

# Befestigungen in der Betonzugzone

(Fortsetzung aus Heft 2/1989 und Schluß)

## 4 Einfluß von Befestigungen auf die Tragfähigkeit des als Ankergrund dienenden Bauteils

### 4.1 Erhöhung der Spannung im Bewehrungsstahl infolge von Spaltkräften

Befestigungen rufen Spaltkräfte hervor, die bei Metallspreizdübeln das 1,0- bis 1,5fache, bei Hinterschnittdübeln das 0,3- bis 0,5fache der Schraubenzugkraft betragen. Bei Ankerschienen und Kopfbolzen betragen sie etwa 30% der angreifenden Zugkraft. Spaltkräfte werden bei der Bauteilbemessung im allgemeinen vernachlässigt. Es ist daher zu untersuchen, ob dadurch das Bauteiltragverhalten ungünstig beeinflusst werden kann.

Im ungerissenen Beton ist eine Beeinträchtigung des Bauteiltragverhaltens durch Spaltkräfte nicht zu erwarten, da diese vom Beton aufgenommen werden. Sobald jedoch ein Riß entsteht, muß die Bewehrung die Spaltkräfte zusätzlich zu den Zugkräften aus der Tragwerkswirkung aufnehmen.

Die Spannungserhöhung in der Längs- und Querbewehrung durch die von Metallspreizdübeln hervorgerufenen Spaltkräfte wurde für einachsige gespannte Einfeldplatten unterschiedlicher Dicke und Schlankheit berechnet [16]. Als Schraubenzugkraft wurde die zulässige Last der Dübel angenommen, als Spaltkraft das 1,5fache dieses Werts. Dies ist der obere Grenzwert. Verändert wurden die Dübelgröße (M16 bis M20), die Art der Befestigung (Einzeldübel, Vierfachbefestigungen bzw. Reihenbefestigungen in engstem Abstand quer bzw. parallel zur Spannrichtung) sowie der Abstand der Befestigungen vom Auflager. Im Bereich der Befestigungen wurde die in DIN 1045, Abschnitt 20.1.6.3, für Einzellasten geforderte erhöhte Querbewehrung vorausgesetzt.

Die Berechnungen ergaben in der Regel Spannungserhöhungen in der Längsbewehrung kleiner 10%, so daß keine wesentliche Zunahme der Rißbreiten zu erwarten ist. Die Tragfähigkeit der Platten wird ebenso kaum beeinflusst, da bei Erreichen der Fließgrenze der Bewehrung im Bereich der Befestigung die Mitwirkung der Plattenlager an der Abtragung der Spaltkräfte zunimmt. Für die Querbewehrung wurden bei Anordnung der Dübel im Plattenmitten-Bereich ebenfalls vergleichsweise geringe Spannungserhöhungen festgestellt; bei Anordnung in Auflagernähe betragen sie 40 bis 50%. Die Rißbreiten im Gebrauchszustand sind jedoch auch in diesen Fällen kleiner als 0,3 mm, und möglicherweise auftretende breite Risse, z.B. bei Einwirkung von Zwangkräften, werden durch die Spaltkräfte nicht wesentlich geöffnet. Für Hinterschnittdübel und Einlegeteile sind die Ergebnisse aufgrund geringerer Spaltkräfte günstiger.

Die Rechenergebnisse zeigen, daß die Spaltkräfte von Befestigungsmitteln die Trag- und Gebrauchseigenschaften der als Ankergrund dienenden Platte nicht wesentlich beeinträchtigen, wenn hohe, über Befestigungen eingetragene Lasten als Einzellasten behandelt werden und eine nach DIN 1045 bemessene Längs- und Querbewehrung vorhanden ist.

### 4.2 Zusätzliche Betonzugspannungen aus örtlicher Lasteintragung

Bei angehängten Lasten fordert DIN 1045, Abschnitt 18.10.3, eine in der lastabgewandten Querschnittshälfte zu verankernde Aufhängebewehrung. In diesem Fall ist keine wesentliche Beeinflussung der Bauteiltragfähigkeit durch zusätzliche Betonzugspannungen zu erwarten.

