

# Reibschlüssige Dübelverbindungen im Stahlbetonbau

Von Dr.-Ing. R. Eligehausen, Stuttgart

## Zusammenfassung:

In den letzten Jahren hat im Stahlbetonbau die Befestigungstechnik mit reibschlüssigen Dübelverbindungen (Metallspreizdübeln) zunehmend an Bedeutung gewonnen. Allerdings existiert bisher keine allgemein anerkannte Theorie zur Bemessung dieser Befestigungen. Daher wird das Tragverhalten von Metallspreizdübeln im ungerissenen und gerissenen Beton erläutert, und es werden zulässige Anwendungsbedingungen für Dübelverbindungen abgeleitet.

## 1. Einleitung

Das Verlangen der Praxis nach einer höchstmöglichen Flexibilität in der Planung und Ausführung von Befestigungen in Stahlbetonbauwerken hat die Verwendung von Metallspreizdübeln zur Befestigung von Ausbauteilen an Wänden, Decken, Balken oder Stützen stark gefördert. Allerdings existiert bisher keine allgemein akzeptierte Theorie für die Bemessung dieser Befestigungen. Im folgenden wird daher das Verhalten dieser Anker bei statischer Belastung erläutert. Die Ausführungen gelten für zentrische Zuglast, da die Traglast bei dieser Belastungsart oft am niedrigsten ist. Das Tragverhalten bei anderen Belastungsarten ist in [1] beschrieben.

## 2. Arten von Metallspreizdübeln

Bild 1 zeigt typische Metallspreizdübel mit unterschiedlichen Spreizmechanismen. Kraftkontrolliert spreizende Dübel (Gruppe A, Bild 1 a) werden durch Anspannen der Schraube oder Mutter mit einem Drehmomentenschlüssel bis zu einem definierten Drehmoment verankert. Dabei wird der Konus in die Hülse hineingezogen und preßt diese gegen die Bohrlochwand. Der auftre-

tende Spreizweg ist abhängig vom Verformungswiderstand des Betons. Beim Anspannen wird eine Vorspannkraft erzeugt, die gleichzeitig zur Kontrolle des Dübelsetzens dient. Übersteigt die äußere axiale Zuglast die Vorspannkraft, wird der Konus weiter in die Hülse gezogen und dadurch die Spreizkraft vergrößert.

Dübel der Gruppe B (Bild 1 b) werden durch Einschlagen eines Konus in die Hülse um ein definiertes Maß wegkontrolliert aufgespreizt. Die Spreizkraft ist abhängig vom Maß der Aufspreizung, dem Spiel zwischen Dübel und Bohrloch und dem Verformungswiderstand des Betons. Der Spreizzustand wird durch eine Belastung des Dübels nicht verändert. Da die Dübel nicht nachspreizen können, hängt das Tragverhalten wesentlich vom Durchmesser des Bohrloches ab, das daher sorgfältig unter Verwendung eines Bohrers mit zulässigen Abmessungen gebohrt werden muß.

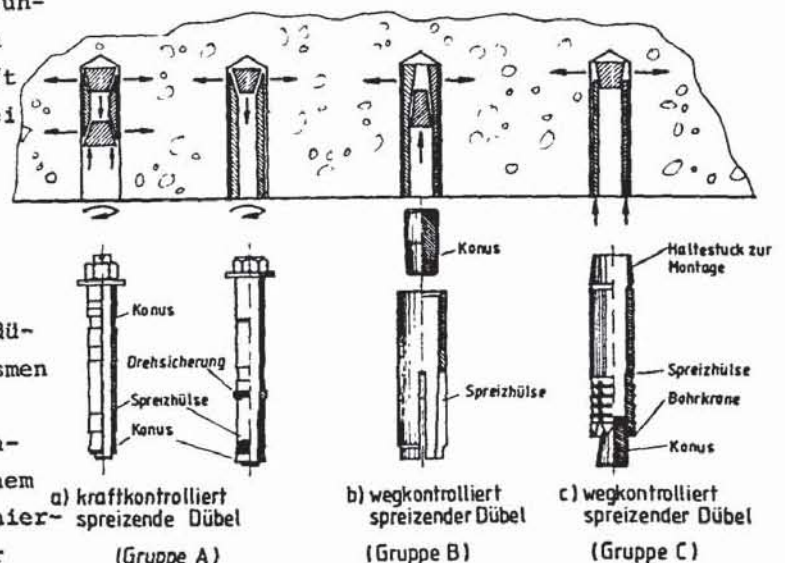


Bild 1. Arten von Metallspreizdübeln und Spreizprinzipien

Dübel des Typs C (Bild 1c) werden wegkontrolliert durch Aufschlagen der Hülse um ein definiertes Maß auf den Konus verspreizt. Der größte Spreizweg tritt am Hülsende auf und nimmt zur Betonoberfläche hin schnell ab. Der Beton wird beim Spreizen hauptsächlich abgearbeitet und weniger verdrängt. Ein typischer Vertreter ist der Selbstbohrdübel, der an einem Ende der Hülse eine Bohrkronen zum Bohren des Ankerloches aufweist.

