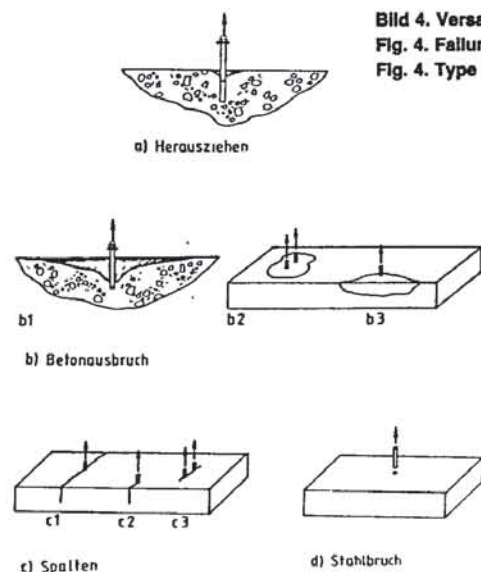


Bild 4. Versagensarten

Fig. 4. Failure modes

Fig. 4. Type de ruine

(Bild 4 c₂) bzw. in zu geringem gegenseitigen Achsabstand gesetzt werden (Bild 4 c₃). Die Bruchlast ist kleiner als bei Betonausbruch.

d) Stahlversagen

Das Versagen des Bolzens, der Schraube oder der Hülse (Bild 4 d) stellt die obere Grenze der Dübeltragfähigkeit dar.

Bei den vom Institut für Bautechnik in Berlin für generelle Anwendungen in der Betonzugzone zugelassenen Dübeln [3] wird das Versagen in der Regel durch Betonausbruch hervorgerufen; Herausziehen tritt aufgrund der Dübelausbildung meist nicht auf. Spalten des Betons wird durch anwendungstechnische Maßnahmen (Mindestwerte für Achs- und Randabstände sowie Bauteilabmessungen) verhindert. Daher werden im folgenden nur die Versagensarten „Stahlbruch“ und „Betonausbruch“ behandelt.

3.2 Bruchlast

3.2.1 Stahlversagen

Die bei der Versagensart „Stahlbruch“ zu erwartende Höchstlast F_u^E eines Dübels kann nach Gleichung (1) bestimmt werden.

$$F_u^E = A_s \cdot R_m \quad (1)$$

mit A_s = Spannungsquerschnitt des maßgebenden Gewindeteils
 R_m = Zugfestigkeit des Stahls

Bei Dübelgruppen darf der höchstbelastete Dübel den Wert nach Gleichung (1) nicht überschreiten.

3.2.2 Betonausbruch

3.2.2.1 Einzeldübel mit großem Randabstand

Die meisten Dübelssysteme versagen durch einen Betonausbruch, wobei die Form der Ausbruchkörper ähnlich ist. Der Neigungswinkel der Kegelmantelfläche gegenüber der Horizontalen beträgt etwa 30° bis 40°. Die Höhe des Ausbruchkörpers beträgt bei Spreizdübeln das 0,8- bis 1,0fache und bei Hinterschnittdübeln das 1,0fache der Verankerungstiefe.

In Bild 5 sind die in 287 Versuchsserien (≥ 3 Versuche pro Serie) mit unterschiedlichen Systemen von Metalldübeln gemessenen mittleren Ausbruchlasten in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe aufgetragen. Die Versuche wurden in Betonen unterschiedlicher Festigkeit ($\beta_w \approx 10\text{--}70 \text{ N/mm}^2$) durchgeführt. Daher wurden die Bruchlasten über die Betonzugfestigkeit, die proportional zu $\sqrt{\beta_w}$ angenommen wurde, auf eine Betondruckfestigkeit $\beta_w = 25 \text{ N/mm}^2$ umgerechnet. Die in den Versuchen gemessenen Bruchlasten können durch Gleichung (2) beschrieben werden.

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

mit h_v = Verankerungstiefe (siehe Bild 5) [mm]

β_w = Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Prüfung, gemessen an Würfeln mit 20 cm Kantenlänge [N/mm²]

Nach Gleichung (2) hängt die Bruchlast nur von der Betonzugfestigkeit und der Verankerungstiefe ab. Sie ist praktisch unabhängig vom Dübelssystem. Dabei ist der Einfluß der Verankerungstiefe geringer, als aufgrund der Zunahme der Kegelmantelfläche zu erwarten wäre, die mit dem Quadrat der Verankerungstiefe wächst. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich mit zunehmender Verankerungstiefe die Spannungsverteilung über die Bruchfläche ändert, und die über die Bruchfläche gemittelte Zugspannung abnimmt [4].

Bild 6 zeigt, daß die Verhältniszerte $F_{u, \text{Versuch}}/F_{u, \text{Rechnung}}$ normal verteilt sind und im Mittel $\bar{x} \approx 1,0$ bei einem Variationskoeffizienten $V \approx 19\%$ betragen. Der Variationskoeffizient ist damit nicht wesentlich größer als der für die Betonzugfestigkeit übliche Wert. Aus den Bildern 7 a und 7 b ist zu ersehen, daß der Einfluß der Verankerungstiefe und der Betonfestigkeit auf die Ausbruchlast zutreffend erfaßt wird.

