

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. Aufreiben der Hülse auf den Konus (Bild 1 b₂) verankert und können nicht nachspreizen.

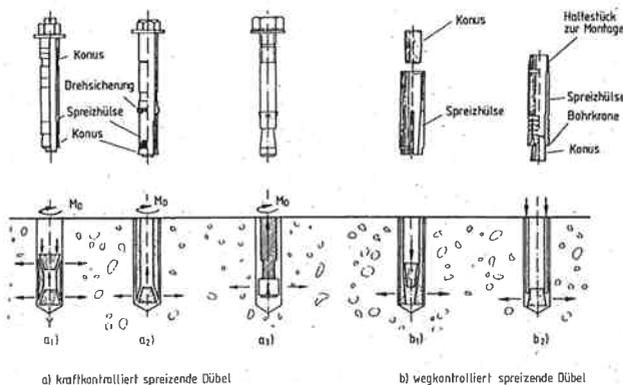


Bild 1. Ausbildung und Funktionsprinzipien von Metallspreizdübeln

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).

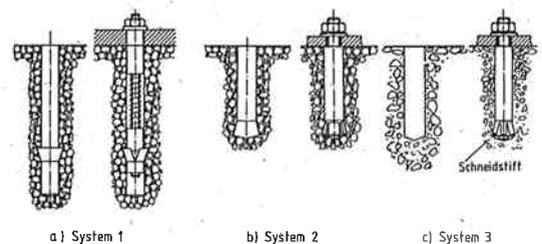


Bild 2. Hinterschnittdübel

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

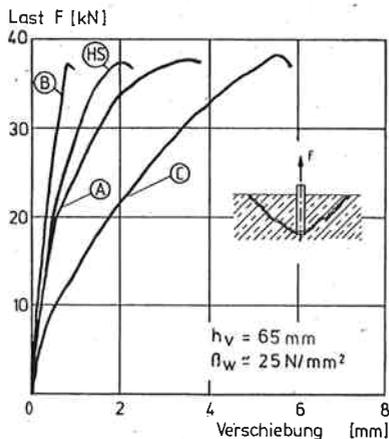
Zur Beurteilung des Tragverhaltens von Befestigungen dienen das Lastverschiebungsverhalten, die Versagensart und die Höchstlast.

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.



- (A) kraftkontrolliert spreizender Dübel
- (B) Einschlagdübel
- (C) Selbstbohrdübel
- (L) Hinterschnittdübel

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).

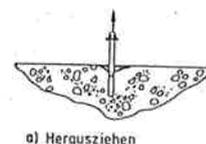
c) Splitting of concrete:

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.

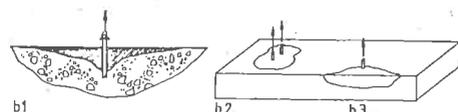
d) Steel failure:

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.

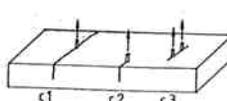
In the case of anchors which the Institute for Building Technology (Institut für Bautechnik), Berlin, has approved as suitable for general application in the concrete tensile zone [3] the mode of failure usually involves break-out of the concrete. Because of the design features of the anchors, failure 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



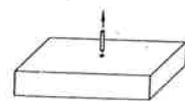
a) Herausziehen



b) Betonausbruch



c) Spalten



d) Stahlbruch

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.

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

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 serie (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:

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

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]

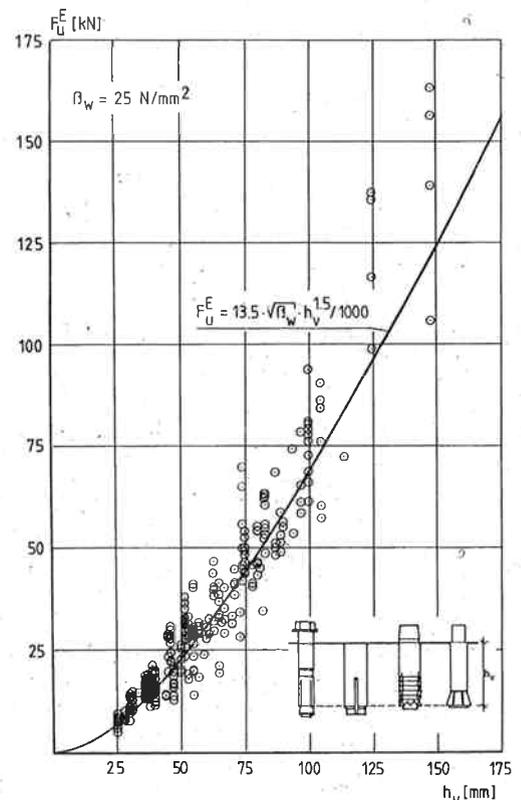


Bild 5. Betonausbruchlast in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe
 Fig. 5. Concrete cone failure load as a function of anchorage depth
 Fig. 5. Charges de rupture de béton en fonction de la profondeur d'ancrage

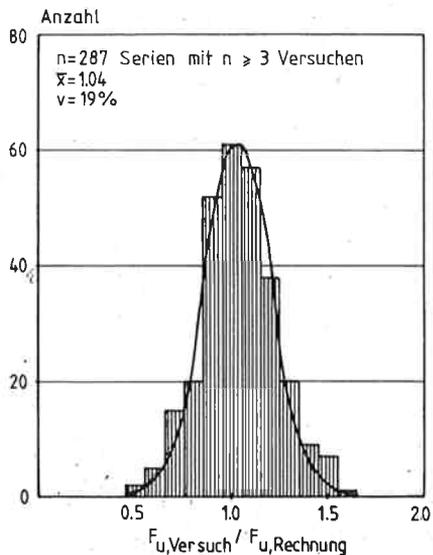


Bild 6. Häufigkeitsverteilung der Verhältniswerte gemessene Betonausbruchlast zu Rechenwert. Dübel mit großem Randabstand

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

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 $F_{u, \text{test}}/F_{u, \text{calculated}}$ 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:

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

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

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

a = centre-to-centre spacing of anchors

$$a_k = 3 h_v$$

F_u^E is obtained from equation (2)

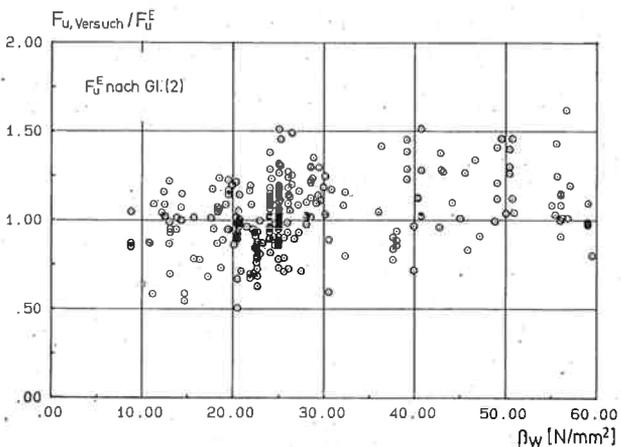
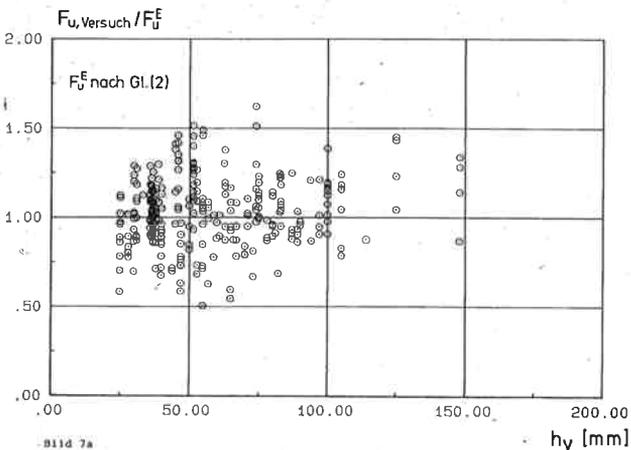


Bild 7. Verhältniswerte gemessene Ausbruchlast zu Rechenwert in Abhängigkeit von a) Verankerungstiefe, b) Betondruckfestigkeit

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.