Dübel der Gruppe A und B tragen äußere Lasten hauptsächlich durch Reibung zwischen Hülse und Bohrlochwand ab. Zusätzlich ist eine geringe mechanische Verzahnung vorhanden. Demgegenüber erfolgt bei Dübeln der Gruppe C die Kraftübertragung hauptsächlich durch mechanische Verzahnung und weniger durch Reibung.

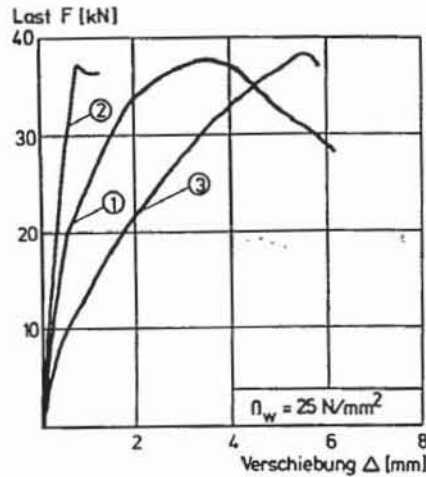
In der letzten Zeit wurden sogenannte Hinterschnittanker entwickelt, die durch eine entsprechende Ausbildung des Dübels in Verbindung mit einem speziellen Bohrverfahren gezielt eine mechanische Verzahnung zwischen Dübelhülse und Beton anstreben. Auf diese Dübel wird im folgenden nicht weiter eingegangen.

Die bisher verwendete Einteilung der Dübel entspricht den Vorschlägen des zuständigen Sachverständigenausschusses am Institut für Bautechnik in Berlin. Man kann Dübel selbstverständlich auch nach den Vorschlägen des VDI in Gruppen einteilen.

3. Verhalten von Metallspreizankern

3.1 Last-Verschiebungs-Verhalten

Typische Last-Verschiebungskurven von Dübeln der Gruppe A, B und C mit etwa gleicher Tragfähigkeit sind in Bild 2 dargestellt. Das Versagen erfolgte durch kegelförmigen Betonausbruch (vgl. Abschnitt 3.2). Die Anker waren beim Ausziehen nicht vorgespannt. Die Verschiebung setzt sich aus dem Schlupf des Dübels im Bohrloch sowie den Verformungen von Beton und Dübel zusammen. Durch die hohe Spreizkraft von Dübeln der Gruppe B werden wesentliche Gleitungen des Dübels im Bohrloch verhindert. Daher verläuft die Last-Verschiebungslinie nahezu



- ① Dübel der Gruppe A M 10 t=65 mm
- ② Dübel der Gruppe B M 16 t=65 mm
- ③ Dübel der Gruppe C M 16 t=63 mm

Bild 2. Typische Last-Verschiebungskurven von Metallspreizdübeln bei zentrischer Zugbeanspruchung (nach /1/)

linear bis zum Betonbruch. Die Spreizkraft von Dübeln der Gruppe A ist nach dem Verspreizen geringer als diejenige von Dübeln der Gruppe B; daher sind die Verschiebungen bei gleichen Lasten größer. Übersteigt die äußere Last die beim Setzen erzeugte Zugkraft im Bolzen, wird der Spreizkonus in die Hülse hineingezogen, wodurch die Verschiebungen schnell anwachsen. Selbstbohrdübel weisen im gesamten Beanspruchungsbereich größere Verschiebungen auf als die Vergleichssysteme. Dies ist auf das Wirkungsprinzip Hinterschneidung zurückzuführen, bei dem große Betonverformungen hervorgerufen werden.