Die in [8] vorgeschlagene Gleichung $F_u^E = 6,4 \cdot h_v^{1,54} \cdot \beta_w^{2/3}$ liefert für übliche Betonfestigkeiten etwa gleiche Bruchlasten wie Gleichung (2), überschätzt jedoch den Einfluß der Betondruckfestigkeit.

3.2.2.2 Dübelgruppen mit großem Randabstand

Die Tragkraft nach Gleichung (2) wird nur dann erreicht, wenn jedem Dübel eine ausreichend große Betonfläche zur Verfügung steht. Ist bei einer Gruppe der gegenseitige Abstand der Dübel zu

dimensionen der structural members in which anchors are installed). Therefore only the failure modes "steel failure" and "concrete cone failure" will be considered here.

3.2 Failure load

3.2.1 Failure of the steel

The maximum load F_u^E that an anchor can be expected to attain in this failure mode can be determined from:

$$F_u^E = A_s \cdot R_m \quad (1)$$

where A_s = cross-sectional area of the failure-governing screw-threaded part

R_m = tensile strength of the steel

For groups of anchors the most severely loaded anchor is not permitted to exceed the value given by equation (1).

3.2.2 Concrete cone failure

3.2.2.1 Individual anchor with large edge distance

Most anchorage systems fail in consequence of break-out of the concrete, the shape of the concrete mass thus dislodged being generally similar. The angle of inclination of the surface of the break-out cone with respect to the surface in which the anchor is installed is about 30°–40°. The height (or depth) of the break-out cone is 0.8–1.0 times the anchorage depth for expanding anchors and is about equal to the anchorage depth for undercut anchors. The measured average break-out loads obtained with different systems of metal anchors in 287 tests series (comprising at least three test per series) have been plotted against the anchorage depth in Fig. 5. These tests were performed in concretes of different strengths (cube strength $\beta_w \approx 10\text{--}70 \text{ N/mm}^2$). Accordingly, the failure loads were converted via the concrete tensile strength, taken as proportional to $\sqrt{\beta_w}$, to a compressive strength $\beta_w = 25 \text{ N/mm}^2$. The failure loads measured in the tests are expressed by the following equation:

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

where h_v = anchorage depth (see Fig. 5) [mm]

β_w = cube (compressive) strength at time of testing, measured on 20 cm cubes [N/mm²]

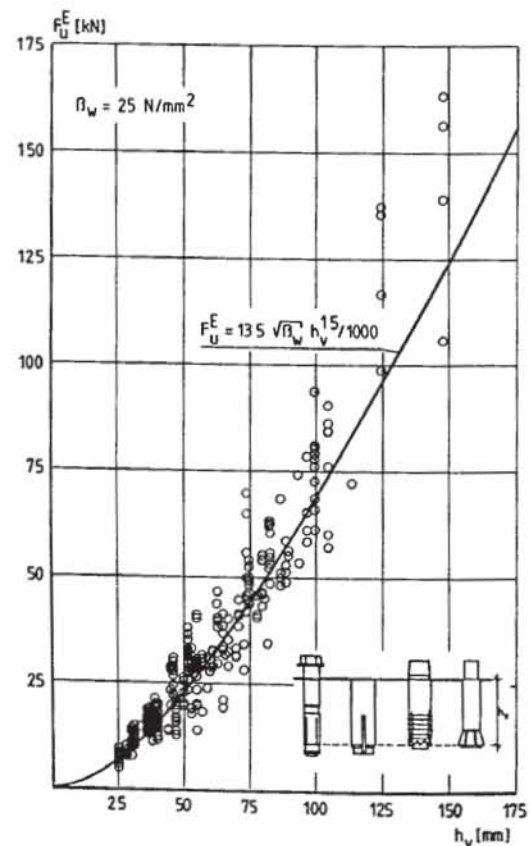


Bild 5. Betonausbruchlast in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe
 Fig. 5. Concrete cone failure load as a function of anchorage depth
 Fig. 5. Charges de rupture de béton en fonction de la profondeur d'ancrage

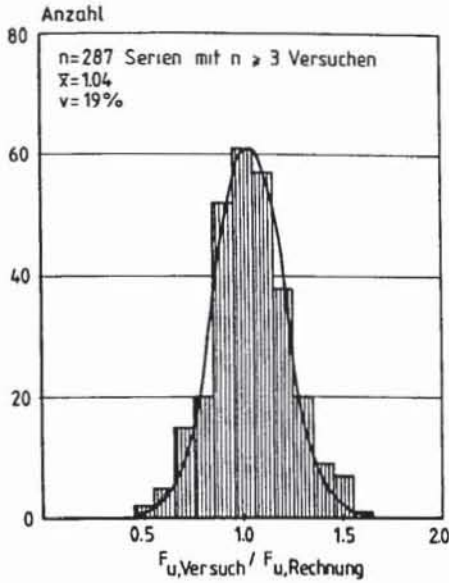


Bild 6. Häufigkeitsverteilung der Verhältniszerte gemessene Betonausbruchlast zu Rechenwert. Dübel mit großem Randabstand

Fig. 6. Frequency distribution of the ratios of measured concrete cone failure load to calculated value; anchors with large edge distance

