

Bemessung von Befestigungen in Beton mit Teilsicherheitsbeiwerten

R. Eligehausen, Stuttgart

Übersicht. Die moderne Befestigungstechnik mit Einlegeteilen und Dübeln ist in allen Bereichen des Bauwesens weit verbreitet. Die Bemessung von Befestigungen sollte mit möglichst einfachen, aber genügend genauen ingenieurmäßigen Modellen auf der Grundlage des modernen Sicherheitskonzepts der Teilsicherheitsbeiwerte erfolgen. Daher werden Gleichungen zur Berechnung der charakteristischen Bruchlast von Befestigungen im gerissenen und ungerissenen Beton für die verschiedenen Lastrichtungen und Versagensarten sowie Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte angegeben. Weiterhin wird vorgeschlagen, Befestigungselemente hinsichtlich ihrer Zug- und Querkrafttragfähigkeit nach Lastklassen zu klassifizieren. Auf einige offene Fragen wird hingewiesen.

Design of fastenings in concrete with partial safety factors

Contents. Modern fastening technique with embeds and anchors is widely used in all parts of civil engineering construction. The design of fastenings should be based on simple but sufficiently accurate engineering models and on the modern safety concept with partial safety factors. Therefore equations for the calculation of the characteristic failure load of fastenings in cracked and in uncracked concrete and for different load directions and failure modes as well as values for partial safety factors are given. Furthermore it is proposed to classify fastening elements into load classes according to the characteristic strength under tension and shear loading. Some questions which are still open are pointed out.

1 Einleitung

Die moderne Befestigungstechnik ermöglicht die Einleitung von „beliebig“ großen Lasten in Beton- oder Stahlbetonbauteile. Verwendet werden Einlegeteile und Metalldübel.

Einlegeteile werden auf der Schalung befestigt und einbetoniert. Ankerschienen aus U-förmigen Stahlprofilen mit be-

sonderen Verankerungselementen (Bild 1 a) und Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen (Bild 1 b) stellen eine mechanische Verzahnung (Formschluß) mit dem Beton her. Neuerdings werden auch wellenförmig gebogene Betonrippenstähle mit aufgepreßter Gewindehülse (Bild 1 c) verwendet, die die Last über eine Kombination von Formschluß und Verbund in den Beton einleiten.

Metalldübel lassen sich an nahezu beliebiger Stelle in einem erhärteten Betonbauteil in einem nachträglich erstellten Bohrloch verankern. Nach dem Wirkungsprinzip unterscheidet man Metallspreiz-, Verbund- und Hinterschnittdübel.

Metallspreizdübel aktivieren Spreiz- und damit Haltekräfte (Reibung) im Verankerungsgrund. Bei kraftkontrolliert spreizenden Dübeln wird ein definiertes Drehmoment aufgebracht; dadurch werden je nach Dübeltyp ein Konus bzw. zwei Konen in die Spreizhülse bzw. Spreizsegmente gezogen (Bild 2 a). Sie können unter Belastung nachspreizen. Wegkontrolliert spreizende Dübel werden durch Einschlagen des Konus in die Hülse (Einschlagdübel; Bild 2 b.1) bzw. durch Auftreiben der Hülse auf den Konus (Selbstbohrdübel; Bild 2 b.2) um einen definierten Weg verspreizt und können nicht nachspreizen.

Das Wirkungsprinzip von Verbunddübeln (Bild 2 c) beruht auf einer Verklebung von Gewindestange und Bohrlochwand mittels Reaktionsharz. Die Last wird über Verbundkräfte in den Ankergrund eingeleitet.

Hinterschnittdübel wirken wie Einlegeteile durch mechanische Verzahnung mit dem Ankergrund. Die Hinterschneidung wird nach dem Erstellen des zylindrischen Bohrlochs in einem zweiten Arbeitsgang vor dem Setzen des Dübels (Bild 2 d.1 bis 2 d.3) bzw. beim Setzen des Dübels (Bild 2 d.4 und 2 d.5) hergestellt. Bei Montage und Belastung werden deutlich geringere Spreizkräfte als bei Metallspreizdübeln erzeugt.

Für Metalldübel ist eine zulässige Last festgelegt, die für alle Beanspruchungsrichtungen (zentrischer Zug, Schrägzug,

Professor Dr.-Ing. Rolf Eligehausen ist seit 1984 Leiter der Abteilung „Befestigungstechnik“ am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart.

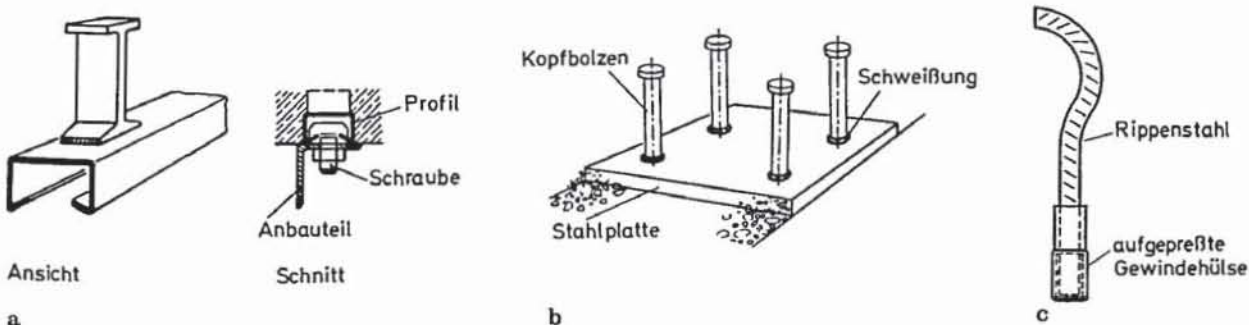


Bild 1 a–c. In die Schalung eingelegte Befestigungselemente; a Ankerschiene, b Kopfbolzenankerplatte, c Wellenanker (nach [1])

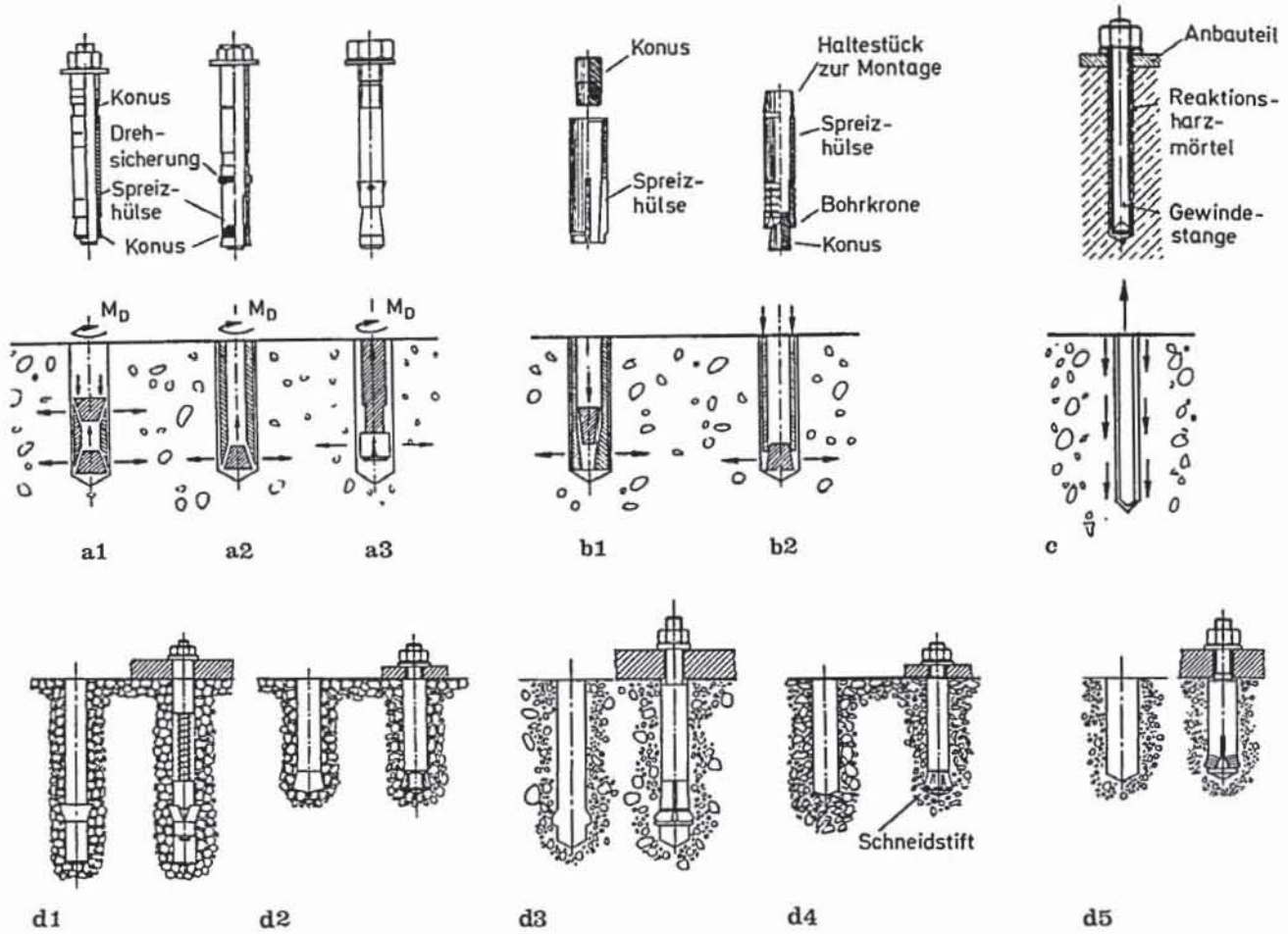


Bild 2 a-d. Metalldübel; a Kraftkontrolliert spreizende Dübel, b Wegkontrolliert spreizende Dübel, b1) Einschlagdübel, b2) Selbstbohrdübel, c Verbunddübel, d Hinterschnittdübel (entnommen aus [1] und [29])