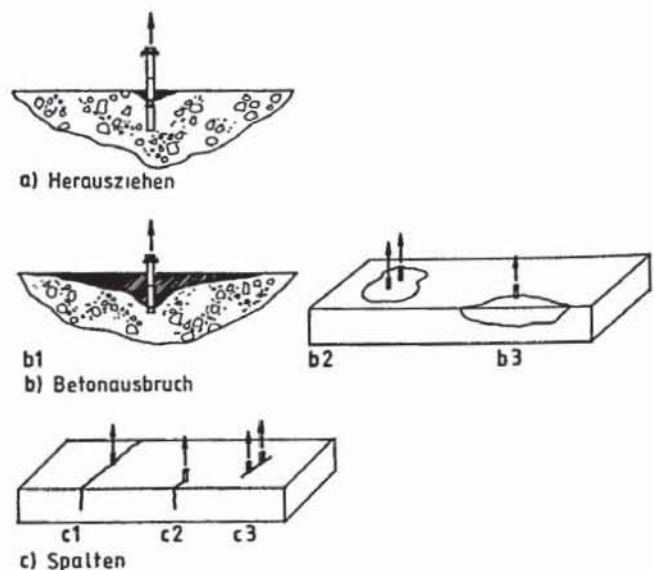


Bild 3. Versagensarten von Dübelverbindungen



Dübel sollten im Gebrauchszustand ein elastisches Verhalten mit möglichst geringen Verschiebungen aufweisen. Demgegenüber ist im Bruchzustand ein plastisches Verhalten erwünscht, um spröde Brüche auszuschließen und um Lastumlagerungen auf geringer beanspruchte Dübel zu ermöglichen. Bild 2 zeigt, daß keines der behandelten Dübelsysteme diesem Ideal entspricht.

### 3.2 Versagensarten

Die möglichen Versagensarten von zugbeanspruchten Dübeln sind in Bild 3 dargestellt.

- a) Der Dübel wird aus dem Bohrloch gezogen, ohne daß wesentliche Betonschäden auftreten (Bild 3 a). Die Spreizkraft ist zu niedrig, um die Tragkraft des Betons auszunutzen.
- b) Der Dübel bewirkt einen kegelförmigen Ausbruch im Beton (Bild 3 b<sub>1</sub>); die Tragkraft des Betons wird ausgenutzt. Wenn der Abstand der Dübel einer Mehrfachbefestigung zu klein ist bzw. wenn Dübel zu nahe am Rand angeordnet werden, kommt es zu einem gemeinsamen Betonausbruch (Bild 3 b<sub>2</sub>) bzw. zu einem Kantenbruch (Bild 3 b<sub>3</sub>) mit entsprechend reduzierten Bruchlasten.
- c) Der Dübel spaltet den Beton auf (Bild 3 c). Diese Versagensart tritt nur ein, wenn der Betonkörper zu klein ist oder die Dübel zu nahe zum Rand bzw. mit zu geringem gegenseitigen Abstand gesetzt werden. Die Bruchlast ist kleiner als im Fall b).
- d) Der Bolzen, die Schraube oder die Hülse brechen. Stahlversagen stellt die obere Grenze der Dübeltragfähigkeit dar.

Die häufigste Versagensart ist der kegelförmige Betonausbruch, der daher im folgenden behandelt wird.

### 3.3 Kegelförmiger Betonausbruch

Bild 4 zeigt einen typischen Ausbruchkegel. Der Winkel der Kegeloberfläche gegenüber der Horizontalen beträgt im Mittel et-

wa 30°, und die Kegelhöhe entspricht etwa dem 0,8- bis 1,0fachen der Verankerungstiefe.

Die empirische Auswertung von ca. 170 Versuchsserien (2000 Einzelversuche) ergab, daß die Ausbruchlast hauptsächlich von der Betonzugfestigkeit und der Verankerungstiefe abhängt [2]. Andere Parameter wie Wirkungsprinzip sowie Ausbildung und Durchmesser des Dübels sind von geringem Einfluß.

In Bild 5 sind die gemessenen Ausbruchlasten (normalisiert auf eine Betonfestigkeit B 25) in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe aufgetragen. Jeder Punkt stellt den Mittelwert einer Versuchsserie dar. Die im Bild angegebene Gleichung zur Berechnung der Ausbruchlast beschreibt das Verhalten der Befestigungen recht gut. Der Variationskoeffizient des Koeffizienten rechnerische Bruchlast zu Versuchswert ist mit 17 % nicht wesentlich größer als die Streuung der Betonzugfestigkeit.

Bemerkenswert ist, daß die Bruchlast nicht proportional zur Kegelmantelfläche ansteigt, die mit dem Quadrat der Verankerungstiefe zunimmt. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß mit zunehmender Verankerungstiefe nur ein geringer werdender Prozentsatz der Kegelmantelfläche zur Kraftübertragung herangezogen wird.