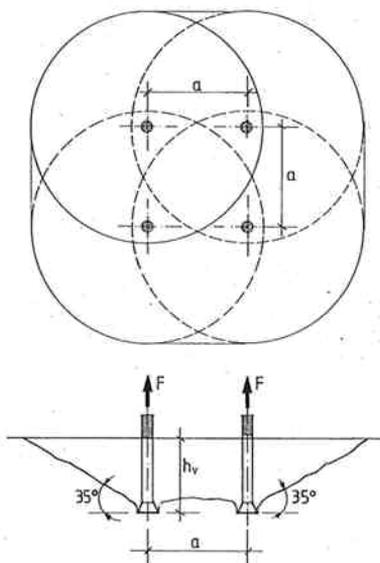


Bild 8. Gemeinsamer Betonausbruch bei einer Vierfachbefestigung

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:

$$F_u^G = \kappa_a \cdot F_u^E \quad (3)$$

mit F_u = Ausbruchlast einer Zweifachbefestigung

$$\kappa_a = 1 + a/a_k \leq 2 \quad (3a)$$

a = Achsabstand der Dübel

$$a_k = 3 h_v$$

F_u^E nach Gleichung (2)

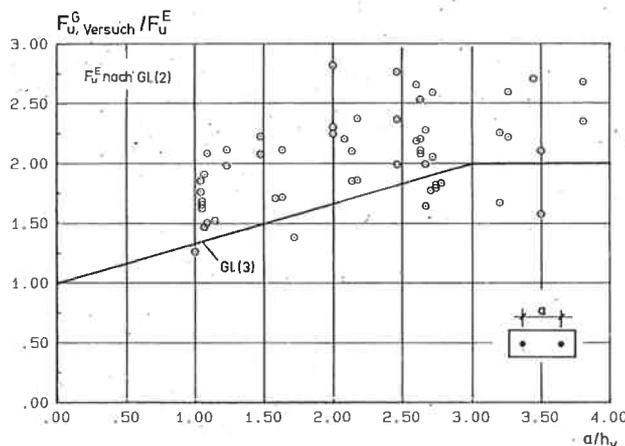


Bild 9. Einfluß des Achsabstandes auf die Betonausbruchlast von Zweifachbefestigungen mit großem Randabstand

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 Verhältniswerte $F_{u, \text{Versuch}} / F_{u, \text{Rechnung}}$ 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 κ_a für beide Richtungen getrennt zu ermitteln und miteinander zu multiplizieren.

$$F_u^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot F_u^E \quad (4)$$

mit F_u = Ausbruchlast einer Vierfachbefestigung

$$\kappa_{ai} = 1 + a/a_k \leq 2; \quad i = 1, 2 \quad (4a)$$

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 κ_a anstelle des Achsabstandes a_i der Achsabstand $a_{\text{ges}, i}$ der äußeren Dübel (siehe Bild 12) eingesetzt wird.

$$F_u^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot F_u^E \quad (5)$$

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 $F_{u, \text{test}} / F_{u, \text{calculated}}$ have a mean value of about 1.2 and a coefficient of variation $V \approx 18\%$ (Fig. 10).

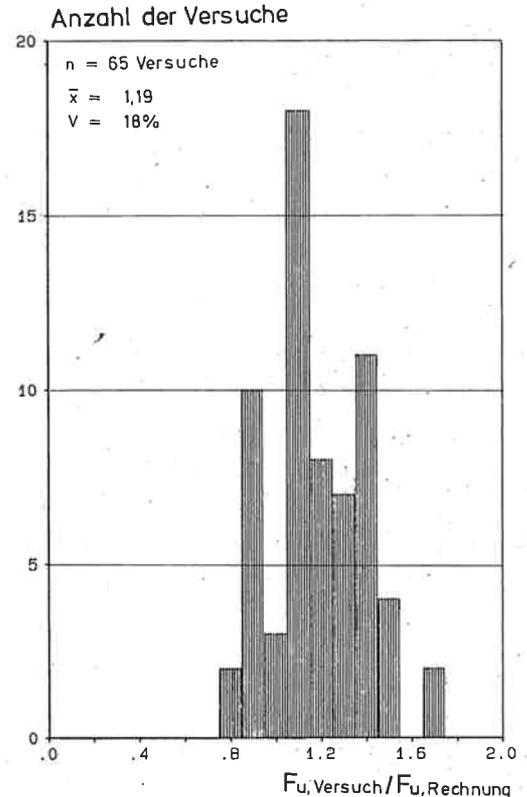


Bild 10. Häufigkeitsverteilung der Verhältniswerte gemessene Betonausbruchlast zu Rechenwert. Zweifachbefestigungen mit großem Randabstand
Fig. 10. Frequency distribution of the ratios of measured concrete cone failure load to calculated value; dual fastenings with large edge distance
Fig. 10. Fréquence 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 κ_a separately for the two directions and to multiply them together:

$$F_u^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot F_u^E \quad (4)$$

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

$$\kappa_{ai} = 1 + a/a_k \leq 2; \quad i = 1, 2 \quad (4a)$$

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 κ_a , the overall centre-to-centre distance $a_{\text{ges}, i}$ of the outermost anchors (see Fig. 12) is substituted instead of the spacing a_i .

$$F_u^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot F_u^E \quad (5)$$

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

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

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

η_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

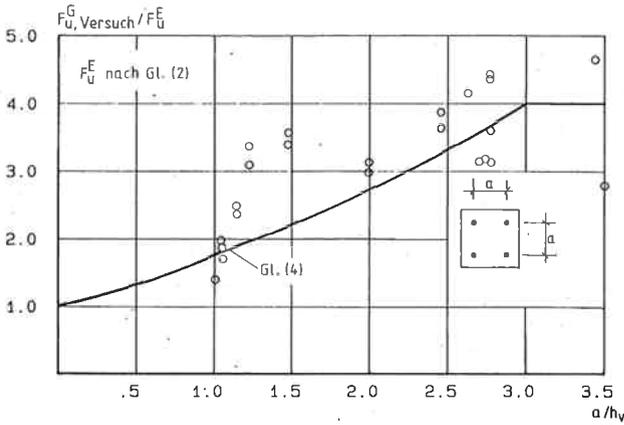


Bild 11. Einfluß des Achsabstandes auf die Betonausbruchlast von Vierfachbefestigungen mit großem Randabstand
 Fig. 11. Effect of edge distance on concrete cone failure load of quadruple fastenings with large edge distance

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

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

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

η_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_{al} 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 ($a_{rk} = 0,5 a_k \approx 1,5 h_v$) entspricht. Wird der Randabstand auf den nur theoretisch möglichen

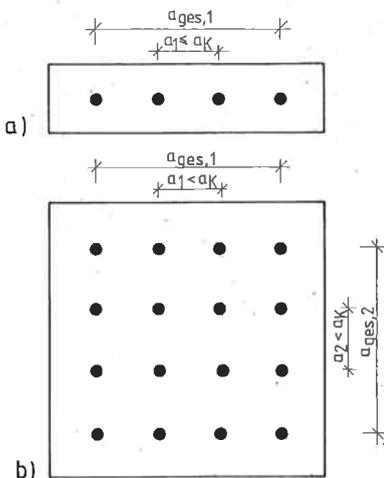


Bild 12. Beispiele für Dübelgruppen
 Fig. 12. Examples of groups of anchors
 Fig. 12. Exemples de chevilles groupés

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_{al} 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.