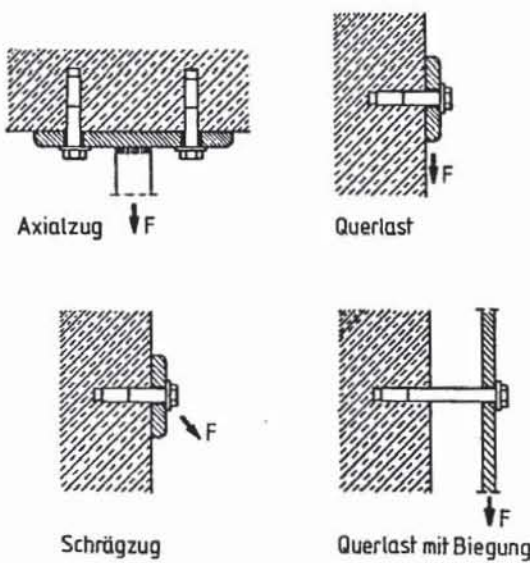


Bild 3. Beanspruchungsrichtungen von Befestigungen (entnommen aus [2])

Querlast) gilt (Bild 3). Die zulässigen Lasten wurden in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe h_v in Lastklassen eingeteilt (Bild 4). Sie gelten bei Einhaltung von bestimmten Mindestwerten für die Achs- und Randabstände sowie die Bauteildicke. Bei Unterschreitung der kritischen Achs- oder Randabstände bis auf die minimal zulässigen Werte ist die zulässige Last nach einem vereinfachten Verfahren zu reduzieren. Weitere Einzelheiten sind [3] zu entnehmen.

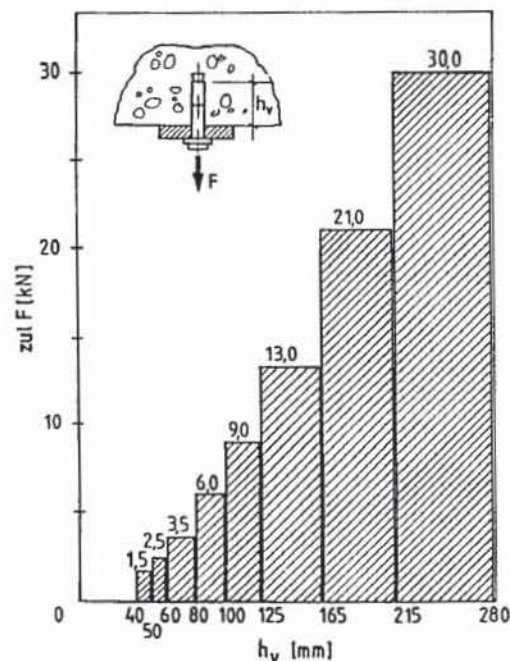


Bild 4. Lastklassen für rißtaugliche Dübel nach den geltenden Zulassungen

Ein ähnliches Bemessungskonzept ist in [4] angegeben. Es ist zwar einfach, hat jedoch den Nachteil, daß die i. a. höhere Querzugtragfähigkeit von Befestigungen gegenüber der zentrischen Zugtragfähigkeit vernachlässigt wird. Daher wurde in [5] vorgeschlagen, bei der Bemessung die unter-

schiedliche Tragfähigkeit von Befestigungen für die einzelnen Lastrichtungen zu berücksichtigen, wie dies im Ausland allgemein üblich ist.

Die zulässige Last $zul F$ von Befestigungsmitteln wird bisher aus 5%-Fraktile von Versuchsergebnissen, $F_{u,5\%}$, unter Ansatz eines globalen Sicherheitsbeiwerts γ abgeleitet:

$$zul F_{u,5\%}/\gamma \quad (1)$$

Der Sicherheitsbeiwert wird bei Betonversagen zu $\gamma = 3,0$ angenommen.

Demgegenüber werden nach den Eurocodes (z. B. [6], [7]) Bauteile mit Teilsicherheitsbeiwerten bemessen. Dadurch ist es möglich, die verschiedenen Einflüsse auf die Sicherheit „genauer“ als bei Ansatz eines globalen Sicherheitsbeiwerts zu erfassen. Es ist sinnvoll, dieses moderne Sicherheitskonzept auch in der Befestigungstechnik anzuwenden.

Im folgenden wird dieses neue Sicherheits- und Bemessungskonzept erläutert. Es gilt für Befestigungen in Beton $\geq B25$ mit einbetonierten Kopfbolzen bzw. mit Spreiz- und Hinterschnittdübeln, deren Eignung für Anwendungen im ungerissenen und gerissenen Beton nach [8] nachgewiesen wurde. Bisher wurde die Rißtauglichkeit nur für Einlegeteile nach Bild 1 und für neu entwickelte kraftkontrolliert spreizende Dübel des Hülsentyps (Bild 2a₁, a₂) sowie für Hinterschnittdübel (Bild 2d) nachgewiesen. Weiterhin wird eine vorwiegend ruhende Belastung vorausgesetzt. Der günstige Einfluß einer speziellen Bewehrung zur Rückhängung der eingeleiteten Lasten in das Bauteil auf die Tragfähigkeit von Befestigungen wird vernachlässigt. Bei Befestigungen am Rand wird jedoch eine Randbewehrung vorausgesetzt. Die Vorschläge können leicht auf Befestigungen mit Ankerschienen erweitert werden.

Durch die Einleitung von hohen Lasten (> 5 bis 10 kN pro Befestigungspunkt) in die Betonzugzone kann die Tragfähigkeit des als Ankergrund dienenden Bauteils vermindert werden. Darauf wird in diesem Aufsatz nicht eingegangen, vielmehr wird auf [1, 9, 10] verwiesen.

2 Sicherheitskonzept

Bei Bemessungen mit Teilsicherheitsbeiwerten ist die Einhaltung von Gl. (2) nachzuweisen.

$$S_d \leq R_d \quad (2)$$

mit

S_d = Entwurfsschnittgrößen

R_d = Entwurfswiderstand

Die Entwurfsschnittgrößen und der Entwurfswiderstand hängen davon ab, ob die Einhaltung der geforderten Bruch-sicherheit oder die Einhaltung von Bedingungen im Gebrauchszustand (z. B. zulässige Schwingbreite oder zulässige Verformungen) nachgewiesen wird. Beim Nachweis der Tragfähigkeit gilt für den einfachsten Fall [6, 7]

$$S_d = \gamma_g \cdot S_g + \gamma_q \cdot S_q \quad (3a)$$

$$R_d = R_k/\gamma_m \quad (3b)$$

mit

S_g, S_q = Schnittkräfte aus charakteristischen Eigengewichts- bzw. Verkehrslasten

γ_g, γ_q = Teilsicherheitsbeiwert für Schnittkräfte aus Eigengewicht bzw. Verkehrslasten

R_k = 5%-Fraktile des Widerstandes (z. B. Ausbruchlasten)

γ_m = Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand

Tabelle 1. Sicherheitsklassen nach [11]

Sicherheitsklasse	Mögliche Folgen beim Erreichen des Grenzzustandes	
	der Gebrauchsfähigkeit	der Tragfähigkeit
1	Geringe wirtschaftliche Folgen und/oder geringe Beeinträchtigung der Nutzung	Geringe Gefährdung von Menschenleben und/oder geringe wirtschaftliche Folgen
2	Beachtliche wirtschaftliche Folgen und/oder beachtliche Beeinträchtigung der Nutzung	Beachtliche Gefährdung von Menschenleben und/oder beachtliche wirtschaftliche Folgen
3	Große wirtschaftliche Folgen und/oder große Beeinträchtigung der Nutzung	Große Gefährdung von Menschenleben und/oder große wirtschaftliche Folgen

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Lasten und Widerstand hängen von der geforderten Zuverlässigkeit ab. Es werden drei Zuverlässigkeits- bzw. Sicherheitsklassen nach der Akzeptanz des möglichen Schadensrisikos unterschieden (Tabelle 1).

Befestigungen nach Sicherheitsklasse 1 werden als nicht zulassungsrelevant angesehen, da Leib und Leben nicht gefährdet sind, und es werden von der Bauaufsicht keine Anforderungen an das Verhalten der Befestigungsmittel gestellt. In der Regel sind Befestigungen in die Sicherheitsklasse 2 einzustufen, und es sind bauaufsichtlich zugelassene Befestigungsmittel zu verwenden. Bei Befestigungen in öffentlichen Gebäuden oder Gebäuden mit hohem Publikumsverkehr (z. B. abgehängte Decke in einem Versammlungsraum) könnte man Sicherheitsklasse 3 anwenden.

Bisher fehlt eine eindeutige und allgemein akzeptierte Einstufung von häufig vorkommenden Befestigungsaufgaben in die verschiedenen Sicherheitsklassen. Sie sollte möglichst bald erarbeitet werden.

Zu den einzelnen Sicherheitsklassen gehören unterschiedliche sog. operative Versagenswahrscheinlichkeiten, die durch unterschiedlich hohe Sicherheitsbeiwerte gewährleistet werden sollen. Dieses Vorgehen ist bei Befestigungen jedoch nur dann richtig, wenn das System für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet ist, also nicht empfindlich auf z. B. unvermeidliche Montageungenauigkeiten oder eine geringe Vergrößerung der Rißbreiten reagiert. Die Eignung von Befestigungsmitteln wird nach [8] beurteilt.