Die Anordnung einer zusätzlichen Aufhängebewehrung (Bügel oder Z-Haken) erfordert bei Ankerschienen und Kopfbolzen-Ankerplatten jedoch einen erheblichen zusätzlichen Aufwand und ist bei nachträglich gesetzten Dübelbefestigungen praktisch nicht möglich. In diesen Fällen wird die Zugfestigkeit des Betons systematisch zur Lasteintragung herangezogen.

Entgegen der Forderung der Stahlbetonnormen, Zugkräfte durch eine entsprechende Bewehrung aufzunehmen, beansprucht das als Ankergrund dienende Bauteil in einer Reihe von Fällen (z.B. bei Verankerungen und Übergreifungsstößen von Bewehrungsstäben sowie im Querkraftbereich von Platten ohne Schubbewehrung) selbst die Betonzugfestigkeit. Ordnet man Befestigungen in der Zugzone solcher Bauteilbereiche an, so überlagern sich die aus der Tragwerkswirkung hervorgerufenen Betonzugspannungen mit denjenigen aus der örtlichen Lasteinleitung. Dadurch kann die Trag- und Gebrauchseigenschaft des Bauteils ungünstig beeinflusst werden [21]. Zudem kann die Überlagerung der Betonzugspannungen zu einer Abminderung der Höchstlast der Befestigung führen, die jedoch geringer ist als durch Betonrisse [2].

Kritisch ist u. a. der Bereich von Verankerungen und Übergreifungsstößen gerippter Bewehrungsstäbe, da der Beton infolge der Verbundwirkung hoch auf Zug beansprucht wird. Die radialen Komponenten der Rippenkräfte rufen senkrecht zur Stößebeine wirkende Spaltkräfte hervor. Das Verbundversagen wird oft durch Aufreißen oder Abplatzen der Betondeckung hervorgerufen. Verankerungen sind bezüglich der Zugbeanspruchung des Betons weniger kritisch zu beurteilen als Übergreifungsstöße.

Zur Untersuchung des Einflusses von Befestigungsmitteln auf die Tragfähigkeit von Übergreifungsstößen wurden Versuche an Stahlbetonbalken durchgeführt, deren Bewehrung zu 100% im Bereich des konstanten Moments gestoßen war [16]. Dabei wurden zur Nachahmung ungünstiger Fälle Mattenstöße mit übereinander liegenden Längsstäben sowie Ein-Ebenen-Stöße mit Rippenstäben  $d_s = 14$  mm mit innen liegender Querbewehrung geprüft. In beiden Fällen wurden die Spaltkräfte senkrecht zur Stößebeine eindeutig dem Beton zugewiesen. Die Stoßausbildung entsprach DIN 1045. Die Übergreifungslänge betrug jedoch nur 60% des geforderten Werts, um Stoßversagen zu erzielen.

Im Stoßbereich wurden jeweils über Spreiz- und Hinterschnittdübel ( $h_v = 30$  bis 130 mm) sowie über angeklebte Stahlplatten Zuglasten von 30 kN eingeleitet. Die Dübelabstände waren dabei so gering, daß die Dübelgruppen als ein Befestigungspunkt im Sinne der Zulassungen anzusehen sind. Die Flächenlast betrug dabei etwa 100 kN/m<sup>2</sup>.

Bei allen Versuchen trat wie geplant Stoßversagen auf (Bild 16). Die Stoßtragfähigkeit war praktisch unabhängig von der Art der Lasteinleitung in die Zugzone und gleich groß wie bei Vergleichsversuchen mit Lasteinleitung ausschließlich in die Druckzone. Dieses Ergebnis war insofern überraschend, da die angehängte Last bei kleinen Verankerungstiefen über

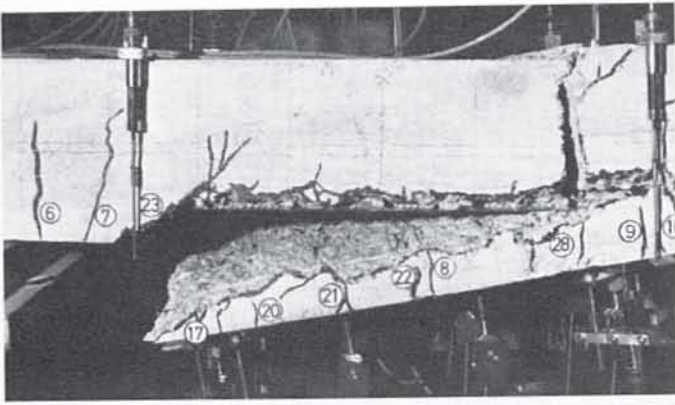


Bild 16. Bruchbild eines Balkens mit Dübelbefestigungen im Bereich des Bewehrungsstoßes [16]