Fig. 6. Fréquences des rapports des valeurs mesurées d'arrachement du béton sur la valeur théorique calculée. Chevilles avec grande distance au bord

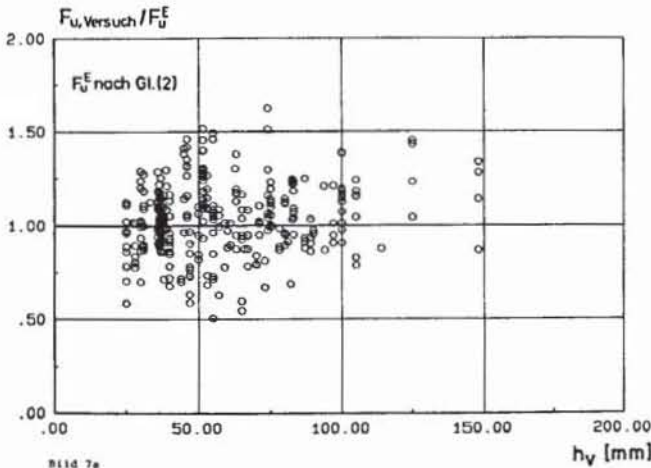


Bild 7a

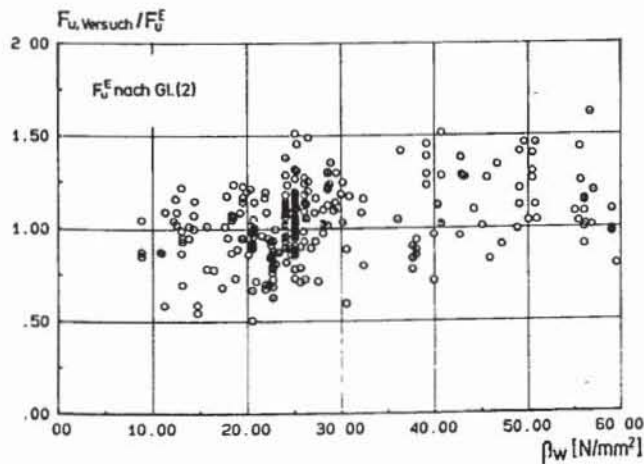


Bild 7. Verhältniszerte gemessene Ausbruchlast zu Rechenwert In Abhängigkeit von

a) Verankerungstiefe, b) Betondruckfestigkeit

Fig. 7. Ratios of measured concrete cone failure load to calculated value as a function of:

a) anchorage depth, b) compressive strength of concrete

Fig. 7. Rapports entre la force d'arrachement mesurée et la valeur théorique calculée en fonction de:

a) profondeur d'ancrage, b) résistance du béton à la compression.

According to equation (2), the failure load depends only on the tensile strength of the concrete and on the anchorage depth. It is virtually independent of the anchorage system employed. The effect of the anchorage depth is less than might be expected from the increase in surface area of the break-out cone, which increases proportionally to the square of the anchorage depth. The reason for this behaviour is that with increasing depth the stress distribution over the fracture surface area changes and the average tensile stress over this area is reduced in consequence [4].

Fig. 6 shows that the ratios $F_{u, test}/F_{u, calculated}$ correspond to a normal distribution and have a mean value $\bar{x} \approx 1.0$ and a coefficient of variation $V \approx 19\%$, which is thus only little greater than the usual value for the tensile strength of concrete. It is apparent from Figs. 7 a and 7 b that the effect of the anchorage depth and concrete strength on the concrete cone failure load is appropriately represented.

The equation $F_u^E = 6.4 \cdot h_v^{1.54} \cdot \beta_w^{2/3}$, as proposed in [8], gives for the usual concrete strengths approximately equal values for the failure load as equation (2), but overestimates the effect of the compressive strength.

3.2.2.2 Groups of anchors with large edge distance

The load capacity expressed by equation (2) is attained only if each anchor has a sufficiently large area of concrete at its disposal. If the spacing of the anchors within a group is too small, their respective break-out cones will overlap or one overall cone will develop (Fig. 8), so that the failure load will then be lower than the possible maximum value.

According to the results of tests, the diameter of the break-out cone on average is equal to about 3 times the anchorage depth. This means that the distance between adjacent anchors must be at least equal to this value if the break-out cones are not to overlap. In that case a group of n anchors can transmit a total load equal to n times the load capacity of a single anchor. On the other hand, if the distance separating two adjacent anchors is imagined as reduced to zero, there remains one common break-out cone for the two, so that the maximum load capacity of the pair of anchors is no more than that of a single one. Linear interpolation between these two extreme cases is adopted. Hence:

$$F_u^G = x_a \cdot F_u^E \tag{3}$$

where F_u^G = break-out load of a dual-anchor fastening

$$x_a = 1 + a/a_k \leq 2 \tag{3 a}$$

a = centre-to-centre spacing of anchors

$$a_k = 3 h_v$$

F_u^E is obtained from equation (2)