Bei der Festlegung der Sicherheitsbeiwerte für Befestigungsmittel im Hinblick auf die Beton- bzw. Stahltragfähigkeit ist es sinnvoll, von den Sicherheitsüberlegungen in modernen Stahlbeton- [6] bzw. Stahlnormen [7] auszugehen und die speziellen Gesichtspunkte der Befestigungstechnik durch zusätzliche Sicherheitselemente zu berücksichtigen. Die folgenden Ausführungen gelten für Sicherheitsklasse 2.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Lasten sind allgemein anerkannt. Sie betragen $\gamma_g = 1,35$ und $\gamma_q = 1,50$ [6, 7]. Für ein Verhältnis $S_q/S_g = 0,5$ ergibt sich der Teilsicherheitsbeiwert für Lasten zu $\gamma_f = 1,4$.

Der Materialsicherheitsbeiwert bei Betonversagen kann aus den Angaben in [6] abgeleitet werden. Danach erhält man die Entwurfsfestigkeit f_{cd} für druckbeanspruchten Beton aus der an Zylindern gemessenen 5%-Fraktile der Betondruckfestigkeit f_{ck} durch Division mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_c . Dieser beträgt bei einer Qualitätskontrolle nach Abschnitt 7 von [6], die etwa der Qualitätskontrolle für Beton BI (Rezeptbeton) nach DIN 1045 entsprechen dürfte, $\gamma_c = 1,5$. Hö-

here und niedrigere Werte für γ_c dürfen verwendet werden, wenn sie durch eine entsprechende Qualitätskontrolle begründet sind.

Befestigungselemente nutzen örtlich die Zugfestigkeit des Betons aus, die insbesondere bei Baustellenbeton stärker streut als die Druckfestigkeit. Weiterhin kann das Tragverhalten von Befestigungsmitteln durch unvermeidbare Montageunsicherheiten beeinflusst werden, und die Bruchlast kann z. B. bei der Versagensart „Herausziehen“ relativ stark streuen. Diese Effekte können durch zusätzliche Teilsicherheitsbeiwerte γ_1 bis γ_3 erfaßt werden. Damit erhält man für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{mc} bei Betonversagen

$$\gamma_{mc} = \gamma_c \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \quad (4a)$$

mit

- γ_c = Teilsicherheitsbeiwert für Beton auf Druck
= 1,5 bei normaler Qualitätskontrolle
- γ_1 = Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der größeren Streuung der Zugfestigkeit von Baustellenbeton gegenüber der Streuung der Druckfestigkeit
= 1,0 bei sehr sorgfältig hergestelltem und nachbehandeltem Beton (z. B. Beton BII nach DIN 1045)
≈ 1,2 bei normaler Sorgfalt (Beton BI)
- γ_2 = Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Montagesicherheit eines Systems
= 1,0 bei Systemen mit hoher Montagesicherheit
≈ 1,2 bei Systemen mit normaler Montagesicherheit
≥ 1,4 bei Systemen mit niedriger, jedoch noch akzeptabler Montagesicherheit
- γ_3 = Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Streuung der Bruchlasten
= 1,0 bei Variationskoeffizienten $V < 10\%$ (im allgemeinen bei Betonausbruch)
≈ 1,2 bei Variationskoeffizienten $V = 20\%$ (z. B. bei Herausziehen)

Die obigen Angaben für γ_1 und γ_3 wurden aus [12, 13] abgeleitet, jedoch sind weitere Untersuchungen zur Absicherung der vorgeschlagenen Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte dringend erforderlich.

Bei zentrischer Zugbeanspruchung können Kopfbolzen als ein System mit hoher Montagesicherheit angesehen werden. Dies gilt auch für die meisten zugelassenen Hinterschnittdübel, da bei Verwendung der vorgeschriebenen Bohr- und Setzgeräte Montagefehler weitgehend ausgeschlossen sind, Fehlmontagen vom Handwerker eindeutig erkannt werden können (Dübelhülse ragt über die Betonoberfläche bzw. das Anbauteil hinaus) und die richtige Montage nachträglich kontrollierbar ist. Reißtaugliche kraftkontrolliert spreizende Dübel können in der Regel als Systeme mit normaler Montagesicherheit eingestuft werden, soweit nicht durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Bruchmutter) das Aufbringen eines definierten Drehmomentes erzwungen wird oder der Dübel ein besonders gutes Nachspreizverhalten aufweist. Für andere Dübelssysteme müssen die Beiwerte γ_2 noch quantifiziert werden.

Der Beiwert γ_2 von auf Querkzug beanspruchten Befestigungen am Bauteilrand hängt hauptsächlich von deren Lagegenauigkeit ab. Nimmt man an, daß bei üblicher Sorgfalt der tatsächliche Randabstand höchstens etwa $0,5 d_B$ (d_B = Durchmesser des Dübels oder Kopfbolzens) vom Sollwert abweicht, ergibt sich $\gamma_2 \approx 1,1$ [14].

Die für ein bestimmtes Befestigungssystem geltenden Zahlenwerte für γ_2 und γ_3 sind in den Zulassungen anzugeben. Mit $\gamma_c = 1,5$, $\gamma_1 = 1,2$ (Beton BI), $\gamma_2 = 1,2$ (normale Montagesicherheit), $\gamma_3 = 1,0$ ($V \leq 10\%$) und $\gamma_f = 1,4$ erhält

man als Gesamtsicherheitsbeiwert $\gamma = 3,0$. Dieser Wert wird bisher gefordert. Für montagesichere Systeme und/oder Befestigungen in Beton BII ist eine Reduzierung des Sicherheitsbeiwertes möglich.

Die angegebenen Zahlenwerte für γ_{mc} gelten, wenn bei der Bemessung von Befestigungen gerissener Beton (Normalfall) vorausgesetzt bzw. wenn bei Annahme von ungerissenem Beton (Sonderfall) in jedem Einzelfall nachgewiesen wird, daß unter Berücksichtigung der durch die Verankerung eingeleiteten Lasten bei Verankerungen in stabförmigen Bauteilen (z. B. Balken, Stützen) in Tragrichtung bzw. bei Verankerungen in flächenartigen Bauteilen (z. B. Platten, Wände) in Haupt- und Nebentragrichtung auf der der Verankerung zugewandten Bauteilseite eine Betondruckzone mit einer Betonranddruckspannung σ_b vorhanden ist, die dem Betrag nach mindestens der zu erwartenden Zwangszugspannung entsprechen muß. Wird kein genauere Nachweis geführt, gilt vereinfachend $\sigma_b = -2,5 \text{ N/mm}^2$. Dieser Wert darf nur dann verringert werden, wenn zweifelsfrei die zu erwartende Zwangszugspannung kleiner als $2,5 \text{ N/mm}^2$ ist (vgl. DIN 1045 [30], Abschnitt 17.6.2, Absatz (2), Ziffer b) und c) sowie Absätze (4) und (5) sowie Erläuterungen in [15]).

Die obige Definition von ungerissenem Beton stimmt mit der Neufassung der DIN 1045 [30] überein. Sie wird in [31] ausführlich begründet.

Die Druckspannungsreserve σ_b soll gewährleisten, daß auch bei (unbeabsichtigter) Behinderung von Verformungen das Auftreten von Rissen im Beton sehr unwahrscheinlich ist. Weist man demgegenüber entsprechend der bisher üblichen Praxis nur nach, daß aus äußeren Lasten keine Zugspannungen in Haupttragrichtung des als Ankergrund dienenden Bauteils auftreten, vernachlässigt also bei Flächentragwerken Zugspannungen in Nebentragrichtung sowie Zugspannungen aus Zwangsschnittgrößen, so sind Risse im Beton nicht mit ausreichender Sicherheit auszuschließen. Deren ungünstiger Einfluß wäre durch einen zusätzlichen Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_4 \approx 1,1$ bis $1,5$ (je nach Reißempfindlichkeit des Befestigungssystems) zu berücksichtigen.

Der Beiwert γ_c berücksichtigt nach [6] den Unterschied zwischen der Zylinderdruckfestigkeit und der Betondruckfestigkeit im Bauwerk. Die Entwurfsfestigkeit $f_{c,d}$ ist zusätzlich mit 0,8 zu multiplizieren, wobei der Abminderungsfaktor Langzeiteffekte auf die Betondruckfestigkeit und ungünstige Effekte infolge Lasteinleitung berücksichtigt. Die charakteristische Bruchlast von Verankerungen wird bisher ebenfalls für eine Betonfestigkeit $\beta_w = 0,8 \cdot \beta_{wN}$ (β_{wN} = Beton-Nennfestigkeit) bestimmt, wobei jedoch der Wert 0,8 mögliche lokale Minderfestigkeiten des Betons berücksichtigen soll, die nach [16] nicht auszuschließen sind. Der Einfluß einer Dauerlast wird jedoch vernachlässigt, weil bei den geforderten Sicherheitsbeiwerten ein Dauerbruch nicht zu erwarten ist und die Bruchlast durch eine vorhergehende Dauerlast nicht ungünstig beeinflusst wird [2]. Die bisherige Auswertemethode sollte beibehalten werden, allerdings sollte man die Bruchlast nicht für die Nennfestigkeit, sondern für die Serienfestigkeit $\beta_{w,S}$ des Betons bestimmen. Die Betonserienfestigkeit wurde auch bei der Ermittlung der erforderlichen Übergreifungslänge [17] bzw. bei der Ableitung der zulässigen Schubspannung von Platten ohne Schubbewehrung [18] angesetzt.