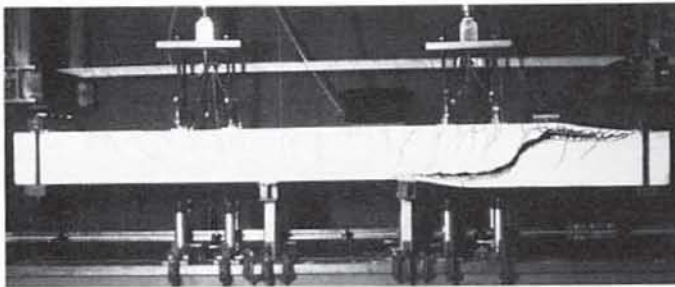


Bild 17. Bruchbild und Rißverlauf eines Plattenstreifens ohne Schubbewehrung mit Dübelbefestigungen in der Zugzone [16]

die Bruchfuge geleitet werden mußte und die dadurch hervorgerufene gemittelte Zugspannung etwa 10% der Betonzugfestigkeit entsprach. Weitere Versuche an quaderförmigen Einzelkörpern, die einen Rißabschnitt im Stoßbereich von Rippenstäben  $d_s = 14$  mm modellierten und bei denen zusätzliche Querkzugkräfte senkrecht zur Stoßebene aufgebracht wurden, bestätigten diese Ergebnisse [17]. Eine mögliche Erklärung für dieses günstige Ergebnis ist der Abbau der im Bereich der Bewehrungsstäbe auftretenden Spannungsspitzen durch Bildung von Mikrorissen. Dadurch werden die Betonbereiche zwischen den gestoßenen Stäben verstärkt zur Lastabtragung herangezogen.

Ordnet man Befestigungen in der Zugzone von Platten ohne Schubbewehrung an, so muß derjenige Teil der Lasten, der nicht über Kornverzahnung der Rißufer und Verdübelungswirkung der Biegezugbewehrung abgetragen werden kann, über die Spitze des Schubrisses hinweg in die Druckzone zum Auflager hin geleitet werden (Bild 17). Es ist daher mit örtlich größeren Rißbreiten zu rechnen, die den durch Kornverzahnung übertragbaren Querkraftanteil verringern. An der Rißspitze werden höhere Zugspannungen geweckt, dadurch kann es zu einem früheren Weiterlaufen des Schubrisses kommen. Außerdem wird die Tragfähigkeit der Druckzone durch die Zugspannungen verringert. Diese Mechanismen können zu einer Abminderung der Querkrafttragfähigkeit gegenüber Lasteinleitung in die Druckzone führen.

Diese Überlegungen wurden durch Versuche mit Plattenstreifen ohne Schubbewehrung bestätigt, bei denen über Befestigungen im Abstand  $a = 2,5 h$  bzw.  $3,0 h$  vom Auflager Lasten bis zu 120 kN in die Zugzone eingetragen wurden [16]. Es zeigte sich unter sonst gleichen Verhältnissen eine Abnahme

der Schubtragfähigkeit um etwa 14%, in Einzelfällen um bis zu 20%, gegenüber der Tragfähigkeit bei üblicher Lasteinleitung in die Druckzone, wenn die gesamte Verkehrslast in die Zugzone eingeleitet wird. Ein Einfluß der Art der verwendeten Befestigungselemente (Kopfbolzen, Hinterschnittdübel, kraftkontrolliert spreizende Metalldübel) sowie der auf die Bauteildicke bezogenen Verankerungstiefe war nicht erkennbar. Die Ergebnisse gelten daher auch für Befestigungen mit Ankerschienen.