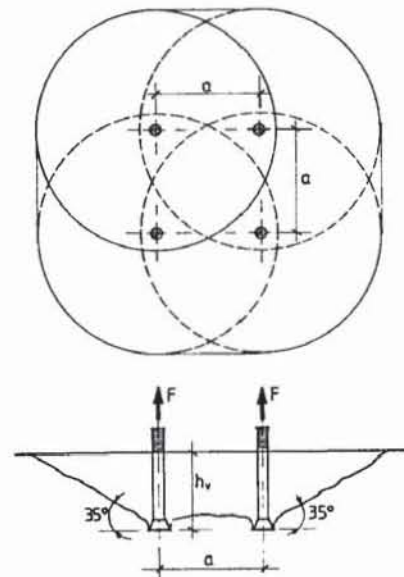


Bild 8. Gemeinsamer Betonausbruch bei einer Vierfachbefestigung

Fig. 8. Concrete cone failure of a quadruple fastening

Fig. 8. Arrachement d'ensemble du béton avec une quadri-fixation

gering, überschneiden sich die Ausbruchkegel bzw. es kommt zu einem gemeinsamen Ausbruchkegel (Bild 8). Dadurch sinkt die Bruchlast gegenüber dem maximal möglichen Wert ab.

Nach Versuchen beträgt der Durchmesser der Ausbruchkegel im Mittel etwa das 3,0fache der Verankerungstiefe. Dies bedeutet, daß der Abstand zwischen benachbarten Dübeln zumindest diesem kritischen Wert entsprechen muß, damit sich die Ausbruchkegel nicht überschneiden. Dann kann von einer Dübelgruppe mit n-Dübeln die n-fache Bruchlast eines Dübels übertragen werden. Reduziert man z. B. bei einer Zweifachbefestigung den Achsabstand gedanklich auf Null, verbleibt nur noch der Ausbruchkegel eines Dübels und die Höchstlast der Zweifachbefestigung entspricht dem Wert einer Einzelbefestigung. Zwischen diesen beiden Grenzfällen wird ein linearer Verlauf angenommen. Damit erhält man:

$$F_u^G = \alpha_a \cdot F_u^E \tag{3}$$

mit F_u = Ausbruchlast einer Zweifachbefestigung

$$\alpha_a = 1 + a/a_k \leq 2 \tag{3 a}$$

a = Achsabstand der Dübel

$$a_k = 3 h_v$$

F_u^E nach Gleichung (2)

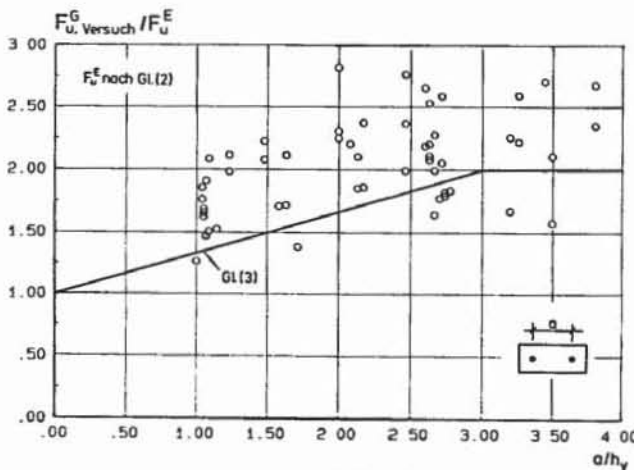


Bild 9. Einfluß des Achsabstandes auf die Betonausbruchlast von Zweifachbefestigungen mit großem Randabstand

Fig. 9. Effect of spacing on concrete cone failure load of dual fixings with large edge distance

Fig. 9. Influence de la distance d'entraxe sur la charge admissible de l'arrachement du béton pour des fixations jumelées avec grande distance au bord

Bild 9 zeigt, daß Gleichung (3) eine auf der sicheren Seite liegende Näherung darstellt. Die Verhältniszerte $F_{u, Versuch} / F_{u, Rechnung}$ betragen im Mittel ca. 1,2 mit einem Variationskoeffizient $V \approx 18\%$ (Bild 10).

Bei Dübelgruppen mit in zwei Richtungen verminderten Achsabständen (z. B. Vierfachbefestigungen) ist es sinnvoll, die Beiwerte α_a für beide Richtungen getrennt zu ermitteln und miteinander zu multiplizieren.

$$F_u^G = \alpha_{a1} \cdot \alpha_{a2} \cdot F_u^E \tag{4}$$

mit F_u = Ausbruchlast einer Vierfachbefestigung

$$\alpha_{ai} = 1 + a/a_k \leq 2; \quad i = 1,2 \tag{4 a}$$

a_i = Achsabstand in Richtung i

Bild 11 zeigt die in Versuchen mit quadratischen Vierfachbefestigungen gemessenen Ausbruchlasten bezogen auf die rechnerische Tragfähigkeit nach Gl. (2) in Abhängigkeit vom Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe. Es ist zu sehen, daß der Ansatz nach Gl. (4) die mittleren Bruchlasten mit einer für praktische Anwendungen genügenden Genauigkeit beschreibt.