Ist der gegenseitige Abstand der Dübel einer Mehrfachbefestigung zu gering, überschneiden sich die Bruchkegel der Einzelanker, und es kommt zu einem gemeinsamen Ausbruch (Bild 3 b). Nimmt man auf der sicheren Seite liegend die Höhe des Ausbruchkegels zu 1,0 t (t = Setztiefe) und die Neigung der Kegelmantelfläche gegenüber der Horizontalen

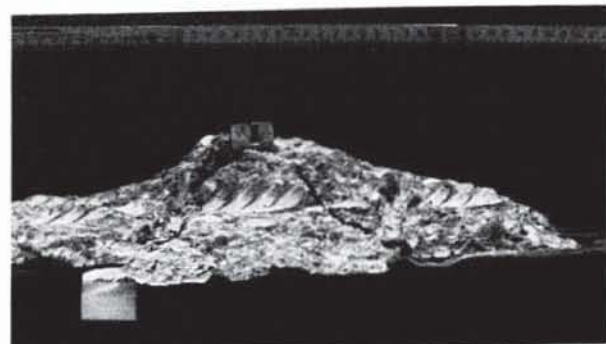


Bild 4. Betonausbruchkegel

Definition der Verankerungstiefe  $v$  und der Setztiefe  $t$

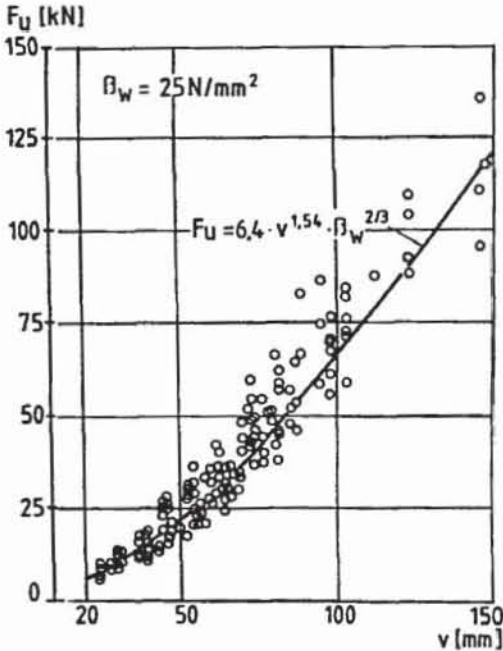
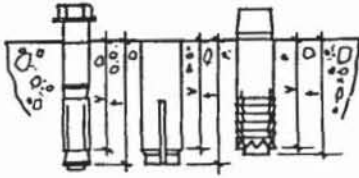


Bild 5. Bruchlast in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe (nach /2/)

zu  $30^\circ$  an, ist ein Überschneiden der Ausbruchkegel für Achsabstände  $a$   $3,5 t$  zu erwarten. Reduziert man den Achsabstand auf den theoretischen Wert Null, beträgt die Bruchlast einer Zwei- bzw. Vierfachbefestigung 50 % bzw. 25 % des maximalen Wertes für große Abstände. Zwischen diesen Grenzwerten wird ein linearer Zusammenhang angenommen. Bild 6 zeigt, daß diese groben Annahmen ausreichend genau sind.

Bei in Randnähe angeordneten Einzeldübeln kann man auf der sicheren Seite liegend annehmen, daß bei einem Randabstand  $r < 1,75 t$  die Bruchlast proportional zu  $r$  abnimmt (Bild 7).

Achs- und Randabstände dürfen bestimmte Mindestwerte nicht unterschreiten, um Spalt- risse beim Setzen der Dübel zu vermeiden [1].

### 3.4 Verankerungen in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen

Die bisherigen Ausführungen gelten für Verankerungen im ungerissenen Beton (z.B. Verankerungen in der Betondruckzone). Ordnet man Dübel in der Zugzone von Stahlbetonbau-