Bei auflagenahen Lasten ( $a = 1,5 h$  bis  $2,5 h$ ) ergibt sich eine deutlich stärkere Verringerung der Schubtragfähigkeit [18]. Diese ist jedoch nicht als bedenklich anzusehen, da die Bruchschubspannungen jeweils ausreichend hohe Sicherheiten gewährleisten [16], [19].

Die Tragfähigkeit der Fuge von Decken aus Fertigteilplatten und einem am Ort aufgetragenen Aufbeton ist bei rauher Oberfläche und üblicher Belastung von oben so hoch, daß in manchen Fällen auf eine Verbundbewehrung verzichtet werden kann [20]. Werden dagegen Lasten über Befestigungen in die Fertigteilplatte solcher Bauteile eingeleitet, ist immer eine Verbundbewehrung anzuordnen [2]. Soll in Einzelfällen darauf verzichtet werden, müssen die Befestigungselemente mit der erforderlichen Verankerungstiefe in den Ortbeton reichen [16], [21].

## 5 Bemessung nach Zulassung

Die Befestigung tragender Konstruktionen, deren Versagen „die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit“ gefährdet (Bundesbaugesetz), erfordert die Verwendung von Befestigungsmitteln, deren Eignung durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder im Einzelfall durch Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde nachgewiesen ist.

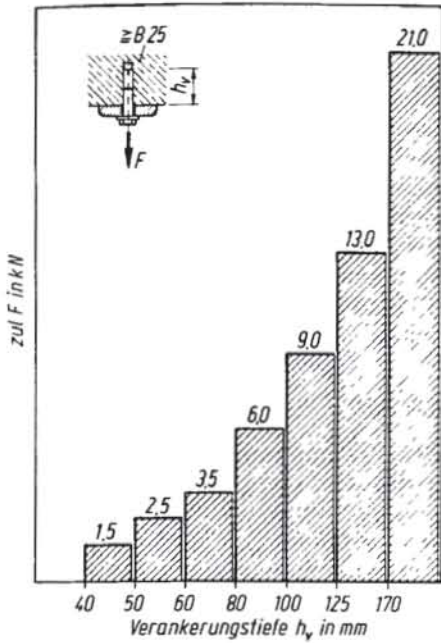
Die Zulassungen [22] fordern eine ingenieurmäßige Planung und Bemessung der Befestigungen. Dazu gehören die Anfertigung prüfbarer Berechnungen und Konstruktionszeichnungen. Der Nachweis der unmittelbaren örtlichen Krafterleitung durch das Befestigungsmittel in den Ankergrund gilt durch das Zulassungsverfahren als erbracht. Für die Weiterleitung der über Befestigungen eingetragenen Kräfte zu den Auflagern ist jedoch ein statischer Nachweis zu führen.

Die seit dem Jahr 1984 erteilten neueren Zulassungen für gut nachspreizende Metalldübel und für Hinterschnittdübel behandeln aus den in Abschnitt 3 angegebenen Gründen Befestigungen in der Zugzone als Regelfall.

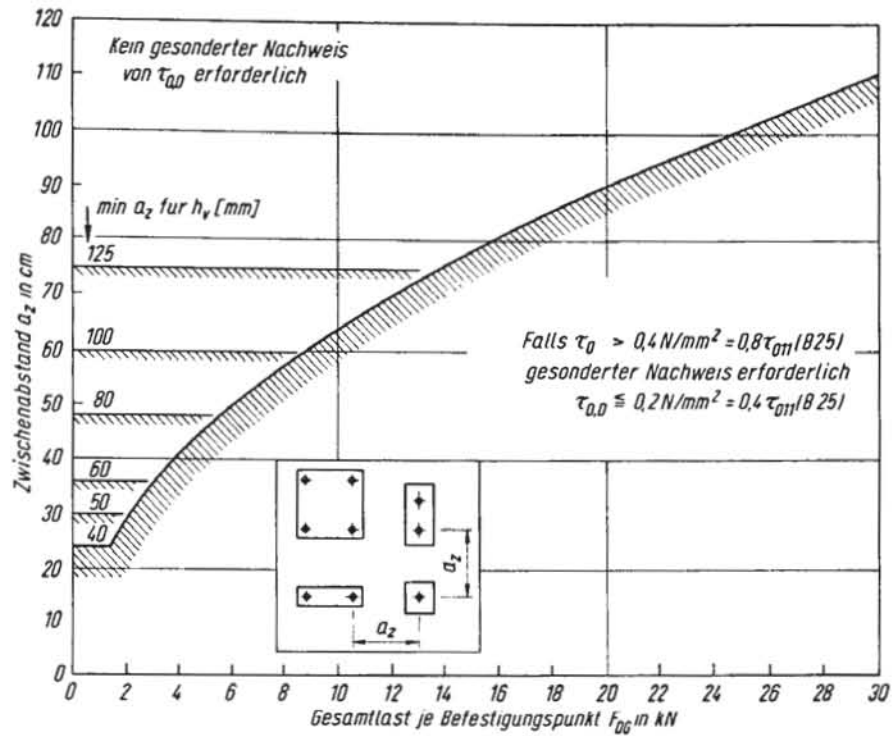
Die zulässigen Lasten für Einzeldübel werden in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe in Lastklassen eingeteilt (Bild 18). Diese gelten für die Beanspruchungsarten mittlerer Zug, Querkzug sowie Schrägzug unter jedem Winkel für vorwiegend ruhende Belastung.