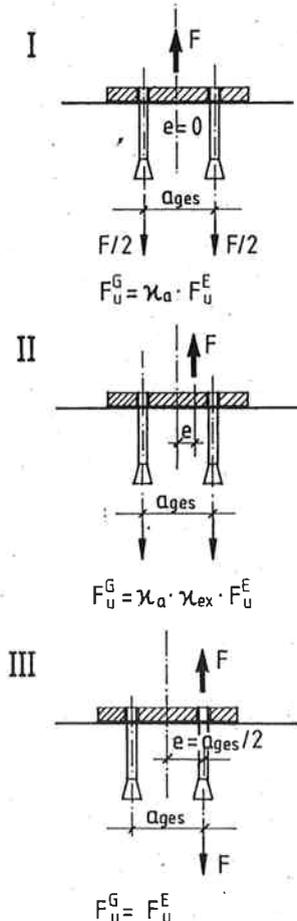


Bild 13. Einfluß der Exzentrizität der Zugkraft auf die Betonausbruchlast einer Zweifachbefestigung (nach [5])

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 of 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 ($a_{rk} = 0.5 a_k \approx 1.5 h_v$). 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 $a_r \geq a_{rk}$ from the edge [6]. For simplicity, linear interpolation between these two limit values can be applied.

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

where $\kappa_{ar} = 0.3 + 0.7 a_r/a_{rk} \leq 1$ (7 a)

a_r = edge distance

$a_{rk} = 1.5 h_v$

F_u^E is obtained from equation (2)

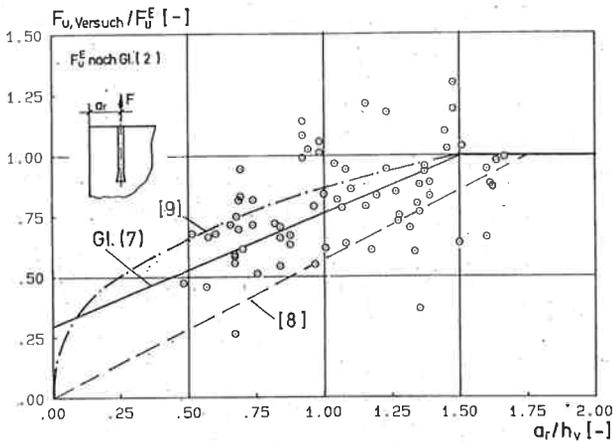


Bild 14. Einfluß des Randabstandes auf die Betonausbruchlast von Einzeldübeln

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 $F_{u, test} / F_{u, calculated}$ 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-

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

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

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

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 Verhältniszahlen $F_{u, Versuch} / F_{u, Rechnung}$ 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. strichpunktierte 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

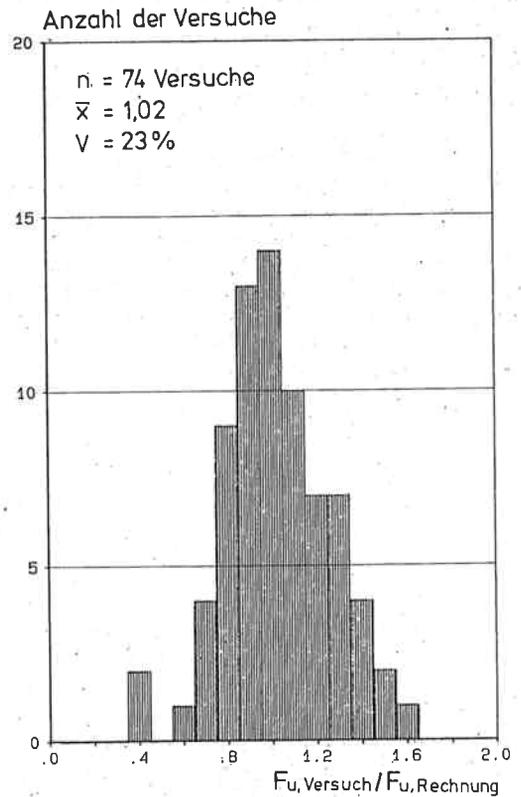


Bild 15. Häufigkeitsverteilung der Verhältniszahlen gemessene Betonausbruchlast zu Rechenwert. Einzelbefestigungen mit Randeinfluß

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

Literaturnachweis

- [1] Elgehausen, R., und Fuchs, W.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen unter Querkzug-, 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 Kopfboizenverankerungen. 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., Mallée, 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-Wachtsmüth, P.: Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau. IVBH-Bericht S 9/82, IVBH-Periodica 1/1982.

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

Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Zugbeanspruchung, Teil 2

Loadbearing Behaviour of Anchor Fastenings in Tension, Part 2

Prof. Dr.-Ing. R. Ehligehausen¹⁾, Dipl.-Ing. W. Fuchs¹⁾, Dipl.-Ing. B. Mayer¹⁾

Fortsetzung

4 Tragverhalten im gerissenen Beton

Bei der Bemessung von Stahlbetonbauteilen wird von einer gerissenen Zugzone (Zustand II) ausgegangen, weil der Beton nur eine relativ geringe Zugfestigkeit besitzt, die zudem durch in der Berechnung nicht berücksichtigte Eigen- oder Zwangsspannungen ganz oder teilweise verbraucht werden kann. Die Erfahrung zeigt, daß die Rißbreiten bei überwiegender Lastbeanspruchung die als zulässig angesehenen Werte von $w \approx 0,3$ bis $0,4$ mm nicht überschreiten, bei überwiegender Zwangsbeanspruchung können jedoch auch breitere Einzelrisse auftreten, wenn keine zusätzliche Bewehrung zur Beschränkung der Rißbreiten eingelegt wurde [10].

Risse können in einer Richtung (z. B. in Balken, einachsig gespannten Platten oder Zuggliedern) oder aber in zwei Richtungen auftreten (z. B. bei kreuzweise gespannten Platten und Flachdecken). Die Dübel können neben bzw. in Rissen liegen und sind im ungünstigsten Fall im Schnittpunkt zweier sich kreuzender Risse (Kreuzriß) verankert. Treten Risse im Beton auf, besteht nach Versuchen [11], [12] eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit, daß diese die Dübel treffen oder tangieren.

Zur Untersuchung des Einflusses von Rissen im Ankergrund auf das Tragverhalten von Befestigungselementen werden unterschiedliche Probekörper, nämlich Biegeplatten, Dehnkörper oder spezielle Körper zur Erzeugung von Kreuzrissen benutzt. Üblicherweise werden im Versuch Dübel gezielt in oder neben vorher erzeugte Haarrisse gesetzt, die Risse durch Belastung der Probekörper auf die vorgesehene Breite aufgeweitet und anschließend die Befestigung bei geöffnetem Riß monoton bis zum Bruch belastet.

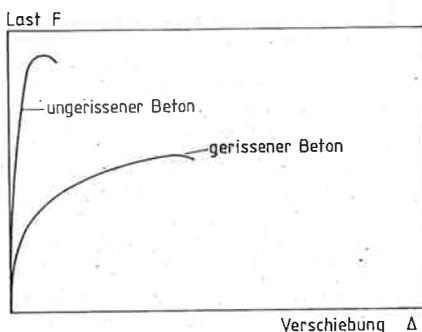


Bild 16. Typische Last-Verschiebungskurven von Metalldübeln in ungerissenen und gerissenen Beton (nach [13])

Fig. 16. Typical load-displacement curves of anchors installed in uncracked and in cracked concrete (according to [13])

Fig. 16. Courbes typiques de déplacement de contraintes de chevilles métalliques dans du béton non fissuré comme fissuré (d'après [13])

4.1 Lastverschiebungsverhalten und Versagensarten

Bild 16 zeigt schematisch die Lastverschiebungskurven eines nachspannenden Dübels, der im ungerissenen Beton bzw. in einem Riß verankert ist. Die Lastverschiebungskurve des Dübels im Riß verläuft flacher, und der Bruch erfolgt bei geringerer Last und größeren Verschiebungen als im ungerissenen Beton.