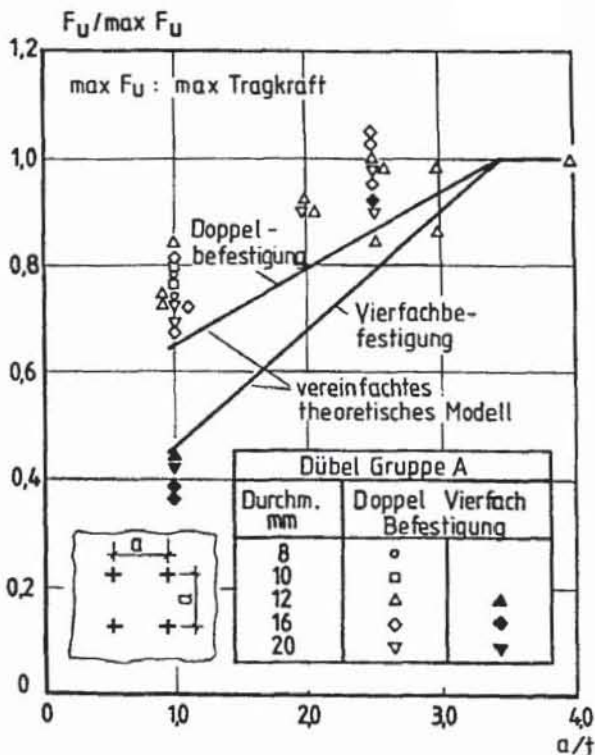


Bild 6. Einfluß des auf die Setztiefe  $t$  bezogenen Achsabstandes  $a$  auf die Bruchlast eines Dübels einer Dübelgruppe (nach /1/)

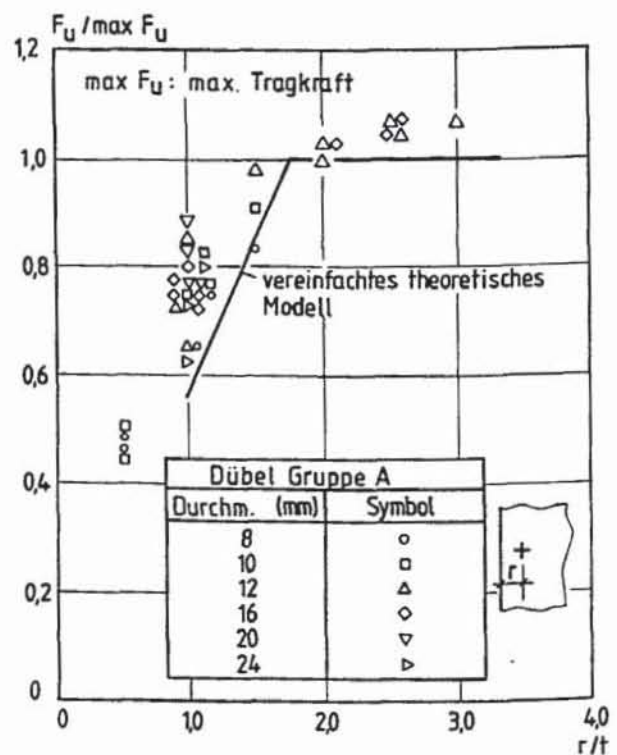


Bild 7. Einfluß des auf die Setztiefe  $t$  bezogenen Randabstandes  $r$  auf die Bruchlast von Einzeldübeln (nach /1/)



teilen an, muß man davon ausgehen, daß Risse im Bereich der Verankerung auftreten.

In Rissen liegende Dübel werden im allgemeinen entweder ausgezogen oder es tritt ein Betonausbruch nach großen Verschiebungen auf. Die mögliche Bruchlast im ungerissenen Beton wird nicht erreicht. Dies ist aus Bild 8 zu ersehen, das das Verhältnis der Bruchlast von in Rissen angeordneten Dübeln zur Bruchlast im ungerissenen Beton in Abhängigkeit von der Rißbreite im Spreizbereich zeigt. Aufgetragen sind Versuchsergebnisse für nachspreizende Dübel M 8. Die eingetragene Linie grenzt den Streubereich nach unten ab. Man erkennt, daß die Bruchlast mit zunehmender Rißbreite deutlich abnimmt. In Stahlbetontragwerken soll die Rißbreite unter Gebrauchslast ca. 0,3 bis 0,4 mm nicht überschreiten. In diesem Fall ist mit einer Abnahme der Bruchlast von prinzipiell geeigneten Dübeln um ca. 20 % bis 60 % gegenüber dem Wert im ungerissenen Beton zu rechnen, abhängig von der speziellen Dübelkonstruktion.

Bei den Versuchen nach Bild 8 waren die Anker im Bereich konstanter Stahlspannungen angeordnet, so daß Zugspannungen im Beton hauptsächlich durch die Anker hervorgerufen wurden. Im Gegensatz dazu treten z.B. im Bereich von Verankerungen und Übergreifungsstößen von Bewehrungsstäben örtlich hohe Zugspannungen im Beton infolge der Belastung des Tragwerks auf. Ordnet man Verankerungen in diesen Bereichen an, überlagern sich die von den Dübeln hervorgerufenen Spannungen im Beton mit denjenigen aus der Tragwerkswirkung [3].