Höhere zulässige Lasten dürfen nur dann angesetzt werden, wenn in jedem Einzelfall unter Berücksichtigung der durch Dübel eingetragenen Lasten nachgewiesen wird, daß in Haupttragrichtung des als Ankergrund dienenden Stahlbetonbauteils auf der der Befestigung zugewandten Bauteilseite eine Druckzone vorliegt, d.h. das Befestigungselement über die gesamte Verankerungstiefe in gedrücktem Beton liegt. Zudem ist eine von der Höhe der Belastung abhängige Bauteildicke einzuhalten.

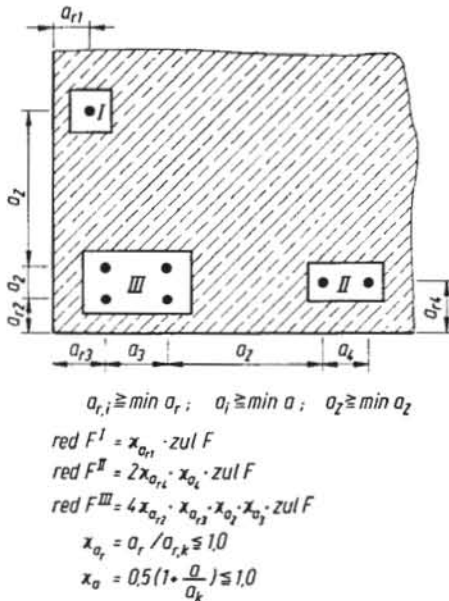
Die zulässigen Lasten nach Bild 18 gelten für Achs- und Randabstände  $a$  bzw.  $a_r$ , die mindestens den kritischen Werten  $a_k$  bzw.  $a_{rk}$  nach Tabelle 1 entsprechen. Liegen bei Einzeldübeln oder Dübelgruppen geringere Rand- und/oder Achsabstände vor, werden die zulässigen Lasten mit Hilfe des Kappa-Verfahrens ermittelt, das in Bild 19 erläutert ist. Danach ergibt sich die zulässige Last einer Einzel- oder Gruppenbefestigung mit bis zu vier Dübeln durch Multiplikation der zulässigen Last eines Einzeldübeln nach Bild 18 mit den Beiwerten  $K_d$



**Bild 18.** Lastklassen für Einzeldübel in der Betonzug- und Betondruckzone nach neuen Zulassungen



**Bild 20.** Kritischer Zwischenabstand  $a_z$  von Dübelgruppen in der Zugzone beim Nachweis der Bauteil-Tragfähigkeit [16]



**Bild 19.** Bemessung von Befestigungen nach dem Kappa-Verfahren

**Tabelle 1.** Rand-, Achs- und Zwischenabstände rißtauglicher Dübel sowie Mindest-Bauteildicken

	Randabstand		Achsabstand		Zwischenabstand	Bauteildicke
	$\min a_r$	$a_{r,k}$	$\min a$	$a_k$		
	$\frac{\min a_r}{h_v}$	$\frac{a_{r,k}}{h_v}$	$\frac{\min a}{h_v}$	$\frac{a_k}{h_v}$		
Hinterschnittdübel	1,0	2,0	1,0	4,0	6,0	$\approx 2$
Kraftkontrolliert spreizender Dübel mit einem Konus	2,0	3,0	1,0	4,0	6,0	$\approx 2$
Kraftkontrolliert spreizender Dübel mit zwei Konen	2,5	3,0	1,5	4,0	6,0	$\approx 2$

und  $\kappa_{ar}$ . Die Achs- und Randabstände sowie die Bauteildicke dürfen Mindestwerte nicht unterschreiten (Tabelle 1).