Nach [7] beträgt der Sicherheitsbeiwert bei Stahlversagen von Gewindeteilen:

$$\gamma_{ms} = 1,40 \quad \text{zentrischer Zug} \quad (4b)$$

$$= 1,25 \quad \text{Querkzug außerhalb des Gewindes bzw. im Bereich des Gewindes bei Stählen mit einer Nennfestigkeit } f_u \leq 800 \text{ N/mm}^2 \quad (4c)$$

$$= 1,50 \text{ Querzug im Bereich des Gewindes bei Nennfestigkeiten } 800 \text{ N/mm}^2 < f_u \leq 1000 \text{ N/mm}^2 \quad (4d)$$

Die obigen Sicherheitsbeiwerte für Zugbeanspruchung und Querzug im Gewinde gelten für gerollte Gewinde. Bei geschnittenen Gewinden sind sie mit dem Faktor $1/0,85 = 1,18$ zu erhöhen.

Bei Ansatz der o. g. Teilsicherheitsbeiwerte γ_{ms} erhält man mit $\gamma_f = 1,4$ für gerollte Gewinde zulässige Spannungen, die bei zentrischem Zug das ca. 1,4- bis 1,8fache bzw. bei Querzug das ca. 1,0- bis 1,2fache der bisher vom Sachverständigenausschuß „Ankerschienen und Dübel“ festgelegten Werte [19] betragen. Es ist zu überprüfen, ob die in [7] angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte für Befestigungsmittel unverändert übernommen werden können, wobei der Einfluß von möglichen Kraftumlagerungen bei Befestigungsgruppen infolge von unterschiedlichem Last-Verschiebungsverhalten der einzelnen Befestigungselemente zu berücksichtigen ist.

Bei Biegebeanspruchung von Dübeln wird je nach Verhältnis f_y/f_u ($f_y =$ Nennstreckgrenze, $f_u =$ Nennfestigkeit) ein Sicherheitsbeiwert

$$\gamma_{ms} = 1,25 f_y/f_u \leq 0,75 \quad (4e)$$

$$\gamma_{ms} = 1,50 f_y/f_u > 0,75 \quad (4f)$$

vorgeschlagen [20]. Damit ergeben sich bei Ansatz von $\gamma_f = 1,4$ zulässige Biegespannungen, die ca. 15 bis 30% unterhalb der Nennstreckgrenze liegen und das ca. 1,15- bis 1,40fache der bisher zulässigen Werte [19] betragen.

3 Bemessungskonzept

Bei dem vorgeschlagenen Bemessungskonzept muß zwischen den einzelnen Belastungsrichtungen (Bild 3) und Versagensarten (Bilder 5 und 6) unterschieden werden. Nach Gleichung (3b) ist die 5%-Fraktile des Widerstandes zu bestimmen. Die entsprechenden Gleichungen werden im folgenden zusammengestellt.

Die Einhaltung der Gleichung (2) ist bei einer bestimmten Beanspruchungsrichtung für alle Versagensarten nachzuweisen. Die Versagensart mit dem niedrigsten Entwurfswiderstand $R_d = R_k/\gamma_m$ ist maßgebend für die Bemessung.

Ist die Betontragfähigkeit kleiner als die Stahltragfähigkeit, versagt die Befestigung durch einen spröden Beton-

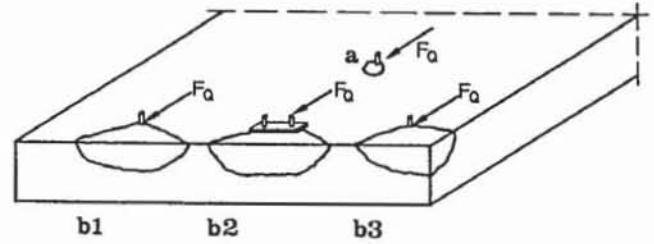


Bild 6 a und b. Versagensarten bei Querbeanspruchung; a Stahlbruch; b Betonbruch (entnommen aus [2])

bruch. Diese Bruchart ist in vielen Fällen akzeptabel. Wird jedoch ein duktiles Verhalten der Befestigung gefordert, sind bei steifer Ankerplatte Befestigungsmittel mit ausreichendem Dehnvermögen einzusetzen, und es ist die folgende Bedingung einzuhalten:

$$F_{k,S} \leq F_{k,B}/\gamma_{mc} \quad (5)$$

mit

$F_{k,S}$ = charakteristische Stahltragfähigkeit nach den Abschnitten 3.1.1 bzw. 3.2.1

$F_{k,B}$ = charakteristische Betontragfähigkeit nach den Abschnitten 3.1.2 bzw. 3.2.2

γ_{mc} = Teilsicherheitsbeiwert nach Gl. (4a).

3.1 Zuglast

3.1.1 Stahlversagen

Die charakteristische Tragfähigkeit eines Befestigungselements mit einem Spannungsquerschnitt A_s beträgt

$$F_{k,S} = A_s \cdot f_u [\text{N}]. \quad (6)$$

Greift bei Gruppen die Zuglast exzentrisch an den Ankerplatte an, ist die Verteilung der Last auf die einzelnen Befestigungselemente nach der Elastizitätstheorie zu berechnen und das höchstbeanspruchte Element nach Gl. (6) nachzuweisen. Dieser Ansatz liegt auf der sicheren Seite. Bei Verwendung von ausreichend duktilem Stahl und Ausschluß von Betonversagen darf man nach [21] die Beanspruchung der Befestigungselemente nach der Plastizitätstheorie ermitteln.

3.1.2 Betonausbruch

Die Berechnung der Ausbruchlast erfolgt nach dem κ -Verfahren [2, 22, 32]. Danach ergibt sich die Ausbruchlast einer Gruppe bzw. eines Dübels oder Bolzens am Bauteilrand bzw. in der Bauteilecke aus dem für ein Einzelement in der Fläche geltenden Wert durch Multiplikation mit den Beiwerten κ_{ar} , κ_a und κ_{ex} , die den Einfluß von Rändern, Achsabständen sowie einer exzentrisch an der Ankerplatte angreifenden Zugkraft erfassen. Die vorgeschlagene Gl. (7) liefert für praktische Belange ausreichend genaue Betonausbruchlasten [2, 22]:

$$F_{k,B} = \prod_{i=1}^m \kappa_{ar,i} \cdot \prod_{j=1}^n \kappa_{a,j} \cdot \prod_{k=1}^o \kappa_{ex,k} \cdot F_{k,B}^E [\text{N}] \quad (7)$$

Es bedeuten (Bild 7):

$F_{k,B}$ = charakteristische Betonausbruchlast einer Befestigung (Einzelement oder Gruppe)

$$\kappa_{ar,i} = 0,3 + 0,7 \cdot \frac{a_{r,i}}{a_{rk}} \leq 1 \quad (7a)$$

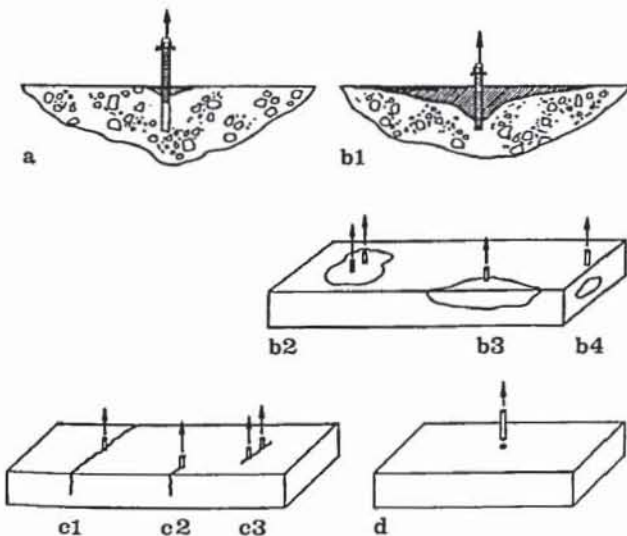


Bild 5 a-d. Versagensarten bei zentrischer Zugbeanspruchung. a Herausziehen; b Betonausbruch; c Spalten; d Stahlbruch (entnommen aus [2])

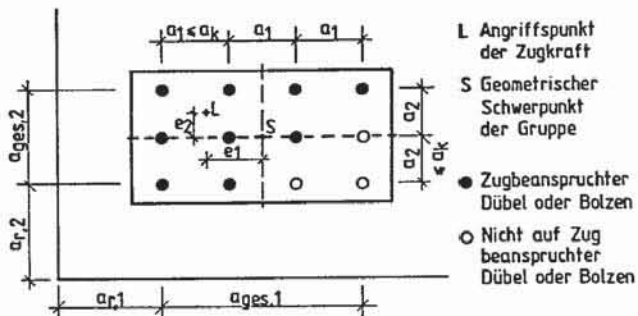


Bild 7. Beispiel für eine Befestigung mit exzentrisch angreifender Zugkraft

m = Zahl der Ränder

$$\alpha_{a,j} = 1 + \frac{a_{ges,j}}{a_k} \leq n_j \quad (7b)$$

n = 1 bei Reihenbefestigungen
 n = 2 bei rechteckförmigen Gruppen

$$\alpha_{ex,k} = \frac{1}{1 + 2e_k/a_k} \leq 1 \quad (7c)$$

o = 1 bei Exzentrizität der Zugkraft in einer Richtung
 o = 2 bei Exzentrizität der Zugkraft in zwei Richtungen
 $a_{r,i}$ = Abstand zum Rand i [mm]
 $a_{ges,j}$ = Achsabstand der äußersten Befestigungselemente in Richtung j [mm]

n_j = Zahl der Dübel in Richtung j
 e_k = Exzentrizität der Last in Richtung $k \leq a_{ges}/2$ [mm]
 $a_{r,k}$ = kritischer Randabstand = $1,5 h_v$ (7d)
 a_k = kritischer Achsabstand = $3,0 h_v$ (7e)

h_v = Verankerungstiefe [mm]
 $F_{k,B}^E$ = 5%-Fraktile der Betonausbruchlast eines Befestigungselements in der Fläche im gerissenen Beton
 $= k \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \cdot h_v^{1,5}$ [N] (7f)

k = 6,2 Dübel
 = 7,1 Kopfbolzen
 α_1 = Schalenabplatzfaktor
 = 0,7 $h_v = 40$ mm
 = 0,75 $h_v = 50$ mm
 = 0,8 $h_v = 60$ mm