Die Gleichungen (3) und (4) können auf Befestigungen mit einer beliebigen Anzahl von Dübeln erweitert werden, wenn bei der Ermittlung der Faktoren α_a anstelle des Achsabstandes a , der Achsabstand $a_{ges,i}$ der äußeren Dübel (siehe Bild 12) eingesetzt wird.

$$F_u^G = \alpha_{a1} \cdot \alpha_{a2} \cdot F_u^E \tag{5}$$

mit F_u^G = Bruchlast einer Dübelgruppe mit n-Dübeln

Fig. 9 shows that equation (3) offers an approximation on the safe side. The ratios $F_{u, test} / F_{u, calculated}$ have a mean value of about 1.2 and a coefficient of variation $V \approx 18\%$ (Fig. 10).

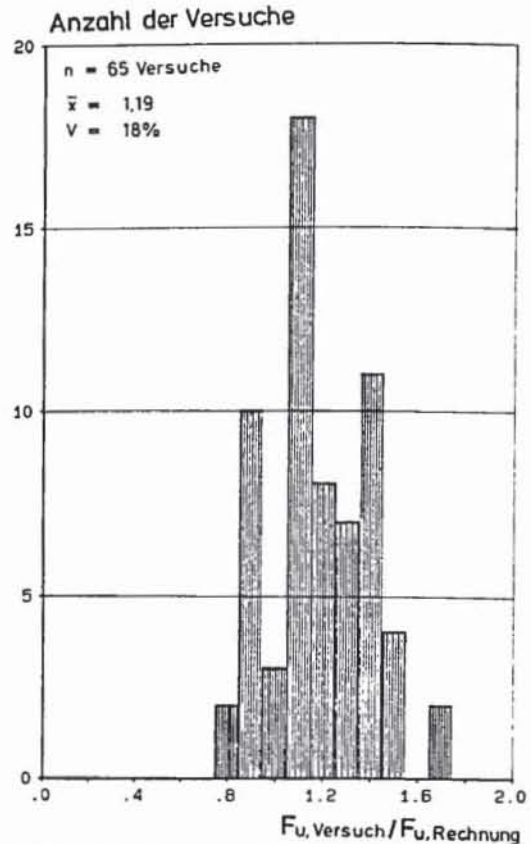


Bild 10. Häufigkeitsverteilung der Verhältniszerte gemessene Betonausbruchlast zu Rechenwert, Zweifachbefestigungen mit großem Randabstand
Fig. 10. Frequency distribution of the ratios of measured concrete cone failure load to calculated value; dual fastenings with large edge distance
Fig. 10. Fréquence des rapports des valeurs mesurées d'arrachement du béton sur la valeur théorique calculée. Fixations jumelées avec grande distance au bord

For groups of anchors with reduced spacings in both directions (e.g., quadruple fixings) it is appropriate to determine the coefficients α_a separately for the two directions and to multiply them together:

$$F_u^G = \alpha_{a1} \cdot \alpha_{a2} \cdot F_u^E \tag{4}$$

where F_u = break-out load of a quadruple anchor fixing

$$\alpha_{ai} = 1 + a/a_k \leq 2; \quad i = 1,2 \tag{4 a}$$

a_i = centre-to-centre spacing in direction i

Fig. 11 shows the break-out loads measured in tests performed on quadruple fastenings, referred to the calculated load capacity obtained from equation (2), as a function of the ratio of anchor spacing to anchorage depth. It is apparent that equation (4) expresses the average failure load with sufficient accuracy for practical purposes.

Equations (3) and (4) can be extended to fastenings with any number of anchors if, for determining the factors α_a , the overall centre-to-centre distance $a_{ges,i}$ of the outermost anchors (see Fig. 12) is substituted instead of the spacing a_i .

$$F_u^G = \alpha_{a1} \cdot \alpha_{a2} \cdot F_u^E \tag{5}$$

where F_u^G = failure load of a group comprising n-anchors

$$\alpha_{ai} = 1 + a_{ges,i}/a_k \leq n_i; \quad i = 1,2 \tag{5 a}$$

$a_{ges,i}$ = centre-to-centre distance between outermost anchors in direction i (see Fig. 12)

n_i = number of anchors in direction i

It has so far been assumed that the group is centrally loaded, so that the load is uniformly distributed over all the anchors. In practice, however, the point of load application is often not located at the centroid of the group. The loadbearing capacity of such a group of anchors can be determined in accordance with [5], as illustrated in Fig. 13 with reference to the example of a dual

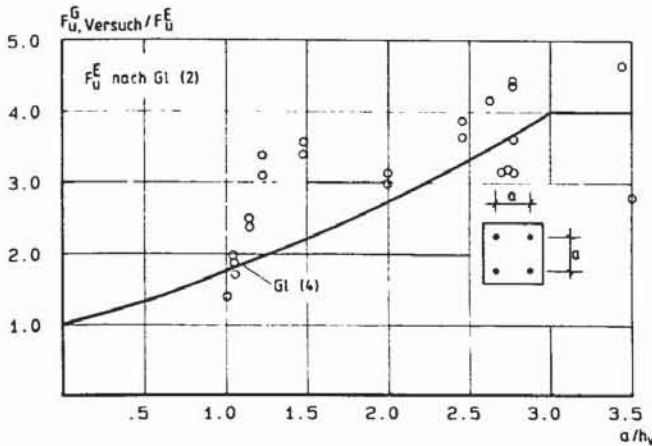


Bild 11. Einfluß des Achsabstandes auf die Betonausbruchlast von Vierfachbefestigungen mit großem Randabstand