Beim Nachweis der Weiterleitung der Kräfte im Bauteil sind die folgenden, in den neueren Zulassungsbescheiden für rißtaugliche Dübel angegebenen Regeln zu beachten, die in [16],[19] ausführlich begründet werden.

Die Spaltkräfte von Dübeln dürfen bei der Bemessung von Bauteilen vernachlässigt werden, wenn man die in Tabelle 1 angegebenen Mindest-Rand- und Mindest-Achsabstände einhält und große Zuglasten bei der Bauteilbemessung als Einzellast entsprechend DIN 1045 behandelt. Die Norm macht jedoch keine Angaben darüber, ab welcher Größe Einzellasten gesondert nachzuweisen sind. Der Sachverständigenausschuß „Ankerschienen und Dübel“ beim Institut für Bautechnik hat unter Berücksichtigung der Größe der Spaltkräfte diese Grenze mit 6,0 kN (Spreizdübel) bzw. 9,0 kN (Hinterschnittdübel) je Befestigungspunkt festgelegt. Dabei kann ein Befestigungspunkt aus einem Einzeldübel oder einer Dübelgruppe bestehen.

Um eine örtliche Überbeanspruchung des Bauteils auszuschließen, dürfen an jedem Befestigungspunkt höchstens 30 kN verankert werden. Dies stellt nur bei Mehrfachbefestigungen mit Verankerungstiefen  $h_v \geq 100$  mm eine Einschränkung dar, während bei Einzeldübeln oder kleineren Verankerungstiefen der Nachweis der örtlichen Lasteinleitung maßgebend wird. Die über Befestigungen in die Zugzone eines Stahlbeton-Bauteils insgesamt einleitbare Last wird darüber hinaus durch den lichten Abstand  $a_z$  zwischen benachbarten Befestigungspunkten begrenzt. Als Mindestwert ist  $\min a_z = 6 h_v$  festgelegt (Bild 20).

Aufgrund der Untersuchungen in [16] könnte die Grenze  $\max F = 30$  kN pro Befestigungspunkt entfallen und der Mindestwert für den Zwischenabstand dürfte auf  $\min a_z = 4 h_v$  reduziert werden.

Die Abminderung der Schubtragfähigkeit von Platten ohne Schubbewehrung mit Befestigungen in der Zugzone kann zu einem Wechsel der Bruchart – spröder Schubbruch anstelle eines duktilen Biegebruchs – führen, der nicht toleriert werden darf [19]. Um dies auszuschließen, wurde folgende Zulas-

sungsregelung zur Sicherstellung einer ausreichenden Schubtragfähigkeit hergeleitet [19], die, auf der sicheren Seite liegend, auch bei Bauteilen mit Schubbewehrung angewendet wird.

Bei rechnerischen Schubspannungen aus äußeren Lasten einschließlich der Dübellasten  $\tau_0 \leq 0,4 \text{ N/mm}^2$  ( $= 0,8 \tau_{011}$  für die Betonfestigkeitsklasse B 25) ist der Zwischenabstand  $a_z = 6 h_v$  einzuhalten. Bei höherer Querkraftbeanspruchung ( $0,4 \text{ N/mm}^2 < \tau_0 < \tau_{011}$ ) dürfen die von Dübellasten hervorgerufenen rechnerischen Schubspannungen  $\tau_{0,D} = 0,2 \text{ N/mm}^2$  ( $= 0,4 \tau_{011}$  für B25) nicht überschreiten. Bei der Berechnung von  $\tau_{0,D}$  ist als Lasteintragungsbreite  $t = a + 2 h_v$  anzunehmen. Auf diesen Nachweis darf verzichtet werden, wenn die in Bild 20 in Abhängigkeit von der Gesamtlast je Befestigungspunkt aufgetragenen Zwischenabstände  $a_z$  eingehalten werden.