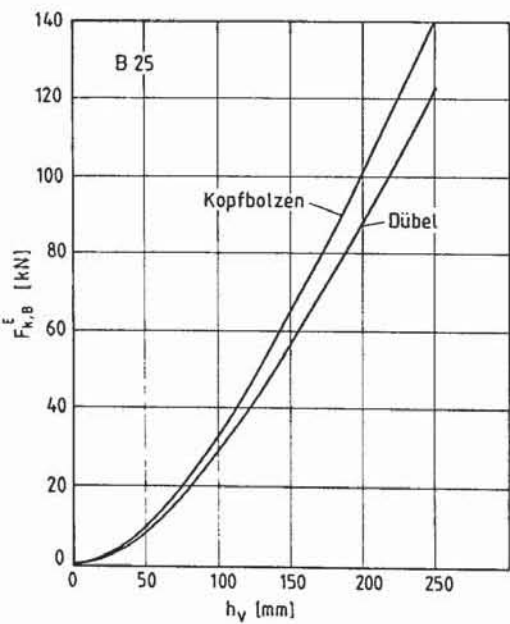


Bild 8. 5%-Fraktile der Betonausbruchlast von zugbeanspruchten Einzelbefestigungen mit großem Achs- und Randabstand in gerissenen Beton in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe

= 0,9 $h_v = 80$ mm
 = 1,0 $h_v \geq 120$ mm
 α_2 = Faktor zur Berücksichtigung der Lage einer Befestigung
 $\alpha_2 = 1,0$ bei Befestigung im gerissenen Beton (Normalfall)
 $\alpha_2 = 1,7$ bei Befestigung im ungerissenen Beton (Sonderfall)
 β_{wN} = Betonnennfestigkeit (Würfeldruckfestigkeit) nach DIN 1045 ≤ 55 N/mm²

Der Beiwert $\alpha_2 = 1,7$ darf nur eingesetzt werden, wenn in jedem Einzelfall der in Abschnitt 2 beschriebene Nachweis, daß im Bereich der Befestigung ungerissener Beton vorliegt, geführt wird.

Bild 8 zeigt die charakteristische Betonausbruchlast von Einzelbefestigungen mit großem Achs- und Randabstand in gerissenen Beton in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe. In Bild 9 ist der Verlauf der Beiwerte α_{ar} , α_a und α_{ex} für unterschiedlich ausgebildete Befestigungen dargestellt.

Bei der Ableitung von Gl. (7f) wurde von der für Einzelbefestigungen in ungerissenen Beton geltenden Beziehung

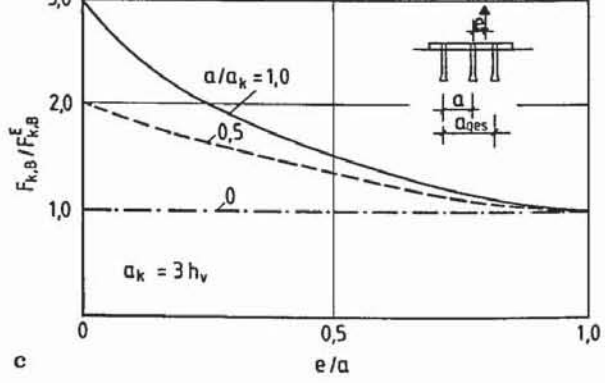
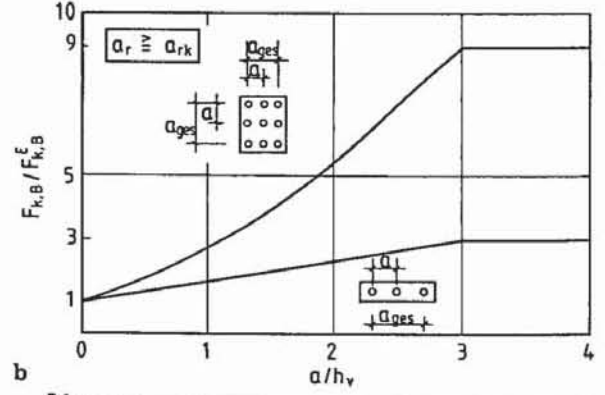
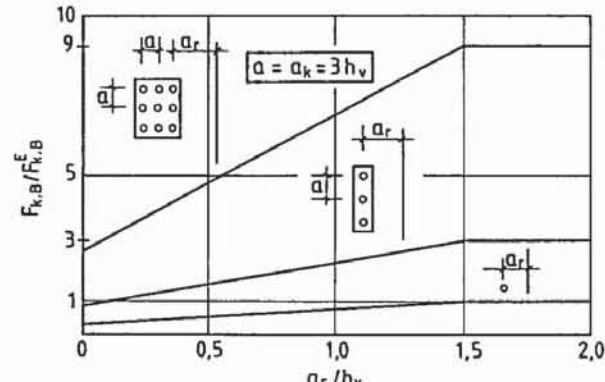
$$F_u^E = k \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \cdot h_v^{1,5} \text{ [N]} \quad (8)$$


Bild 9 a-c. Tragfähigkeit von zugbeanspruchten Befestigungen, bezogen auf den Wert $F_{k,B}^E$ nach Bild 8; a Einfluß Randabstand (Beiwert α_{ar}), b Einfluß Achsabstand (Beiwert α_a), c Einfluß Exzentrizität der Zugkraft (Beiwert α_{ex})

mit $k = 13,5$ (Dübel) bzw. $k = 15,5$ (Kopfbolzen) ausgegangen. Das Verhältnis $F_{u,5\%}/F_u$ wurde zu 0,8 und der Beiwert $\kappa_{RdB} = F_{u,gerissener\ Beton}/F_{u,ungerissener\ Beton}$ zu 0,6 angesetzt. Als Betonfestigkeit wurde $\beta_w = 0,8 \cdot \beta_{w,S}$ mit $\beta_{w,S} \approx 1,15 \cdot \beta_{w,N}$ angenommen.

In manchen Fällen steigt die Tragfähigkeit von Befestigungen in hochfestem Beton nicht proportional zu $\sqrt{\beta_w}$, sondern geringer an. Ein Grund dafür wurde noch nicht gefunden. Wird nachgewiesen, daß die Betonzugfestigkeit in dem nach [23] zu erwartenden Bereich liegt, gilt Gl. (7f), andernfalls sollte man keine höhere Festigkeit als $\beta_{w,N} = 35 \text{ N/mm}^2$ ansetzen.

Der Lastangriffspunkt L der resultierenden Zugkraft (Bild 7) ergibt sich bei reiner Zugbeanspruchung aus der Lage der Anschlußkonstruktion auf der Ankerplatte. Er darf bei einem an der Ankerplatte angreifenden Biegemoment nach der Elastizitätstheorie unter der Annahme gleicher Steifigkeiten für alle Befestigungsmittel bestimmt werden. Die Exzentrizität der Zugkraft ist auf den geometrischen Schwerpunkt der zugbeanspruchten Dübel oder Bolzen zu beziehen, wobei diese ggf. gedanklich zur Rechteckform zu ergänzen sind, wenn nicht alle Dübel oder Kopfbolzen auf Zug beansprucht sind.

Bei Befestigungen mit einem Randabstand $a_r < a_{r,k}$ zu mehr als einem Rand nimmt die Betonbruchlast nach Gl. (7) bei konstanten Randabständen mit zunehmender Verankerungstiefe ab. Dies stimmt mit dem wirklichen Tragverhalten nicht überein und ist auf den gewählten einfachen Ansatz für κ_{ar} zurückzuführen. In diesen Fällen darf in Gl. (7) die effektive Verankerungstiefe $h_{v,ef}$ eingesetzt werden, bei der sich die höchste Tragfähigkeit ergibt. Diese beträgt in der Regel $h_{v,ef} = a_{r,vorb}/1,5$ mit $a_{r,vorb} =$ kleinster vorhandener Randabstand.

Bei Befestigungen mit Kopfbolzen mit sehr geringem Randabstand ($a_r \approx 0,5 h_v$) kann es zu einem lokalen Betonbruch im Bereich des Kopfes kommen (Bild 5b₄). Die zugehörige Bruchlast wird zur Zeit untersucht. Daher gilt Gl. (7) nur für Randabstände $a_r \gtrsim 0,5 h_v$.