Continue

4 Loadbearing behaviour in cracked concrete

Reinforced concrete design is normally based on the assumption that the tensile zone is cracked, since concrete has only a relatively low tensile strength which may moreover be wholly or partly unavailable because of the presence of stresses due to internal or external restraint which are not taken into account in the calculations. Experience shows that in members subjected predominantly to loads the cracks do not exceed about 0.3 to 0.4 mm in width which are regarded as permissible. Under predominantly restraint conditions, however, wider individual cracks may occur if no extra reinforcement to limit their width is provided [10].

Cracks may occur in one direction (e.g., in beams, slabs spanning in one direction, tension members) or in two directions (e.g., slabs spanning in two directions, flat-slab floors). The anchors may be located beside or in cracks and, in the most unfavourable case, may be at the intersection of two cracks extending in different directions (cruciform crack). As tests have shown [11], [12], in cracked concrete there is a relatively high probability that cracks will encounter or tangentially extend past the anchors.

Various types of test specimen – flexurally loaded slabs, tensionally loaded specimens, or special specimens for forming cruciform cracks – are employed for investigating the effect of cracks in the concrete upon the loadbearing behaviour of fixings. As a rule, in such tests, anchors are deliberately installed in or beside preformed hair cracks, which are then widened to a specified width by loading of the specimen, followed by monotonic loading of the anchor to failure while the crack is maintained at that width.

4.1 Load-displacement behaviour and failure modes

Fig. 16 schematically shows the load-displacement curves for an anchor which develops subsequent additional expansion under load and is installed in uncracked concrete and in a crack respectively. The load-displacement curve for the anchor in the crack has a flatter shape, and failure occurs at a lower value of the load and is associated with greater displacement than for an anchor in uncracked concrete.

In the case of anchor-type fastenings in cracks the failure modes observed are similar to those in uncracked concrete (cf. Fig. 4). However, torque-controlled expansion anchors which do not undergo proper subsequent expansion or which expand too little, as well as displacement-controlled anchors, often fail in consequence of pull-out, whereas in uncracked concrete such anchors may cause break-out of concrete.

4.2 Failure load

The failure loads (or ultimate loads) of undercut anchors installed in cracks and of torque-controlled expansion anchors with good subsequent expansion, referred to the values expected to be attained in uncracked concrete according to equation (2), have been plotted against the crack width in Fig. 17. The tests were performed on tensional test specimens. Failure occurred in consequence of break-out of the concrete. For the crack width of 0.4 mm which is regarded as the permissible maximum value in reinforced concrete construction the failure loads of fastenings installed in cracks are about 0.5 to 0.7 of those attained by such fastenings in

¹⁾ Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart

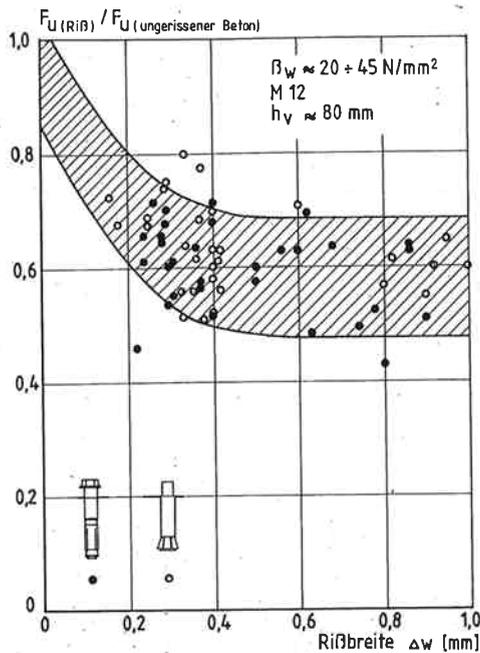


Bild 17. Einfluß von Rissen auf die Bruchlast von kraftkontrolliert spreizenden Dübeln und Hinterschnittdübeln

Fig. 17. Effect of cracks on the failure load of torque-controlled expansion anchors and undercut anchors

Fig. 17. Influence des fissures sur la charge de rupture des goujons-chevilles à écartement contrôlé par rapport à la charge et les chevilles autotaraudeuses

Bei in Rissen liegenden Befestigungen werden die gleichen Versagensarten wie im ungerissenen Beton beobachtet (vgl. Bild 4). Allerdings versagen kraftkontrolliert spreizende Dübel, die nicht ordnungsgemäß nachspreizen oder einen zu geringen Spreizweg aufweisen, sowie wegkontrolliert spreizende Dübel oft durch Herausziehen, während sie im ungerissenen Beton einen Betonausbruch erzeugen können.

4.2 Bruchlast

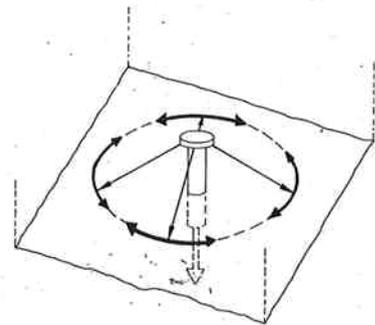
Die Bruchlasten von in Rissen verankerten Hinterschnittdübeln und gut nachspreizenden kraftkontrolliert spreizenden Dübeln bezogen auf die im ungerissenen Beton zu erwartenden Werte (Gleichung [2]) sind in Bild 17 in Abhängigkeit von der Rißbreite aufgetragen. Die Versuchsergebnisse wurden in Dehnkörpern ermittelt. Das Versagen erfolgte durch einen Betonausbruch. Die Bruchlast von in Rissen verankerten Befestigungselementen beträgt bei der im Stahlbetonbau maximal als zulässig angesehenen Rißbreite von 0,4 mm das ca. 0,5- bis 0,7fache des für ungerissenen Beton geltenden Wertes. Eine Abminderung in derselben Größenordnung wurde in [11] gefunden. Dabei ist kein wesentlicher Einfluß der unterschiedlichen Befestigungssysteme zu erkennen.

Hinterschnittdübel übertragen die angreifende Zugkraft durch mechanische Verzahnung mit dem Beton in den Ankergrund. Daher ist die niedrigere Bruchlast dieser Befestigungselemente bei Verankerung in Rissen gegenüber dem für ungerissenen Beton geltenden Wert auf die Störung des Spannungszustandes im Beton durch Risse zurückzuführen. Bei Verankerungen im ungerissenen Ankergrund sind die Spannungen rotationssymmetrisch zum Befestigungselement verteilt. Das Gleichgewicht wird durch Ringzugkräfte im Beton gewährleistet (Bild 18 a). Liegt das Befestigungselement in einem breiten Riß, dann können keine Zugkräfte senkrecht zum Riß übertragen werden. Der Riß bewirkt daher eine Änderung der Krafteinleitung in den Beton und reduziert die zur Übertragung der Zugkräfte zur Verfügung stehende Fläche (Bild 18 b). Weiterhin können benachbarte Risse einen Teil des möglichen Ausbruchkegels abschneiden.

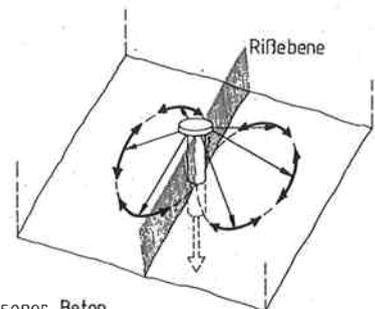
Bei Metallspreizdübeln bewirkt die Öffnung eines Risses zusätzlich eine Reduzierung der Spreizkraft und damit der Haltekraft. Dies ist aus Bild 19 zu ersehen, das aus Gründen der Übersicht

uncracked concrete. A reduction factor of about the same magnitude was found in [11]. No significant influence of the type of fixing system employed is discernible.