Befestigungen dürfen im Bereich von Übergreifungsstößen und Verankerungen von Rippenstäben angeordnet werden, sofern die örtliche Tragfähigkeit der Befestigungen entsprechende Zulassung nachgewiesen wird. Sie sind dann bezüglich des Bauteil-Tragverhaltens nicht als kritisch anzusehen.

Wegkontrolliert spreizende Dübel und Verbunddübel sind in der zur Zeit erhältlichen Ausführung nur für die Anwendung in der aus Lastspannungen erzeugten Druckzone von Stahlbeton-Bauteilen zugelassen. Der Nachweis, daß eine Druckzone vorliegt, ist in jedem Einzelfall wie oben angegeben zu führen.

Die Zulassungsbescheide für Ankerschienen erlauben dieselben zulässigen Lasten bei Einsatz in der Druck- und Zugzone von bewehrten Bauteilen. Sie hängen von der Beanspruchungsrichtung und Profillänge ab. Die auftretenden örtlichen Querkraftspannungen sind durch zusätzliche Bewehrung gemäß DIN 1045, Abschnitt 18 aufzunehmen. Die zulässigen Lasten von Ankerschienen wurden aus Versuchen in ungerissenem Beton abgeleitet. Bei Anordnung in der Zugzone und Verzicht auf eine besondere Rückhängebewehrung sind die zulässigen Lasten deshalb vergleichsweise hoch. Daher sollten sie insbesondere bei größeren Profilen nur zu etwa 70% ausgenutzt werden.

Die zulässigen Lasten für Kopfbolzen in der Zugzone sind, verglichen mit den Werten für Ankerschienen und geeignete

Metалldübel, gering. Sie sind wie bei den Ankerschienen von der Beanspruchungsrichtung abhängig.

Die Zulassungsbescheide für Ankerschienen und Kopfbolzen werden zur Zeit besonders für Befestigungen in der gerissenen Betonzugzone hinsichtlich der zulässigen Lasten sowie der Sicherung der Bauteil-Tragfähigkeit überarbeitet.

Zulassungen für Befestigungssysteme, die nicht grundsätzlich für die Verwendung in der Zugzone geeignet sind, sollen nach [23] in der vorliegenden Form nicht über den 31. Dezember 1989 hinaus verlängert werden. Weitere Hinweise zur Bemessung von Befestigungen enthalten [8], [9]. Ein zukünftiges Bemessungskonzept wird in [24] vorgeschlagen.

## 6 Zusammenfassung

Befestigungen in Stahlbeton-Bauteilen sind im Regelfall in der Betonzugzone verankert und werden von Rissen gekreuzt. Die seit 1984 erteilten Zulassungsbescheide für Dübel, die für die Verwendung in gerissenem Beton geeignet sind, enthalten Bemessungsregeln, die sichere Befestigungen bei gleichzeitig guter Wirtschaftlichkeit sicherstellen. Das Kappa-Verfahren ermöglicht die Bemessung von Befestigungen mit bis zu vier Dübeln bei praxisgerechten Achs- und Randabständen.

Ab dem Jahr 1990 sollen für bauaufsichtlich bedeutsame Befestigungen nur noch rißtaugliche Befestigungssysteme, wie Hinterschnittdübel und geeignete kraftkontrolliert spreizende Dübel sowie Ankerschienen und Kopfbolzen-Ankerplatten, zugelassen werden [23]. Dies ist als eine wesentliche Vereinfachung für die Praxis anzusehen, da der im allgemeinen schwierig zu führende Nachweis entfällt, daß auf der der Befestigung zugewandten Bauteilseite eine Druckzone vorliegt.

In diesem Beitrag sind die zum Verständnis der Zulassungsregelungen erforderlichen Kenntnisse über das Tragverhalten von Einzel- und Gruppenbefestigungen in gerissenem Beton sowie über den Einfluß angehängter Lasten auf das Tragverhalten des als Ankergrund dienenden Bauteils zusammengefaßt.

Literatur s. Heft 2/1989, Seite 32