3.1.3 Herausziehen

Werden bei Befestigungsgruppen oder bei Befestigungen am Rand die Befestigungselemente tiefer gesetzt als der Nennwert der Lastklasse, kann die Betonausbruchlast nach Gl. (7) berechnet werden, wobei der Ist-Wert der Verankerungstiefe einzusetzen ist. Allerdings ist dann zusätzlich nachzuweisen, daß das höchstbelastete Befestigungselement nicht herausgezogen wird. Dabei ist die Berechnung der Beanspruchung der Befestigungselemente nach der Elastizitätstheorie für γ -fache Lasten durchzuführen.

Die bei der Versagensart „Herausziehen“ zu erwartende charakteristische Bruchlast kann bei Spreiz- und Hinterschnittdübeln bisher nicht theoretisch bestimmt werden. Sie muß für Verankerungen im gerissenen und ungerissenen Beton in den Zulassungen angegeben werden.

Bei Kopfbolzen ergibt sich die charakteristische Ausziehlast aus der notwendigen Begrenzung der Betonpressungen. Sie beträgt

$$F_{k,H} = A_b \cdot p_{u,k} \quad [N] \quad (9)$$

mit

$$\begin{aligned} A_b &= \text{Aufstandsfläche des Kopfbolzens} \\ &= \pi/4 (d_K^2 - d_B^2) \\ d_K &= \text{Kopfdurchmesser} \\ d_B &= \text{Bolzendurchmesser} \end{aligned}$$

$p_{u,k}$ = charakteristische Betonpressung

~ $9 \beta_{w,N}$ gerissener Beton

~ $15 \beta_{w,N}$ ungerissener Beton

3.1.4 Spalten

Die bei der Versagensart „Spalten“ zu erwartende Bruchlast kann bisher ebenfalls nicht theoretisch ermittelt werden. Diese Versagensart wird durch Festlegung von Mindestwerten für die Achs- und Randabstände sowie Bauteildicke vermieden. Diese betragen für Befestigungen mit Dübeln in Beton $\geq B25$:

$$\min a = h_v \geq 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \min a_r = h_v \geq 50 \text{ mm} & \quad \text{Hinterschnittdübel} \\ &= 2h_v \quad \text{kraftkontrolliert spreizende Dübel} \\ & \quad \text{mit einem Konus} \end{aligned}$$

$$\min d = 2h_v$$

Die minimalen Achs- und Randabstände für Verankerungen mit Kopfbolzen sind kleiner als die o. g. Werte. Sie werden zur Zeit untersucht.

Bei kraftkontrolliert spreizenden Dübeln ist zusätzlich als kritischer Randabstand in Gl. (7a) statt des Wertes nach Gl. (7d) der Wert $a_{r,k} = 3h_v$ einzusetzen, um einen vorzeitigen Spaltbruch zu vermeiden. Diese auf der sicheren Seite liegenden Annahme sollte experimentell überprüft werden.

3.2 Querlast

3.2.1 Stahlversagen

Die Tragfähigkeit eines Befestigungselementes beträgt

$$F_{k,s} = 0,6 \cdot A_s \cdot f_u \quad [N] \quad (10)$$

Bei Gruppen mit exzentrisch an der Ankerplatte angreifender Querlast ist das höchstbeanspruchte Befestigungselement nachzuweisen, wobei die Verteilung der angreifenden Last auf die Befestigungselemente auf der sicheren Seite liegend nach der Elastizitätstheorie erfolgen sollte.

Greift bei Gruppen ein Biegemoment an der Ankerplatte an, kann eine Querlast $F_{k,R}$ durch Reibungskräfte zwischen Ankerplatte und Beton übertragen werden. Diese Kraft beträgt

$$F_{k,R} = \mu \cdot D \quad (11)$$

mit

$$\mu = \text{Reibbeiwert} = 0,4 \quad [21]$$

D = Resultierende Druckkraft an der Ankerplatte im untersuchten Lastfall.

Bei der Berechnung der von den einzelnen Befestigungselementen aufzunehmenden Lastanteile kann die Reibkraft $F_{k,R}$ von der gesamten Querlast abgezogen werden.

3.2.2 Betonversagen

Die Berechnung der kritischen Ausbruchlast erfolgt nach dem κ -Verfahren [2, 24, 32] unter Berücksichtigung der neueren Ergebnisse [14, 25]. Die charakteristische Bruchlast einer beliebigen Befestigung ergibt sich bei Querbeanspruchung wie bei Zugbeanspruchung (Abschnitt 3.1.2) aus dem Wert eines Einzelelements multipliziert mit den Beiwerten κ_{ar} , κ_a , κ_{ex} und κ_d , die den Einfluß des Randabstands senkrecht zur Krafrichtung, des Achsabstands, einer exzentrisch an der

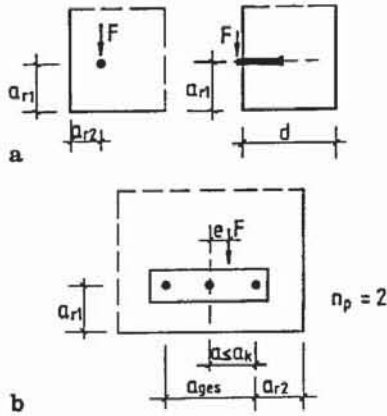


Bild 10 a und b. Beispiele für durch Querlasten beanspruchte Befestigungen. $n_p = 3$

Ankerplatte angreifenden Last sowie der Bauteildicke erfassen. Während bei zentrischer Zugbeanspruchung die Tragfähigkeit eines Einzelements sowie die kritischen Achs- und Randabstände von der Verankerungstiefe abhängen, ist bei Querbeanspruchung der Randabstand in Kraftrichtung der maßgebende Parameter.

Gl. (12) gilt für eine Einzel- oder Reihenbefestigung parallel zum Rand bzw. in der Bauteilecke und Belastung zur Kante hin (Bild 10). Sie ist genügend genau für praktische Anwendungen. Gleichungen zur Berechnung der Ausbruchlast für Einzel- oder Reihenbefestigungen in einem schmalen Bauteil, für Gruppen mit – in Lastrichtung gesehen – mehreren Befestigungselementen hintereinander sowie für Befestigungen mit Belastung parallel zur Kante sind in [2, 14, 24] enthalten.

$$F_{k,B} = \kappa_{ar} \cdot \kappa_a \cdot \kappa_d \cdot \kappa_{ex} \cdot F_{k,B}^E \text{ [N]} \quad (12)$$

Es bedeuten (Bild 10):

$F_{k,B}$ = charakteristische Betonausbruchlast einer Befestigung am Bauteilrand oder in der Bauteilecke bei Querbelastung zur Kante hin

$$\kappa_{ar} = 0,3 + 0,7 a_{r2}/a_{rk} \leq 1 \quad (12a)$$

$$\kappa_a = 1 + a_{ges}/a_k \leq n_p \quad (12b)$$

$$\kappa_d = (d/1,4 a_{r1})^{2/3} \leq 1 \quad (12c)$$

$$\kappa_{ex} = \frac{1}{1 + 2e/a_k} \leq 1 \quad (12d)$$

a_{r1} = Randabstand in Lastrichtung [mm]

a_{r2} = Randabstand senkrecht zur Lastrichtung [mm]

a_{ges} = Achsabstand der äußeren Befestigungselemente [mm]

d = Bauteildicke [mm]

e = Exzentrizität der Querlast [mm]

n_p = Zahl der Befestigungselemente einer Reihenbefestigung ≤ 3 bei Befestigung mit Dübeln (wegen Lochspiel)

$$a_k = 2 a_{rk} \approx 3,0 a_{r1} \quad (12e)$$

$F_{k,B}^E$ = 5%-Fraktile der Ausbruchlast eines Befestigungselements am Bauteilrand mit Belastung zur Kante hin $= 0,44 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{d_B} \cdot (l/d_B)^{0,2} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \cdot a_{r1}^{1,5}$ [12f]

$\alpha_2 = 1,0$ Befestigungen im gerissenen Beton ohne Rand- oder Rückhängebewehrung

$\approx 1,2$ Befestigungen im gerissenen Beton mit gerader Randbewehrung

$= 1,4$ Befestigungen im gerissenen Beton mit Rand- und engmaschiger Rückhängebewehrung sowie im ungerissenen Beton

d_B = Schaftdurchmesser von Kopfbolzen bzw. Durchmesser der Distanz- oder Spreizhülse [mm]

l = Länge der Distanz- bzw. Spreizhülse oder des Bolzens $\leq 8 d_B$ [mm]
 $= h_v$ bei durchgehender Hülse oder bei Kopfbolzen
 $=$ Abstand Oberkante Beton bis Ende Distanzhülse bei nicht durchgehender Hülse
 β_{wN} = Betonnendruckfestigkeit $\leq 55 \text{ N/mm}^2$

In üblichen Fällen erhält man

$$F_{k,B}^E = 0,50 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{d_B} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \cdot a_{r1}^{1,5} \quad (12g)$$

kraftkontrolliert spreizende Dübel des Hülstentyps

$$= 0,60 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{d_B} \cdot \sqrt{\beta_{wN}} \cdot a_{r1}^{1,5} \quad (12h)$$

Hinterschnittdübel und Kopfbolzen

Bild 11 zeigt die charakteristische Tragfähigkeit einer Einzelbefestigung am Bauteilrand bei Querbelastung zur Kante hin in Abhängigkeit vom Randabstand. Das Bild gilt für gerissenen Beton bei Vorhandensein einer konstruktiven Randbewehrung (Normalfall). In Bild 12 ist der Verlauf der Beiwerte κ_{ar} , κ_a , κ_{ex} und κ_d für unterschiedlich ausgebildete Befestigungen aufgetragen.