Undercut anchors transmit the tensile force into the concrete through mechanical interlock. This being so, the lower failure loads attained by such fixings installed in cracks as compared with those in uncracked concrete must be attributed to disturbance of the state of stress in the concrete by the presence of cracks. In uncracked concrete the stresses are distributed axisymmetrically around the anchor, equilibrium being ensured by ring tensile forces in the concrete (Fig. 18 a). If the anchor is located in a wide crack, no tensile forces acting perpendicularly to the crack can be transmitted. Hence the crack brings about a change in the introduction of the force into the concrete and reduces the area available for the transmission of tensile forces (Fig. 18 b). Furthermore, adjacent cracks may cut off a portion of the break-out cone that can potentially develop.



a) ungerissener Beton



b) gerissener Beton

Bild 18. Einfluß von Rissen auf den Kräfteverlauf im Beton im Bereich eines durch eine Zuglast beanspruchten Kopfbolzens (schematisch)

Fig. 18. Effect of cracks on the distribution of forces in the concrete in the vicinity of a headed stud under tensile load (schematic)

Fig. 18. Influence des fissures sur l'orientation des forces dans le béton à l'endroit d'un boulon sous traction

With expanding anchors there is moreover a reduction in the magnitude of the expansion force, and therefore of the securing force, when the crack opens. This is apparent from Fig. 19 which, for reasons of convenient presentation, relates to an anchor located at the intersection of cracks. If an anchor is located in a crack of constant width extending only in one direction, conditions are more favourable because the expansion force is affected only in one direction by the opening of the crack. For fixing the anchor the anchor shell is forced into the concrete, thereby producing an expansion force. The expansion displacement comprises an elastic and a plastic portion. When the crack opens, the expansion force rapidly decreases, as corresponds to the steep unloading curve. If the crack width is sufficiently small, however, a certain expansion force will still be acting, and the anchor will remain in contact with the wall of the hole (Fig. 19 b). Suitably designed torque-controlled expansion anchors will undergo subsequent further expansion when subjected to load and thus develop a sufficiently high expansion forces to bring about break-out of the concrete. In that case the failure load is of course not different from the value to be expected for a comparable undercut anchor (see Fig. 17). For large crack widths the expansion displacement and therefore the maximum attainable expansion force may be

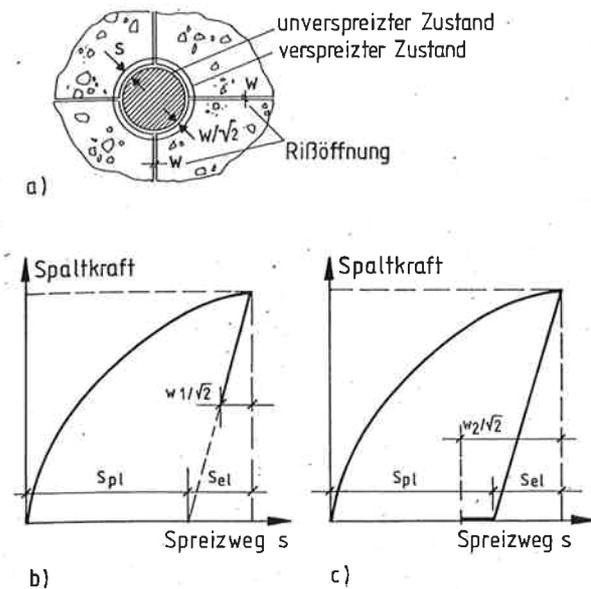


Bild 19. Verhalten eines Dübels im Kreuzriß (schematisch)
Fig. 19. Behaviour of an anchor in a cruciform crack (schematic)
Fig. 19. Comportement d'un cheville dans une fissure croisée (schématique)

lichkeit für einen im Schnittpunkt sich kreuzender Risse liegenden Dübel gilt. Sind Dübel in einem nur in einer Richtung laufenden Riß gleicher Breite verankert, liegen günstigere Verhältnisse vor, weil die Spreizkraft durch das Öffnen des Risses nur in einer Richtung beeinflußt wird. Beim Verspreizen wird die Sprezhülse in den Beton eingedrückt und dadurch eine Spreizkraft geweckt. Der auftretende Spreizweg setzt sich aus einem elastischen und plastischen Anteil zusammen. Wird der Riß geöffnet, fällt die Spreizkraft wegen des steilen Verlaufs der Entlastungskurve schnell ab. Ist die Rißöffnung ausreichend klein, wirkt noch eine gewisse Spreizkraft, und der Dübel bleibt in Kontakt mit der Bohrlochwandung (Bild 19 b). Geeignet konstruierte kraftkontrolliert spreizende Dübel spreizen bei Belastung nach und bauen dadurch eine ausreichend hohe Spreizkraft auf, um einen Betonausbruch zu erzeugen. In diesem Fall unterscheidet sich die Bruchlast naturgemäß nicht von dem bei Hinterschnittdübeln zu erwartenden Wert (siehe Bild 17). Ist bei großen Rißbreiten der Spreizweg und damit die maximale Spreizkraft zu gering, wird der Dübel ausgezogen, und die Bruchlast fällt gegenüber Systemen mit mechanischer Verzahnung ab.

In Rissen verankerte Einschlagdübel nach Bild 1 b, versagen i. a. durch Herausziehen, weil die Spreizkraft durch das Öffnen des Risses abgemindert wird (siehe Bild 19) und die Dübel nicht nachspreizen können. Die Bruchlast wird durch Risse deutlich stärker beeinflußt als bei den bisher diskutierten Systemen (vgl. Bild 20 mit Bild 17). Ein ähnliches Verhalten ist bei kraftkontrolliert spreizenden Dübeln, die nicht ordnungsgemäß nachspreizen oder einen zu geringen Spreizweg aufweisen, zu erwarten.

Wird bei Spreizdübeln der Riß sehr weit geöffnet, kann die Spreizkraft auf Null abfallen (vgl. Bild 19 c). Dann löst sich der Dübel von der Bohrlochwand und wird ohne wesentlichen Kraftaufwand ausgezogen. Diese kritische Rißbreite hängt von der Art des Risses, dem Dübelssystem und dem Dübelndurchmesser ab.

Die Ausbruchlast ist nahezu unabhängig davon, ob die Befestigungselemente in bzw. dicht neben einem Riß sitzen [13], weil auch bei einer Verankerung unmittelbar neben dem Riß der Spannungsverlauf im Beton durch den Riß gestört und der Ausbruchkörper durch den Riß teilweise abgeschnitten wird.

Die Betonausbruchlast ergibt sich für Einzelbefestigungen in der Zugzone mit in der Praxis üblichen Rißweiten $w \leq 0,4$ mm zu

$$F_{u, RiB}^E = \kappa_w \cdot F_{u, ungerissener Beton}^E \quad (8)$$

mit $\kappa_w \approx 0,6$ (8 a)

$F_{u, ungerissener Beton}^E$ nach Gleichung (2)

Sind Dübel in Sonderfällen im Schnittpunkt zweier sich kreuzender Risse verankert, ergeben sich bis zu ca. 20% niedrigere

too small, so that the anchor is then pulled out under the action of the load and the failure load attained is less than that of anchors providing mechanical interlock with the concrete.

A driven-in anchor (Fig. 1 b), installed in a crack will in general fail by pull-out because the expansion force is reduced by the opening-up of the crack (see Fig. 19) and the anchor is unable to develop further expansion. The failure load of such fastenings is notably more strongly affected by cracks than that of the systems so far described (compare Fig. 20 with Fig. 17). A similar mode of behaviour is to be expected with torque-controlled expansion anchors which do not develop proper subsequent further expansion or which attain insufficient expansion displacement.

If the crack in which an expanding anchor is installed opens very wide, the expansion force may decrease to zero (cf. Fig. 19 c). When that happens, the anchor becomes detached from the wall of the hole and is pulled out of the concrete without developing any appreciable resistance. This critical crack width depends on the type of crack in question, on the anchorage system and on the diameter of the anchor.

It makes virtually no difference to the magnitude of the break-out load whether an anchor is located in or close beside a crack [13], because in the latter case, too, the stress pattern in the concrete is disturbed by the crack, which intersects the break-out cone and renders it partly ineffective.