Ein Beispiel zeigt Bild 9. Es wird vorausgesetzt, daß ein Dübel mit einer Setztiefe von 80 mm im Endbereich eines Übergreifungsstoßes dicker Stäbe angeordnet ist. Dargestellt ist die Verteilung der Spannungen im Beton. Die vom Stoß hervorgerufenen Zugspannungen im Beton wurden nach der Methode der Finiten Elemente berechnet, wobei linear elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt wurde. Diese Annahme ist für einen Stoß im Gebrauchszustand genügend genau. Die dargestellte Verteilung der vom Dübel unter Höchstlast hervorgerufenen Spannungen ist

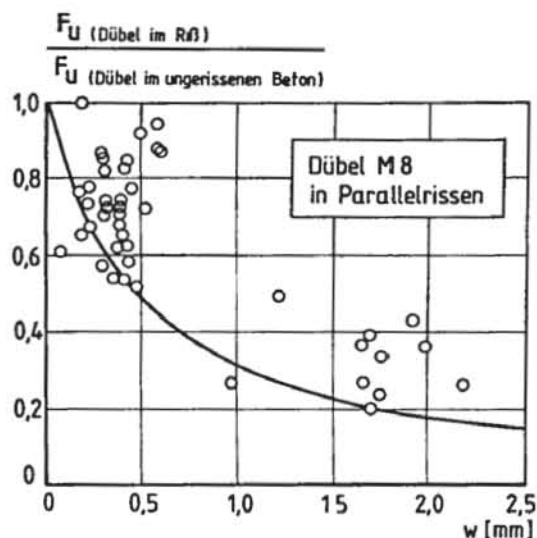


Bild 8. Einfluß der Rißbreite  $w$  im Spreizbereich auf die Bruchlast von kraftkontrollierten spreizenden Dübeln (nach /1/)

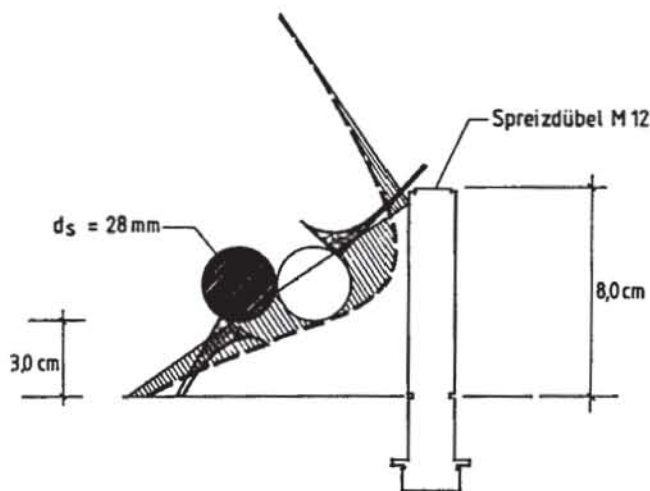


Bild 9. Dübel M 12 im Bereich eines Übergreifungsstoßes dicker Stäbe - Überlagerung der Spannungen (nach /3/)

als Näherung zu betrachten, da eine genaue Ermittlung zur Zeit nicht möglich ist. Wie man sieht, überlagern sich die vom Stoß und die vom Dübel hervorgerufenen Spannungen, weshalb mit einer Abminderung der Dübelbruchlast zu rechnen ist. Sie beträgt im dargestellten Fall theoretisch ca. 25 %.

Vergrößert man die Verankerungstiefe und/oder ordnet man Dübel im Stoßbereich dünner Stäbe an, ergibt sich eine geringere Überlagerung der Spannungen. So ist in dem in Bild 10 dargestellten Fall - 130 mm tiefer Dübel im Stoßbereich von 14 mm Stäben - die Beeinflussung der Dübeltragkraft vernachlässigbar gering. Ebenso ist mit

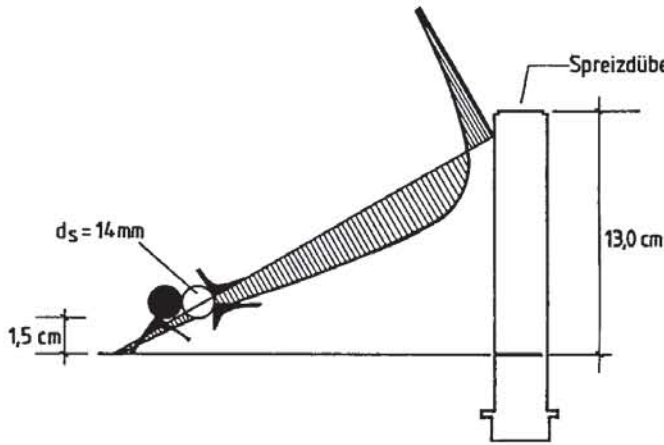


Bild 10. Dübel M 20 im Bereich eines Übergreifungsstoßes dünner Stäbe - Überlagerung der Spannungen (nach /3/)

einer relativ geringen Abminderung der Dübeltragkraft zu rechnen, wenn der Dübel unterhalb der Bewehrung in der Betondeckung verankert ist.