Bei der Ableitung der Gln. (12f) bis (12h) wurde von der für Befestigungen im ungerissenen Beton geltenden Gleichung

$$F_{u,5\%} = 0,65 \cdot \sqrt{d_B} (l/d_B)^{0,2} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot a_{r1}^{1,5} \quad (13)$$

ausgegangen [25] und als Ribbeiwert $\kappa_w = 0,7$ eingesetzt [14]. Für die angesetzte Betonfestigkeit gilt Abschn. 3.1.2. Die Länge der Distanzhülse von kraftkontrolliert spreizenden Dübeln wurde zu $l = 2 d_B$ und die Verankerungslänge bei anderen Befestigungselementen zu $h_v = 4,5 d_B$ angenommen.

Wegen der in Gl. (12) einzusetzenden Betonfestigkeit bei einer Nennfestigkeit $\beta_{wN} > 35 \text{ N/mm}^2$ gilt Abschn. 3.1.2. Der Nachweis von ungerissenen Beton ist nach Abschn. 2 zu führen.

Es sei darauf hingewiesen, daß bei Zugbeanspruchung eine der Stahltragfähigkeit entsprechende Betonbruchlast durch Vergrößerung der Verankerungstiefe erreicht werden kann. Demgegenüber ist bei Querbeanspruchung die Betonbruchlast nahezu unabhängig von der Verankerungstiefe und steigt mit zunehmendem Randabstand an.

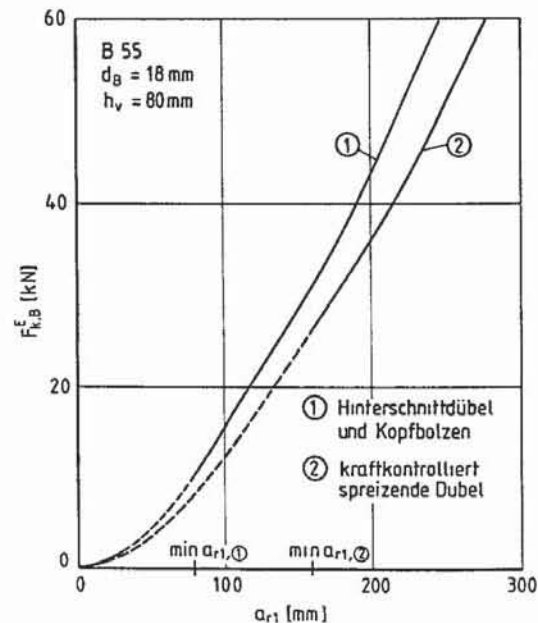


Bild 11. 5%-Fraktile der Betonausbruchlast einer Einzelbefestigung am Bauteilrand bei Querbeanspruchung zur Kante hin in Abhängigkeit vom Randabstand. Das Bild gilt für B25

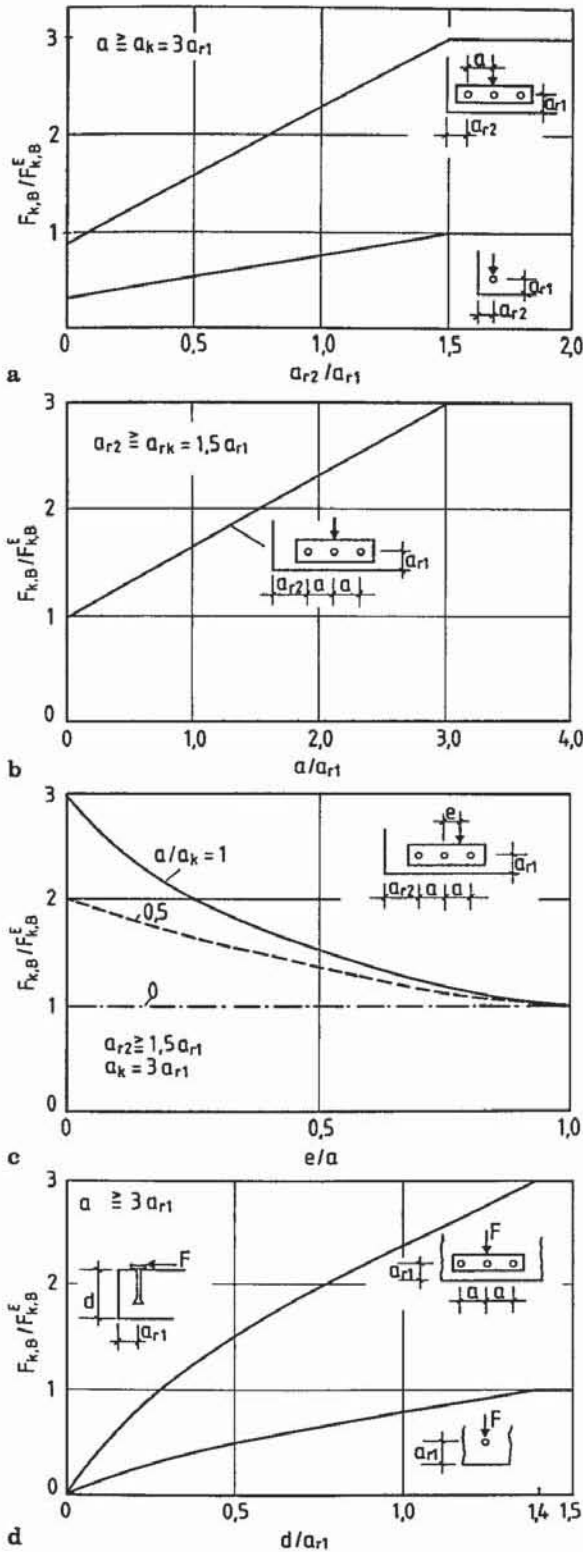


Bild 12 a-d. Tragfähigkeit von durch Querlasten beanspruchte Befestigungen am Bauteilrand, bezogen auf den Wert $F_{k,B}^E$ nach Bild 11; a Einfluß des Randabstandes senkrecht zur Kraftrichtung (Beiwert α_{ar}), b Einfluß des Achsabstandes (Beiwert α_a), c Einfluß der Exzentrizität (Beiwert α_{ex}); d Einfluß der Bauteildicke (Beiwert α_d)

3.3 Schrägzug

Bei Schrägbelastung sind die Interaktionsgln. (14) einzuhalten [26]. Sie sind in Bild 13 dargestellt:

$$F_Z/F_{Z,d} \leq 1 \tag{14a}$$

$$F_Q/F_{Q,d} \leq 1 \tag{14b}$$

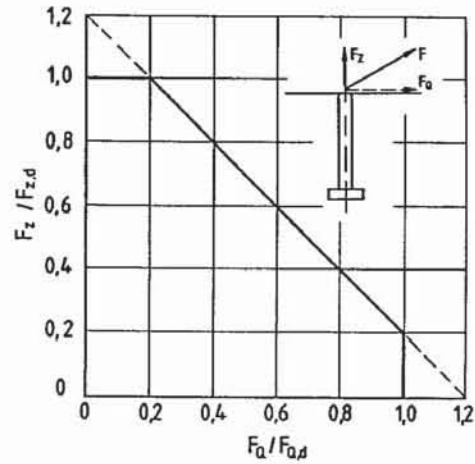


Bild 13. Interaktionsdiagramm nach [26]

$$\frac{F_Z}{F_{Z,d}} + \frac{F_Q}{F_{Q,d}} \leq 1,2 \tag{14c}$$

Es bedeuten

F_Z = Zuganteil der Last, berechnet für γ_f -fache Lasten

F_Q = Queranteil der Last, berechnet für γ_f -fache Lasten

$F_{Z,d}; F_{Q,d}$ = Entwurfs widerstand bei Zug- bzw. Querbeanspruchung
= charakteristische Bruchlast nach Abschn. 3.1 bzw. 3.2 dividiert durch den Sicherheitsbeiwert γ_m nach Abschn. 2 (Gl. (4a) bis (4d)).

Für $F_{Z,d}$ und $F_{Q,d}$ ist in Gl. (14) jeweils der kleinste Wert für die einzelnen Versagensarten einzusetzen. Bei Gruppen wird die Belastung der Gruppe mit dem Entwurfs widerstand verglichen. Wird nur ein Teil der Befestigungselemente einer Gruppe auf Zug beansprucht (z. B. bei einem an der Ankerplatte angreifenden Biegemoment), sind die Interaktionsgln. (14) nur für die zugbeanspruchten Dübel oder Bolzen auszuwerten.

Die in [27] vorgeschlagene Interaktionsgln.

$$(F_Z/F_{Z,d})^{5/3} + (F_Q/F_{Q,d})^{5/3} = 1 \tag{15}$$

ist in der Regel ebenfalls genügend genau.