The concrete break-out load for an individual anchor in the tensile zone with crack widths $w \leq 0.4$ mm as commonly encountered in practice is expressed by:

$$F_{u, crack}^E = \kappa_w \cdot F_{u, uncracked concrete}^E \quad (8)$$

where $\kappa_w \approx 0.6$ (8 a)

$F_{u, uncracked concrete}^E$ is obtained from equation (2)

If, in exceptional cases, an anchor is located at the intersection of two cracks extending in different directions, the failure load is reduced by up to about 20 per cent in relation to the value given by equation (8) because in such cases the state of stress in the concrete is disturbed in two directions.

In a group of anchors, usually not all of them but only a few individual ones will be located in a crack. Fig. 21 shows the break-out loads of quadruple fastenings as a function of the location of the individual anchors in relation to cracks. The tests were performed in tensional specimens (crack width $w \approx 0.4$ mm); the anchor plate, which was loaded in centric tension, was pivotably mounted and therefore able to rotate [14].

As expected, the highest failure loads were obtained with anchor groups in uncracked concrete. The loadbearing capacity of the quadruple fastenings in the tensile zone was virtually independent of the location of the group of anchors within the crack pattern.

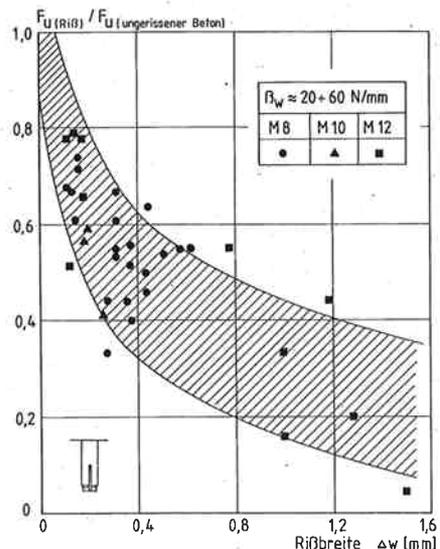


Bild 20. Einfluß von Rissen auf die Höchstlast von Einschlagdübeln
Fig. 20. Effect of cracks on the maximum load of driven-in anchors
Fig. 20. Influence des fissures sur la charge admissible des chevilles battus

Bruchlasten als nach Gleichung (8), weil die Störung des Spannungszustandes im Beton in zwei Richtungen erfolgt.

Bei Dübelgruppen werden meist nicht alle, sondern nur einzelne Dübel im Riß verankert sein. Bild 21 zeigt die Ausbruchlasten von Vierfachbefestigungen in Abhängigkeit von der Lage der einzelnen Dübel zu Rissen. Die Versuche wurden in Dehnkörpern (Rißbreite $w \approx 0,4$ mm) durchgeführt [14]. Die auf zentrischen Zug beanspruchte Ankerplatte war gelenkig gelagert, konnte sich also verdrehen.

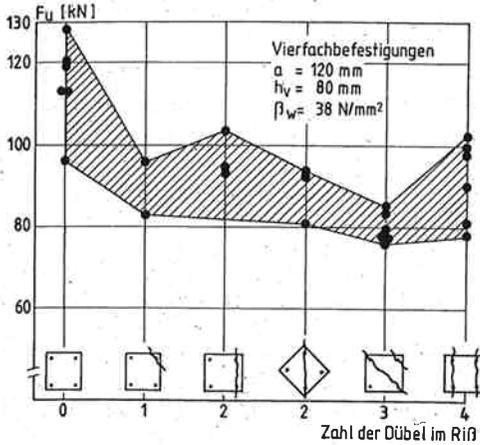


Bild 21. Einfluß der Zahl der Dübel im Riß auf die Betonausbruchlast einer Vierfachbefestigung (nach [14])

Fig. 21. Effect of the number of anchors in the crack on the concrete breakout load of a quadruple fastening (according to [14])

Fig. 21. Influence du nombre des chevilles placés dans la fissure sur la charge limite d'arrachement du béton dans le cas de quadrifixation (d'après [14])

Die höchsten Traglasten ergaben sich erwartungsgemäß bei Dübelgruppen im ungerissenen Beton. Die Tragkraft der Vierfachbefestigungen in der Zugzone war nahezu unabhängig von der Lage der Dübelgruppe im Rißbild. Die niedrigste Traglast ergab sich, wenn drei Dübel im Riß und ein Dübel im ungerissenen Beton lagen. Nach theoretischen Überlegungen sind diese Ergebnisse näherungsweise auch auf Befestigungen mit drehsteif gelagerter Ankerplatte (Verdrehung nicht möglich) übertragbar [14].

Die Versuche zeigen, daß die Abminderung der Höchstlast durch Risse bei Einzel- und Gruppenbefestigungen in der gleichen Größenordnung liegt. Dies bedeutet, daß der Einfluß von Rissen und von reduzierten Abständen multiplikativ überlagert werden kann:

$$F_{u, \text{RiB}}^G = \kappa_w \cdot F_{u, \text{ungerissener Beton}}^G \quad (9)$$

mit $\kappa_w \approx 0,6$

$F_{u, \text{ungerissener Beton}}^G$ nach Gleichung (6)

Bild 22 zeigt, daß der Ansatz nach Gleichung (9) für praktische Verhältnisse ausreichend genau ist:

Die bei den beschriebenen Untersuchungen (Bilder 21 und 22) verwendeten Dübel wiesen sowohl im gerissenen als auch im ungerissenen Beton kontinuierlich ansteigende Lastverschiebungslinien auf (Linien a_1 und a_2 in Bild 23). In Rissen verankerte Dübel können aber auch im Bohrloch gleiten, bevor sie wieder Last aufnehmen (Linie b) oder ohne Lastanstieg ausgezogen werden (Linie c). Der Einfluß dieses Verhaltens auf die Bruchlast einer Gruppe wurde in [14] auf theoretischem Wege untersucht. Nimmt man an, daß alle Dübel im Riß ein normales Lastverschiebungsverhalten aufweisen, dann beträgt die Höchstlast der Gruppe bei großem Achsabstand das ca. 4fache der Traglast eines Einzeldübel im Riß. Die Bruchlast fällt um ca. $\frac{1}{2}$ ab, wenn Dübel 2 und/oder 4 der Linie b folgen. Der Lastabfall ist natürlich größer, wenn einer der im Riß liegenden Dübel der Linie c folgt, also ohne weitere Lastaufnahme im Bohrloch schlupft.

Die Untersuchungen zeigen, daß Befestigungselemente, die in der Zugzone angewendet werden sollen, besonders hohen Anforderungen genügen müssen. Ihre Eignung wird daher in speziellen Versuchen [15], [16], [17] überprüft. Nach den bisherigen Ergebnissen können nur Hinterschnittdübel und gut konstruierte kraftkontrolliert spreizende Dübel als geeignet angesehen werden.

The lowest value was obtained when three anchors were located in the crack and one anchor in the uncracked concrete. On the basis of theoretical considerations these results are approximately also applicable to fastenings formed with a rigidly fixed anchor plate (no rotation possible) [14].

The tests show that the reduction of the maximum attainable load in consequence of cracks in the concrete is of the same order of magnitude for individual anchors and for groups. This means that the effect of cracks and of reduced anchor spacings can be superimposed by multiplication of the relevant factors:

$$F_{u, \text{crack}}^G = \kappa_w \cdot F_{u, \text{uncracked concrete}}^G \quad (9)$$

where $\kappa_w \approx 0.6$

$F_{u, \text{uncracked concrete}}^G$ is obtained from equation (6)

Fig. 22 shows that equation (9) is sufficiently accurate for practical purposes.

The anchors employed in the investigations (Figs. 21 and 22) displayed continuous load-displacement curves both in the cracked and in the uncracked concrete (lines a_1 and a_2 in Fig. 23). Anchors installed in cracks may also slip in the hole before again being able to resist load (line b) or may be pulled out of the hole without further load increase (line c). The effect of this behaviour on the failure load of a group has been theoretically investigated in [14]. On the assumption that all the anchors in a crack show normal load-displacement behaviour, the maximum load attained by the group will, for widely spaced anchors, be approximately four times the maximum load of an individual anchor in the crack. The failure load is reduced by about one-third if anchor 2 and/or anchor 4 show behaviour corresponding to line b. Of course, the load reduction is even greater if one of the anchors located in the crack corresponds to line c, i.e., it slips out of the hole without resisting any further load increase.