Die theoretischen Überlegungen wurden durch Versuche auf ihre Richtigkeit überprüft. Die plattenartigen Versuchskörper (Bild 11) sollten ungünstige Anwendungsfälle nachahmen. Die Bewehrung aus 28 mm-Stäben wurde im Bereich des konstanten Momentes durch Übergreifung nach DIN 1045 gestoßen. Variiert wurde hauptsächlich die Verankerungstiefe der Dübel, die Art der Befestigung (Einzel- oder Vierfachbefestigungen) sowie deren Lage im Stoßbereich. Nach Erzeugen von Rissen und Setzen der Dübel zwischen diese Risse wurde die Platte bis zur Gebrauchslast belastet. Anschließend wurden die Befestigungen bei belasteter Platte bis zum Bruch beansprucht.

Die Versuchsergebnisse sind aus Bild 12 zu ersehen. Dargestellt ist das Verhältnis

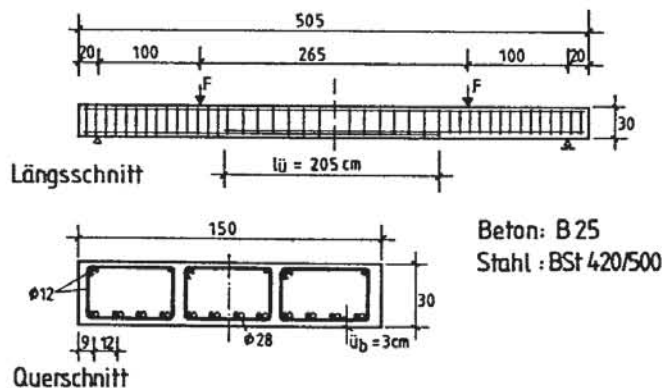


Bild 11. Ausbildung der Probekörper

der Bruchlast von Befestigungen im Stoßbereich zur Bruchlast von identischen Befestigungen im ungerissenen und unbelasteten Beton in Abhängigkeit von der Setztiefe. Das Versagen wurde durch Betonausbruch hervorgerufen. Im Stoßbereich angeordnete Dübel mit einer Setztiefe von 80 mm wiesen eine um etwa ein Drittel geringere Bruchlast als Verankerungen im unbelasteten Beton auf. Die im Versuch gefundene Abminderung der Bruchlast war also höher als der theoretisch zu erwartende Wert. Dies dürfte auf den in den theoretischen Überlegungen vernachlässigten Einfluß von Rissen im Beton zurückzuführen sein, die den Bruchkegel begrenzten. Bei einer Setztiefe von 130 mm ergab sich praktisch keine Beeinflussung der

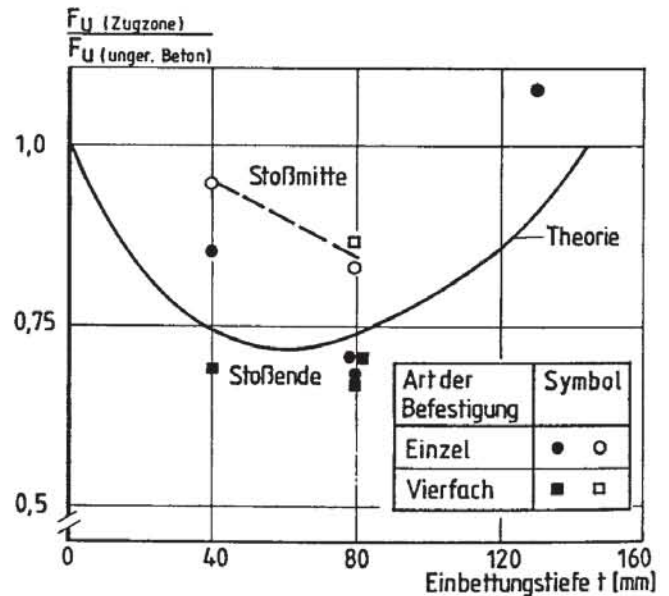


Bild 12. Dübel im Bereich von Übergreifungsstoßen - Versuchsergebnisse (nach /3/)

Dübeltragkraft. Im Stoßmittelpunkt angeordnete Befestigungen wiesen eine deutlich höhere Traglast auf als vergleichbare Verankerungen im Stoßbereich. Dies ist auf die geringeren Verbund- und damit Betonzugspannungen im Stoßmittelpunkt zurückzuführen.