Fig. 11. Effect of edge distance on concrete cone failure load of quadruple fastenings with large edge distance

Fig. 11. Influence de la distance d'entraxe sur la charge admissible de l'arrachement du béton pour des quadri-fixations avec grande distance au bord

$$\kappa_{ar} = 1 + a_{ges,i}/a_k \leq n_i; \quad i = 1,2 \quad (5 a)$$

$a_{ges,i}$ = Achsabstand der äußeren Dübel in Richtung i (vgl. Bild 12)

n_i = Zahl der Dübel in Richtung i

Bislang wurde vorausgesetzt, daß die Gruppe zentrisch beansprucht wird und sich somit die Last gleichmäßig auf alle Dübel verteilt. In der Praxis liegt der Lastangriffspunkt jedoch häufig nicht im Schwerpunkt der Gruppe. Die Ermittlung der Traglast solcher Befestigungen kann nach [5] erfolgen. Das Verfahren ist in Bild 13 am Beispiel einer Zweifachbefestigung erläutert. Der Einfluß der Exzentrizität auf die Ausbruchlast der Gruppe kann auf einfache Weise durch Beiwerte κ_{ex} erfaßt werden.

$$F_u^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot \kappa_{ex,1} \cdot \kappa_{ex,2} \cdot F_u^E \quad (6)$$

mit κ_{ar} nach Gleichung (5 a);

$$\kappa_{ex,i} = \frac{1}{1 + 2e_j/a_k} \leq 1 \quad (6 a)$$

e_j = Exzentrizität der Zugkraft in Richtung j

Der Ansatz nach Gl. (6 a) wurde bisher nicht durch Versuche überprüft, er dürfte aber auf der sicheren Seite liegen.

3.2.2.3 Einzelbefestigungen und Dübelgruppen am Bauteilrand

Sind Befestigungen so nahe am Rand angeordnet, daß sich kein vollständiger Ausbruchkegel mehr ausbilden kann, kommt es zu einer Verminderung der Tragfähigkeit. Die Tragfähigkeit nach Gleichung (2) wird erreicht, wenn der Randabstand zumindest dem halben Bruchkegeldurchmesser ($a_k = 0,5 a_k \approx 1,5 h_v$) entspricht. Wird der Randabstand auf den nur theoretisch möglichen

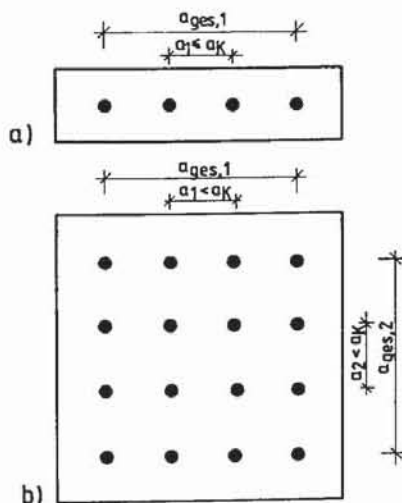


Bild 12. Beispiele für Dübelgruppen
Fig. 12. Examples of groups of anchors
Fig. 12. Exemples de chevilles groupés

fastening. The effect of eccentricity on the concrete cone failure load of the group can be taken into account in a simple manner by means of coefficients κ_{ex} :

$$F_u^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot \kappa_{ex,1} \cdot \kappa_{ex,2} \cdot F_u^E \quad (6)$$

where κ_{ar} is obtained from equation (5 a);

$$\kappa_{ex,i} = \frac{1}{1 + 2e_j/a_k} \leq 1 \quad (6 a)$$

e_j = eccentricity of the tensile force in direction j

Equation (6 a) has so far not been experimentally verified, but is probably on the safe side.

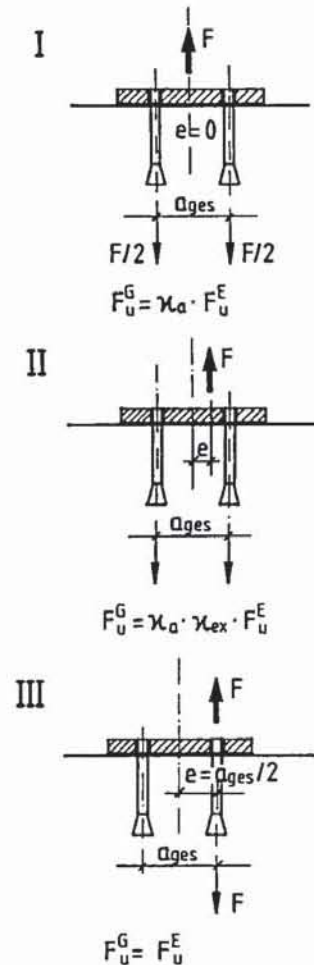


Bild 13. Einfluß der Exzentrizität der Zugkraft auf die Betonausbruchlast einer Zweifachbefestigung (nach [5])

Fig. 13. Effect of eccentricity of the tensile force on the concrete cone failure load of a dual fastening (according to [5])