The investigations show that fastenings intended for use in the tensile zone must satisfy particularly stringent requirements. Their suitability for the purpose is therefore verified in special tests [15], [16], [17]. The results so far indicate, only undercut anchors and well designed torque-controlled expansion anchors can be regarded as suitable.

When a reinforced concrete member is loaded, not only do cracks occur, but high tensile stresses may also be produced in the concrete, e.g., in the zones of anchorages and lap splices of ribbed reinforcing bars. If fastenings are installed in such zones,

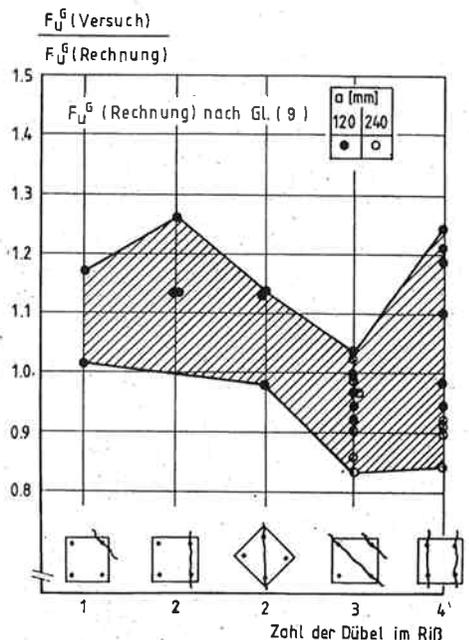


Bild 22. Verhältnis der gemessenen zu den rechnerischen Höchstlasten von Vierfachbefestigungen in Abhängigkeit von der Anzahl der Dübel im Riß (nach [14])

Fig. 22. Ratio of the measured to the calculated maximum loads of quadruple fastenings as a function of the number of anchors in the crack (according to [14])

Fig. 22. Rapport des charges maximales mesurées et calculées de quadrifixations par rapport au nombre des chevilles dans la fissure (d'après [14])

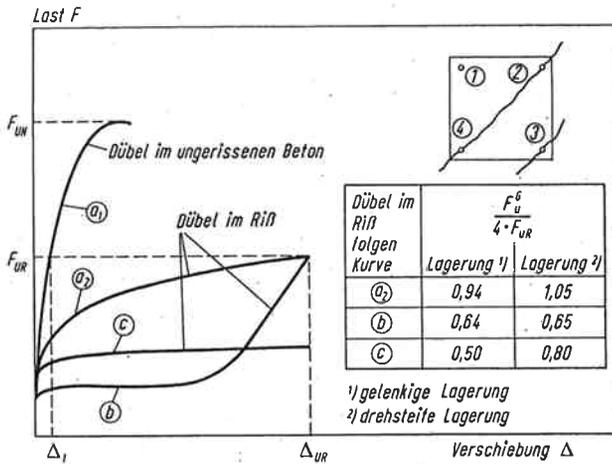


Bild 23. Einfluß der Form der Last-Verschiebungskurve auf die Ausbruchlast von Vierfachbefestigungen unter zentrischer Zugbeanspruchung (nach [14])

Fig. 23. Effect of the shape of the load-displacement curve on the break-out load of quadruple fixings under centric tensile loading (according to [14])

Fig. 23. Influence de la forme de la courbe de déplacement de charge sur la charge de rupture des quadri-fixations sous contrainte de traction centrique (d'après [14])

Bei Belastung eines Stahlbetonbauteils treten nicht nur Risse auf, sondern es können auch hohe Zugspannungen im Beton hervorgerufen werden, z. B. im Bereich von Verankerungen und Übergreifungsstößen von Rippenstäben. Ordnet man dort Befestigungen an, kommt es zu einer örtlichen Überlagerung dieser Zugspannungen mit jenen aus der Befestigung. Dadurch kann nach theoretischen und experimentellen Untersuchungen je nach Verankerungstiefe und Lage der Befestigung im Stoßbereich die Betonausbruchlast um bis zu etwa 30% gegenüber ungerissenen und ansonsten unbelastetem Beton abgemindert werden [18]. Da diese Abminderung der Ausbruchlast i. a. geringer ist als die durch Risse hervorgerufene, kann man davon ausgehen, daß für die Tragfähigkeit von Befestigungen in der Zugzone hauptsächlich die Lage im Riß maßgebend ist.

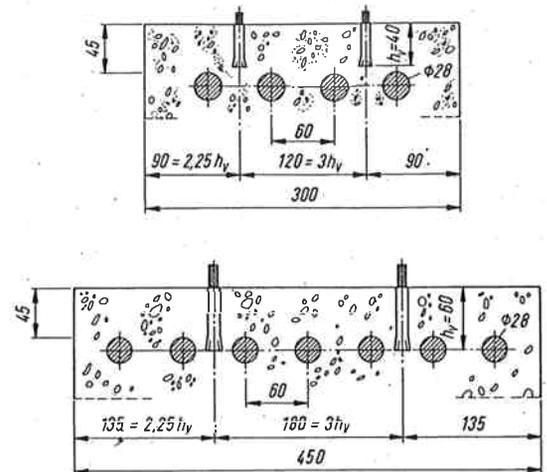
Ungünstig ist weiterhin, wenn Dübel in der Betondeckung oder in der Nähe der Bewehrung verankert werden. Auch hier überlagern sich die Zugspannungen aus der Verbundwirkung der Bewehrungsstäbe mit denen aus der Befestigung. Zudem ist die Festigkeit des Betons in der Betondeckung und zwischen den Stäben in der Regel geringer als im Querschnittsinneren, insbesondere bei dichter Bewehrung. Außerdem schwächt die Bewehrung die zur Übertragung von Zugkräften zur Verfügung stehende Fläche. Die in solchen Fällen zu erwartende Ausbruchlast wurde in Versuchen mit Einzel- und Vierfachbefestigungen ($h_v = 40$ mm bis 60 mm) studiert [19]. Als Versuchskörper dienten Biegebalken. Die Dübel wurden in der Betondeckung bzw. in Höhe der Bewehrungsstäbe ($d_s = 28$ mm, Achsabstand 60 mm) verankert (Bild 24). Der Versuchskörper nach Bild 24 a wurde auch für Dübel mit einer Verankerungstiefe $h_v = 50$ mm verwendet. Das Versagen erfolgte bei Dübelgruppen durch Abreißen der gesamten Betonschale (Bild 25). Die Ausbruchlasten waren unabhängig vom Dübeltyp und der Lage der Befestigung auf der Bauteilunter- bzw. -oberseite. Sie waren im Mittel um ca. 30% niedriger als die bei großem Stababstand zu erwartenden rechnerischen Werte (Bild 26).

Zusammenfassung:

In diesem Aufsatz werden die Kenntnisse zum Tragverhalten von auf Zug beanspruchten Einzelbefestigungen und Dübelgruppen mit beliebigen Achs- und Randabständen im ungerissenen und gerissenen Beton zusammengefaßt. Die Ausführungen sollen einen optimalen Einsatz der Dübel ermöglichen und zum Verständnis des in den Zulassungen niedergelegten Bemessungsverfahrens beitragen.

Literaturnachweis

- [1] Ellgehausen, R., und Fuchs, W.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen unter Querkzug-, Schrägzug- und Biegebeanspruchung. Erscheint demnächst in Betonwerk + Fertigteil-Technik.