3.4 Biegung

Das charakteristische Biegemoment eines Einzeldübel ergibt sich nach [20, 28] zu

$$M_{k,s} = 1,5 W_{el} \cdot f_y \text{ [Nmm]} \tag{16}$$

mit

W_{el} = elastisches Widerstandsmoment, bei Gewindeteilen, bezogen auf den Spannungsquerschnitt [mm³]

f_y = Nennstreckgrenze [N/mm²]

Bei Biegung mit Längszugkraft gilt nach [28]

$$\text{red } F_{k,s} = F_{k,s} (1 - M/M_{k,d}) \tag{17}$$

mit

$\text{red } F_{k,s}$ = charakteristische Zugtragfähigkeit bei Biegung und Längszug

$F_{k,s}$ = charakteristische Zugtragfähigkeit nach Gl. (6)

M = angreifendes Biegemoment, berechnet für γ_f -fache Lasten

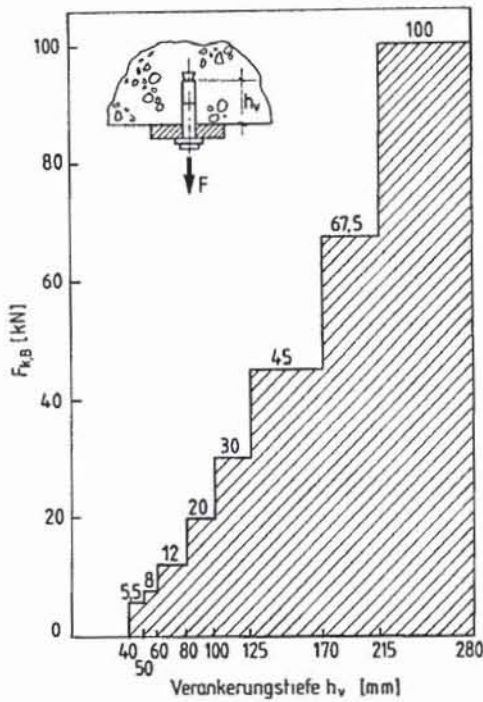


Bild 14. Vorschlag für eine Klassifizierung von rißtauglichen Dübeln im Hinblick auf die charakteristische Zugtragfähigkeit

$M_{k,d}$ = Entwurfswiderstandsmoment
 = charakteristisches Biegemoment nach Gl. (16), dividiert durch den Sicherheitsbeiwert γ_{ms} nach Gl. (4e) bzw. (4f).

4 Klassifizierung von Befestigungselementen

Bei der Bemessung von Befestigungen mit Teilsicherheitsbeiwerten ergeben sich bei konstanter Tragfähigkeit F_k je nach Sicherheitsklasse, Verhältnis Eigengewicht zu Verkehrslast, Montagesicherheit des Systems und Sorgfalt bei der Herstellung des Betons unterschiedliche zulässige Lasten $F = F_k / \gamma$. Daher ist es sinnvoll, nicht die zulässige Last, sondern die charakteristische Tragfähigkeit im Hinblick auf den Betonausbruch zu klassifizieren. Bei Beibehaltung der bisherigen Verankerungstiefen (Bild 4) erhält man nach Gl. (7f) für Befestigungen in der Zugzone und Beton B 25 die charakteristischen Zugtragfähigkeiten nach Bild 14. Sie betragen etwa das 3,3fache der bisherigen Werte. Die charakteristische Tragfähigkeit steigt von einer Lastklasse zur anderen jeweils etwa mit dem Faktor 1,5 an. Es ist auch denkbar, eine engere Staffelung der Verankerungstiefen zu wählen, so daß die Unterschiede zwischen den einzelnen Lastklassen nur ca. 20 bis 25% betragen.

Die charakteristische Quertragfähigkeit hängt bei großem Randabstand vom Querschnitt und der Festigkeit des Bolzens bzw. der Schraube ab. Es wird vorgeschlagen, sie ebenfalls zu klassifizieren.

Vorteil dieser Regelung ist, daß die maximale Leistungsfähigkeit eines Befestigungselements durch zwei Zahlenwerte gekennzeichnet wird und daher verschiedene Produkte leicht miteinander verglichen werden können.

5 Zusammenfassung

Es werden ein neues Sicherheitskonzept auf der Basis von Teilsicherheitsbeiwerten und verbesserte Modelle für die Bemessung von Befestigungen mit Spreiz- und Hinterschnittdü-

beln sowie Kopfbolzen erläutert. Weiterhin werden Vorschläge für die Klassifizierung von Befestigungselementen vorgelegt.

Literatur

1. Eligehausen, R.; Fuchs, W.; Lotze, D.; Reuter, M.: Befestigungen in der Betonzugzone. Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989), 27–32, 71–73
2. Rehm, G.; Eligehausen, R.; Malleé, R.: Befestigungstechnik. Betonkalender 1988, Teil 2, S. 569–663. Berlin: Ernst & Sohn 1988
3. Manleitner, S.: Stand der Befestigungstechnik im Beton- und Stahlbetonbau. Betonwerk + Fertigteil-Technik (1987) 699–707
4. Europäische Union für das Agreement im Bauwesen: Dübel als Verankerungsmittel. UEAtc-Richtlinie für die Beurteilung ihrer Eignung, Paris, Dez. 1986
5. Eligehausen, R.: Bemessung von Befestigungen mit Stahldübeln – Zukünftiges Konzept. Betonwerk + Fertigteil-Technik (1988) 88–100
6. Eurocode No. 2: Design of concrete structures, Part 1: General rules and rules for buildings. Final Draft, Dez. 1988
7. Eurocode No. 3: Design of steel structures, Part 1: General rules and rules for buildings. Preliminary Version, Juli 1988
8. Institut für Bautechnik: Rahmenprogramm für Eignungs- und Zulassungsversuche für Dübel, die in der Zugzone von Stahlbetonbauten eingesetzt werden sollen. Berlin, Januar 1989
9. Reuter, M.; Eligehausen, R.: Einfluß der Lasteinleitung durch Befestigungsmittel auf die Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen (in Vorber.).
10. Lotze, D.: Beeinflussung der Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Stahlbetonbauteilen durch Spaltkräfte von Befestigungen. In: Werkstoff und Konstruktion II, Stuttgart, Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg und Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Oktober 1989
11. Institut für Bautechnik: Grundlagen für die Sicherheitsanforderungen an Bauwerke (Grusibau). Berlin (1982)
12. Gollwitzer, S.; Abdo, T.; Rackwitz, R.: Zuverlässigkeit von Dübelbefestigungen in Beton. Bericht des Lehrstuhls für Massivbau, TU München, Mai 1989
13. Bergmeister, K.: Neue Bemessung von Dübelverbindungen im Stahlbetonbau. Bericht Nr. 7/5-89/20 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Sept. 1989
14. Fuchs, W.; Eligehausen, R.: Tragverhalten von Befestigungsmitteln im gerissenen Beton bei Querkzugbeanspruchung. Bericht Nr. 1/41-89/15 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Juli 1989
15. Schießl, P.: Erläuterung von DIN 1045, Ausgabe 07/88, Abschnitt 17.6 „Beschränkung der Rißbreite unter Gebrauchslast“. Schriftenreihe DAfStb, H. 400, Berlin (1989), 84–92
16. Lewandowski, R.: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongütewürfeln und -bohrproben. Beitrag zur Abschätzung der Festigkeitsverteilung in Bauwerken. Diss. TU Braunschweig 1969
17. Eligehausen, R.: Übergreifungsstöße zugbeanspruchter Rippenstäbe. Schriftenreihe DAfStb, Heft 301, Berlin (1979)
18. Kordina, K.; Blume, F.: Empirische Zusammenhänge zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit stabförmiger Stahlbetonelemente. Schriftenreihe DAfStb, H. 364, Berlin (1985)
19. Institut für Bautechnik: Niederschrift der Sitzung des Arbeitskreises „Biegebeanspruchung von Bolzen und Schrauben bei Dübeln und Ankerschienen“, Berlin (1977)
20. Fuchs, W.; Eligehausen, R.: Biegebeanspruchung von Bolzen und Schrauben bei Dübeln unter vorwiegend ruhender Belastung. Bericht Nr. 10/10-88/12 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Sept. 1988
21. Cook, R. A.; Klingner, R. E.: Behavior and design of ductile multiple-anchor steel-to-concrete connections. Research Report No. 1126-3, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, März 1989

22. Eligehausen, R.; Fuchs, W.; Mayer, B.: Tragverhalten von Dübeln bei Zugbeanspruchung. *Betonwerk + Fertigteil-Technik* (1987) 826–832, (1988) 29–35
23. Heilmann, H. G.: Beziehungen zwischen Zug- und Druckfestigkeit von Beton. *Beton 2* (1969) 68–70
24. Eligehausen, R.; Fuchs, W.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Querkzug-, Schrägzug- und Biegebeanspruchung. *Betonwerk + Fertigteil-Technik* (1988) 48–56
25. Zhao, G.; Fuchs, W.; Eligehausen, R.: Einfluß der Bauteildicke auf das Tragverhalten von Dübelbefestigungen im ungerissenen Beton unter Querkzugbeanspruchung. Bericht Nr. 10/12-89/5 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, März 1989
26. Bode, H.; Hanenkamp, W.: Zur Tragfähigkeit von Kopfbolzen bei Zugbeanspruchung. *Bauingenieur* (1985) 361–367
27. McMackin, P. J.; Slutter, R. G.; Fischer, J. W.: Headed steel anchors under combined loading. *AISC Eng. J.* 2nd Quarter (1973) 43–52
28. Scheer, J.; Peil, U.; Nölle, P.: Schrauben mit planmäßiger Biegebeanspruchung. Bericht Nr. 6079 des Instituts für Stahlbau, TU Braunschweig (1987)
29. Furche, J.; Sippel, T. M.: Befestigungen in Beton. *Rolladen und Sonnenschutz*, Nr. 8 (1989) 16–25
30. DIN 1045, Beton- und Stahlbeton, Ausg. 07.88
31. Eligehausen, R.: Befestigungen im ungerissenen Beton. Bericht Nr. 1/45-89/23 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Dez. 1989
32. Riemann, H.: Das „erweiterte κ -Verfahren“ für Befestigungsmittel, Bemessung an Beispielen von Kopfbolzenverankerungen. *Betonwerk + Fertigteil-Technik* (1985) 808–815