Fig. 13. Influence de l'excentricité de force de traction sur la valeur de rupture à l'arrachement du béton avec une fixation jumelée (d'après 5)

3.2.2.3 Individual fastenings and groups at the edge of a member

If fastenings are located so close to the edge that there is not enough space for a complete break-out cone to develop, the loadbearing capacity of the anchorage is reduced. The capacity as expressed by equation (2) is attained if the distance to the edge is equal to at least half the break-out cone diameter ($a_k = 0,5 a_k \approx 1,5 h_v$). If the edge distance is reduced to the theoretical minimum value $a_r = 0$, only half the break-out cone area remains available for transmitting the load into the structural member. Besides, the axisymmetric state of stress which exists in the case of anchors located far from the edge will then be disturbed. Therefore the failure load for $a_r = 0$ is only about 0.3 times of that attained by fastenings located at a distance $a_r \geq a_k$ from the edge [6]. For simplicity, linear interpolation between these two limit values can be applied.

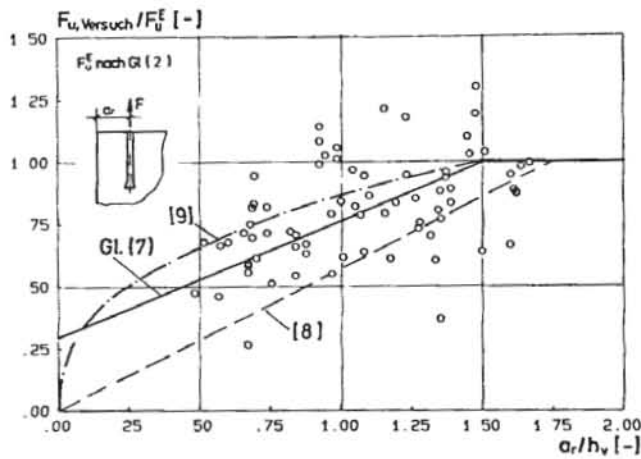
$$\text{Hence: } F_{u(\text{edge})}^E = \kappa_{ar} \cdot F_u^E \quad (7)$$

$$\text{where } \kappa_{ar} = 0,3 + 0,7 a_r/a_k \leq 1 \quad (7 a)$$

a_r = edge distance

$a_k = 1,5 h_v$

F_u^E is obtained from equation (2)



chen Wert $a_r = 0$ vermindert, steht zur Einleitung der Last in das Bauteil nur noch die halbe Bruchkegeloberfläche zur Verfügung. Zudem wird der bei Verankerungen mit großem Randabstand vorliegende rotationssymmetrische Spannungszustand durch den Rand gestört. Daher beträgt die Bruchlast bei $a_r = 0$ etwa das 0,3fache des für Befestigungen mit $a_r \geq a_{rk}$ geltenden Wertes [6]. Zwischen diesen Grenzwerten wird wiederum vereinfachend ein linearer Verlauf angenommen.

Damit erhält man

$$F_u^E(\text{Rand}) = \kappa_{ar} \cdot F_u^E \quad (7)$$

$$\text{mit } \kappa_{ar} = 0,3 + 0,7 a_r / a_{rk} \leq 1 \quad (7a)$$

a_r = Randabstand

$$a_{rk} = 1,5 h_v$$

F_u^E nach Gleichung (2)

In Bild 14 sind die gemessenen Ausbruchlasten bezogen auf den maximalen Wert nach Gleichung (2) in Abhängigkeit von dem auf die Verankerungstiefe bezogenen Randabstand aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß der Ansatz nach Gleichung (7) brauchbar ist. Die Verhältniswerte $F_{u, \text{Versuch}} / F_{u, \text{Rechnung}}$ sind normal verteilt (Bild 15). Sie betragen im Mittel etwa 1,0, allerdings ist der Variationskoeffizient mit $V = 23\%$ größer als bei Verankerungen mit großem Randabstand.

In [8] wird vorgeschlagen, den kritischen Randabstand zu 1,75 h_v anzunehmen und die Bruchlast direkt proportional zum Randabstand abzumindern (gestrichelte Linie in Bild 14). Dieser Vorschlag beschreibt etwa die untere Grenze der Versuchsergebnisse. Nach [9] ergibt sich der Abminderungsbeiwert zu $\kappa_{ar} = (a_r / a_{rk})^{0,375}$. Setzt man $a_{rk} = 1,5 h_v$ an, wird die Tragfähigkeit von Dübeln am Bauteilrand zu günstig eingeschätzt (vgl. strichpunktete Linie in Bild 14).

Wird der kritische Randabstand zu mehreren Seiten unterschritten, dann sind die Abminderungsbeiwerte κ_{ar} nach Gleichung (7 a) für jeden Rand einzeln zu berechnen und multiplikativ zu überlagern.