Die Versuchsergebnisse bestätigen im wesentlichen die theoretischen Überlegungen.

Werden durch Dübel örtlich hohe Lasten in den Beton eingeleitet, ist auch eine Reduzierung der Traglast des als Ankergrund dienenden Stahlbetonbauteils nicht auszuschließen.



ben. Dieser Fall ist bisher nicht zufriedenstellend geklärt. Man kann jedoch davon ausgehen, daß bei Einleitung von geringen Lasten ( $\leq 5$  kN) in großen Abständen ( $\geq 1$  m) das Tragverhalten des Stahlbetonbauteils nicht ungünstig beeinflusst wird.

#### 4. Bemessung von Dübelverbindungen

Befestigungsmittel müssen so ausgelegt sein, daß unter allen in der Praxis vorkommenden Bedingungen ausreichend sichere Verankerungen erwartet werden können. Das System muß daher möglichst unempfindlich gegenüber unvermeidlichen Montageungenauigkeiten sein. Zur Prüfung der Eignung eines Dübelsystems sind in der Regel immer Versuche erforderlich, deren Planung, Durchführung und Bewertung ausreichenden Sachverstand voraussetzen.

Die zulässige Last von Dübelverbindungen ist bisher noch aus Versuchen abzuleiten. Da diese Verbindungen örtlich die Zugfestigkeit des Betons ausnutzen, wird ein hoher Sicherheitsbeiwert ( $\gamma = 3,0$  bezogen auf die 5 %-Fraktile der Ergebnisse) gefordert. Um möglichst einfache Anwendungsbedingungen zu erhalten, wird im allgemeinen als zulässige Last ein Wert angegeben, der für alle Belastungsrichtungen (zentrischer Zug, Schrägzug, Querzug) gilt. Die zulässigen Lasten der verschiedenen Dübeltypen sind den Zulassungsbescheiden des Instituts für Bautechnik in Berlin zu entnehmen.

Die in diesen Zulassungsbescheiden geforderten Achs- und Randabstände werden in der Praxis oft unterschritten. In diesen Fällen kann die zulässige Last nach Gleichung (1) bestimmt werden.

$$\text{red } P_{\text{zul}} = \chi_A \cdot \chi_R \cdot P_{\text{zul}} \quad (1)$$

mit

red  $P_{\text{zul}}$  = reduzierte zulässige Last eines Einzeldübels bzw. des höchst beanspruchten Dübels einer Dübelgruppe

$$\chi_A = \text{Einfluß des Achsabstandes} \\ = 0,5 \left( 1 + \frac{a}{3,5 t} \right) \leq 1$$

$$\chi_R = \frac{r}{1,75 t} \leq 1$$

a = Achsabstand der Dübel einer Dübelgruppe

r = Randabstand eines Einzeldübels bzw. des äußersten Dübels einer Dübelgruppe

t = Setztiefe

$P_{\text{zul}}$  = zulässige Last nach geltendem Zulassungsbescheid

Bei Dübeln in einer Querschnittsecke bzw. bei Vierfachbefestigungen sind die Beiwerte  $\chi_R$  bzw.  $\chi_A$  in beiden Richtungen zu ermitteln und miteinander zu multiplizieren.

Bei Befestigungen in der Betonzugzone ist zusätzlich der Einfluß von Rissen und Zugspannungen im Beton zu berücksichtigen (vgl. B i l d e r 8 und 12). Allerdings sollte bis zum Vorliegen weiterer Ergebnisse die zulässige Last pro Befestigungspunkt begrenzt werden (z.B. auf  $\sim 5$  kN bei großen Abständen zwischen den Befestigungspunkten), um eine ungünstige Beeinträchtigung des Tragverhaltens des als Ankergrund dienenden Stahlbetonbauteils auszuschließen.

#### 5. Schrifttum

[1] E l i g e h a u s e n , R. und P u s i l l - W a c h t s m u t h , P. : Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau. IABSE-Surveys S-19/82, IABSE-PERIODICA 1/1982, Zürich, Februar 1982.

[2] R e h m , G. und P u s i l l - W a c h t s m u t h , P. : Sicherheitsbetrachtungen bei Dübelverbindungen. Bericht des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Januar 1978.

[3] E l i g e h a u s e n , R. und S i l v a , J. : Verankerungen mit Metallspreizdübeln in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen. Bericht des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Oktober 1983.