Maße in mm

Bild 24. Befestigungen in der Betondeckung hoch bewehrter Balken (Versuche [19])

Fig. 24. Fastenings in the concrete cover of heavily reinforced beams (tests [19])

Fig. 24. Ancrage dans le recouvrement béton de l'armature dans des poutres avec forte densité d'armature (d'après [19])

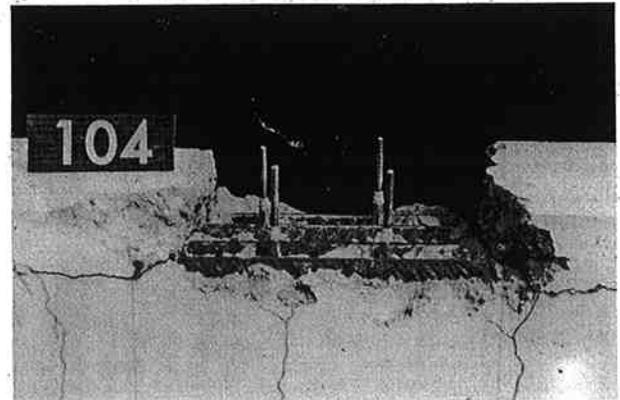


Bild 25. Bruchbild einer Vierfachbefestigung (Schalenbildung) (entnommen aus [19])

Fig. 25. Failure pattern of a quadruple fastening (pulling-off of the concrete cover) (from [19])

Fig. 25. Forme de rupture d'une quadri-fixation (formation concave) (extraît [19])

these tensile stresses will be superimposed on those due to the anchors. In consequence of this, as theoretical and experimental investigations indicate, the loadbearing capacity (concrete break-out load) of such anchors may, depending on anchorage depth and location of the fastening in the splice region be reduced by up to about 30 per cent in relation to that of anchors in uncracked and otherwise non-loaded concrete [18]. Since this reduction in capacity is generally less than that caused by cracks in the concrete, it can be presumed that the loadbearing capacity of fixings in the tensile zone is governed mainly by their location in cracks.

An unfavourable situation also exists when anchors are installed in the concrete cover or close to reinforcement. In such cases, too, the tensile stresses due to the bond action of the reinforcing bars will be superimposed on those due to the anchors. Furthermore, the strength of the concrete within the cover and between the bars is usually less than deeper within the concrete cross-section, especially in members containing closely spaced reinforcing bars. The reinforcement moreover weakens the area available for the transmission of tensile forces. The break-out load attainable in such cases has been studied in tests with single and quadruple fixings ($h_v = 40$ mm to 60 mm) [19]. Flexurally loaded beams were used as test specimens. The anchors were installed in the concrete cover or at the level of the reinforcing bars ($d_s = 28$ mm, centre-to-centre spacing 60 mm, Fig. 24). The specimen shown in Fig. 24 a was used also for anchors with an anchorage depth $h_v = 50$ mm. Failure of anchor groups occurred in consequence of

- [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 α -Verfahren“ für Befestigungsmittel, Bemessung an Beispielen von Kopfbolzenverankerungen. 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., Mallée, 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.
- [9] Riemann, H.: Zugbeanspruchte randnahe Verankerungen – Nachweis gegen Betonversagen mit einem verbesserten α -Wert. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 6, 1987, S. 437–442.
- [10] Schießl, P.: Einfluß von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 370, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1986.
- [11] Cannon, R. W.: Expansion Anchor Performance in Cracked Concrete. ACI-Journal, November/Dezember 1981, S. 471–479.
- [12] Elgehausen, R., Lotze, D., Sawade, G.: Untersuchungen zur Frage der Wahrscheinlichkeit, mit der Dübel in Rissen liegen. Bericht Nr. 1/20-86/17, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Oktober 1986, nicht veröffentlicht.
- [13] Rehm, G., Lehmann, R.: Untersuchungen mit Metallspreizdübeln in der gerissenen Zugzone von Stahlbetonbauteilen. Forschungsbericht. Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart, Juli 1982, nicht veröffentlicht.
- [14] Mayer, B., Elgehausen, 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.
- [15] Elgehausen, R., 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.
- [16] Elgehausen, R.: Vorschlag für ein Prüfprogramm für Eignungs- und Zulassungsversuche für Dübel, die in der Zugzone eingesetzt werden sollen. Bericht Nr. 1/16-86/2, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Februar 1986, nicht veröffentlicht.
- [17] Institut für Bautechnik, Berlin: Rahmenprogramm für Eignungs- und Zulassungsversuche für Dübel, die in der Betonzugzone eingesetzt werden sollen. Fassung März 1987, nicht veröffentlicht.
- [18] Elgehausen, R.: Wechselbeziehungen zwischen Befestigungstechnik und Stahlbetonbauweise. Fortschritte im konstruktiven Ingenieurbau, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1984.
- [19] Fuchs, W.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen, verankert in der Biegezugzone von stark bewehrten Betonbalken. Bericht Nr. 1/15-85/26, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Dezember 1985, nicht veröffentlicht.

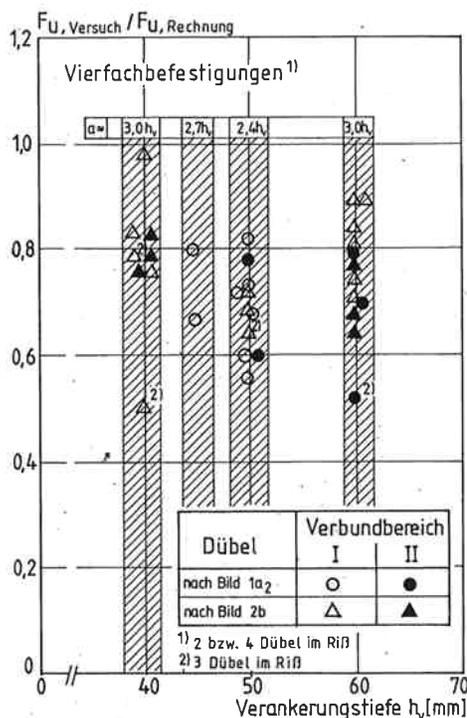


Bild 26. Einfluß der Schalenbildung auf die Höchstlast von Vierfachbefestigungen (nach [19])

Fig. 26. Effect of shell formation on the maximum load of quadruple fastenings (according to [19])

Fig. 26. Influence de la formation concave sur la contrainte maximale d'une quadri-fixation (d'après [19])

Pulling-off of the concrete cover as a whole (Fig. 25). The break-out loads were independent of the type and location of the anchor on the underside or the upper surface of the member and were on average about 30 per cent lower than the calculated values for wide bar spacings (Fig. 26).

Summary:

This article summarizes the present knowledge relating to the loadbearing behaviour of single anchors (bolt-type fixings in holes) and groups of anchors, spaced any distance apart or from an edge, installed in uncracked and in cracked concrete. This information aims to make possible the optimum utilization of such fixings and to contribute to an understanding of the design procedure laid down in the certificates of official approval.

Pouvoir porteur en traction de fixations par goujons-chevilles; 1 partie. Prof. Dr.-Ing. R. Elgehausen, Dipl.-Ing. W. Fuchs, Dipl.-Ing. B. Mayer

Résumé:

Dans cet article sont résumé les connaissances de la portance des fixations travaillant en traction. Fixations solitaires et chevilles groupés avec des distances d'ents'axe et du bord librement choisies dans du béton sans fissures, comme fissuré.

Les applications doivent permettre l'utilisation optimale des chevilles et apporter une meilleure compréhension de la méthode de dimensionnement incluse dans l'agrément.



R. Elgehausen 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.



W. Fuchs legte 1983 sein Diplomhauptexamen an der Universität Karlsruhe ab. Er arbeitet seitdem als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart. Sein Hauptarbeitsgebiet ist die Befestigungstechnik. Er hat mehrere Fachvorträge gehalten.



B. Mayer bestand sein Diplomexamen 1980 an der Universität Stuttgart. Nach einer Tätigkeit als Bauleiter arbeitete er seit 1983 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart. Sein Hauptarbeitsgebiet war die Befestigungstechnik. Ende 1987 wechselte er zu einem Hersteller für Befestigungselemente.