Bei Gruppen am Rand sind die Einflüsse verminderter Achs- und Randabstände durch Multiplikation der Faktoren κ_a nach Gleichung (5 a) und κ_{ar} nach Gleichung (7 a) zu überlagern. Dieses Vorgehen liegt auf der sicheren Seite. Fortsetzung folgt

Literaturnachweis

- [1] Elgehausen, R., und Fuchs, W.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen unter Querzug-, Schrägzug- und Biegebeanspruchung. Erscheint demnächst in Betonwerk + Fertigteil-Technik.
- [2] Elgehausen, R.: Bemessung von Befestigungen mit Stahldübeln – zukünftiges Konzept. Erscheint demnächst in Betonwerk + Fertigteil-Technik.
- [3] Institut für Bautechnik, Berlin: Zulassungsbescheide, veröffentlicht in „Bauaufsichtliche Zulassungen (BAZ)“, Herausgeber: Breitschaft, G., Reuter, F., Wagner, O., Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.
- [4] Sawade, G., Elgehausen, R.: A Fracture Mechanics Based Description of Pull-Out-Tests on Headed Studs in Concrete. Veröffentlichung in Vorbereitung.
- [5] Riemann, H.: Das „erweiterte κ -Verfahren“ für Befestigungsmittel, Bemessung an Beispielen von Kopfbohlenverankerungen. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 1985, Heft 12, S. 808–815.
- [6] Elgehausen, R., Sawade, G.: Verhalten von Beton auf Zug. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 1985, Heft 5, S. 315–322, Heft 6, S. 389–391.
- [7] Elgehausen, R., Malleé, R., Rehm, G.: Befestigungen mit Verbundankern. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 1984, Heft 10, S. 686–692, Heft 11, S. 781–785, Heft 12, S. 825–829.
- [8] Elgehausen, R., Pusill-Wachsmuth, P.: Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau. IVBH-Bericht S-19/82, IVBH-Periodica 1/1982.

Bild 14. Einfluß des Randabstandes auf die Betonausbruchlast von Einzeldübeln

Fig. 14. Effect of edge distance on the concrete break-out load of individual anchors

Fig. 14. Influence de la distance au bord sur la valeur de rupture à l'arrachement du béton avec un cheville

In Fig. 14 the measured break-out loads, referred to the maximum value determined with equation (2), have been plotted against the ratio of edge distance to anchorage depth. It is apparent that equation (7) can suitably be used. The values of the ratio $F_{u, \text{test}} / F_{u, \text{calculated}}$ conform to a normal distribution (Fig. 15), the mean being approximately 1.0, though the coefficient of variation is greater ($V = 23\%$) than that for anchors located far from the edge.

In [8] it is proposed to adopt a value of 1.75 h_v as the critical edge distance and to reduce the failure load in direct proportion to the edge distance (dash line in Fig. 14). This corresponds approxi-

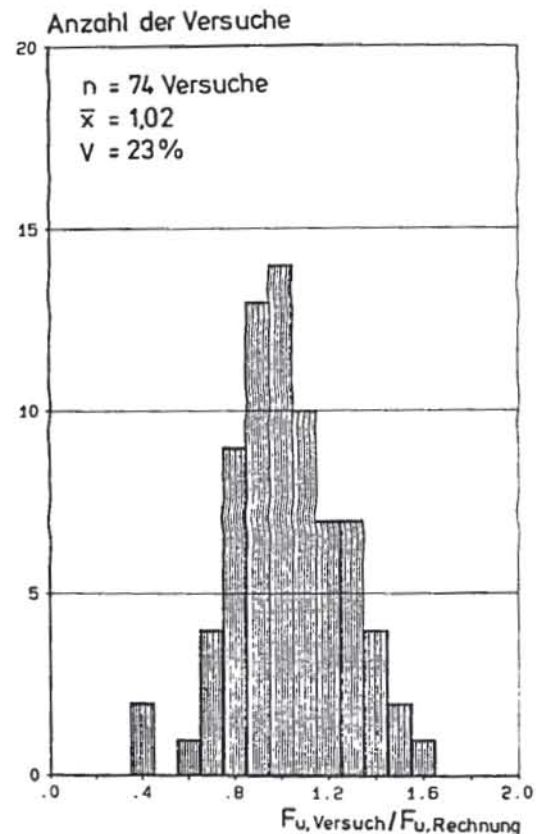


Bild 15. Häufigkeitsverteilung der Verhältniswerte gemessene Betonausbruchlast zu Rechenwert. Einzelbefestigungen mit Randeinfluß

Fig. 15. Frequency distribution of the ratios of measured concrete cone failure load to calculated value; individual fixings with edge influence

Fig. 15. Fréquence des rapports des valeurs mesurées d'arrachement du béton sur la valeur théorique calculée. Fixations solitaires sous influence du bord

mately to the lower bound of the test results. According to [9], the reduction coefficient is $\kappa_{ar} = (a_r / a_{rk})^{0,375}$. Assuming $a_{rk} = 1,5 h_v$, the loadbearing capacity of anchors in the vicinity of the edge of a structural member is overestimated (see dot-dash line in Fig. 14).

If the edge distance in more than one direction is less than the critical value, then the reduction coefficients κ_{ar} according to equation (7 a) should be calculated separately for each edge and be multiplied together.

For anchor groups near the edge of a member the effects of reduced centre-to-centre anchor spacings and edge distances should be taken into account by multiplying together the factors κ_a from equation (5 a) and κ_{ar} from equation (7 a). This procedure is on the safe side. to be continued