

TRAGVERHALTEN VON BEFESTIGUNGEN UNTER ERDBEBENBELASTUNGEN

von

Rolf ELIGEHAUSEN

und Werner FUCHS

Institut für Werkstoffe im Bauwesen

Abteilung für Befestigungstechnik

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 4

7000 Stuttgart 80

ZUSAMMENFASSUNG

Befestigungen unter Erdbebenbelastungen sind im Regelfall in der Betonzugzone von Stahlbeton-Bauteilen verankert und werden von breiten Rissen gekreuzt. In diesem Beitrag werden Kenntnisse über das Tragverhalten rißtauglicher Befestigungssysteme wie Hinterschnittdübel und geeignete kraftkontrolliert spreizende Dübel sowie Kopfbolzen-Ankerplatten zusammengefaßt und kurze Hinweise zur Ausführung von Befestigungen gegeben.

ABSTRACT

In general fastenings under earthquake loading are inserted in the tensile zone of reinforced concrete structures and are located beside or in wide cracks. In this paper knowledge about the load bearing behaviour of fastening systems suitable for cracks, e.g. undercut anchors, torque controlled anchors intended for use in the tensile zone and headed studs is summarized and brief proposals for their design are given.

1. EINLEITUNG

Befestigungsmittel wie Einlegeteile (z.B. Kopfbolzen) und nachträglich montierbare Metalldübel werden vor allem zur Befestigung von Fassaden, Stützen, Konsolen und Rohrabhängungen eingesetzt. Sie können allerdings auch als Verbindungsmittel bei Stützenverbreiterungen oder beim Einziehen von Wänden zwischen Rahmen verwendet werden. Als Verankerungsgrund dienen stets Stahlbetonbauteile.

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 unter quasi ständiger Last die als zulässig angesehenen Werte von $w \approx 0,3$ bis $0,4$ mm nicht überschreiten. Im Falle von Erdbebenbelastungen sind jedoch wesentlich breitere Risse zu erwarten.

Risse können in einer Richtung (z.B. in Balken, einachsig gespannten Platten oder Zuggliedern) oder aber in zwei Richtungen (z.B. bei kreuzweise gespannten Platten und Flachdecken) auftreten.

In biegebeanspruchten Bauteilen ist die Länge der Zugzone im Verhältnis zur Druckzone bei Beachtung unterschiedlicher Lastfälle sehr groß.

Dies ist aus Bild 1 zu ersehen, in dem die bei einem Zweifeldträger auftretenden Zugzonen für unterschiedliche Lastfälle als schraffierte Flächen eingetragen sind. Weiterhin erzeugen Einzelasten bei Flächentragwerken immer Biegemomente in beiden Achsrichtungen. Deshalb kann bei Wänden eine Zugzone senkrecht zur

Haupttragrichtung auch dann vorliegen, wenn der Querschnitt in Haupttragrichtung auf Druck beansprucht ist (Bild 2).

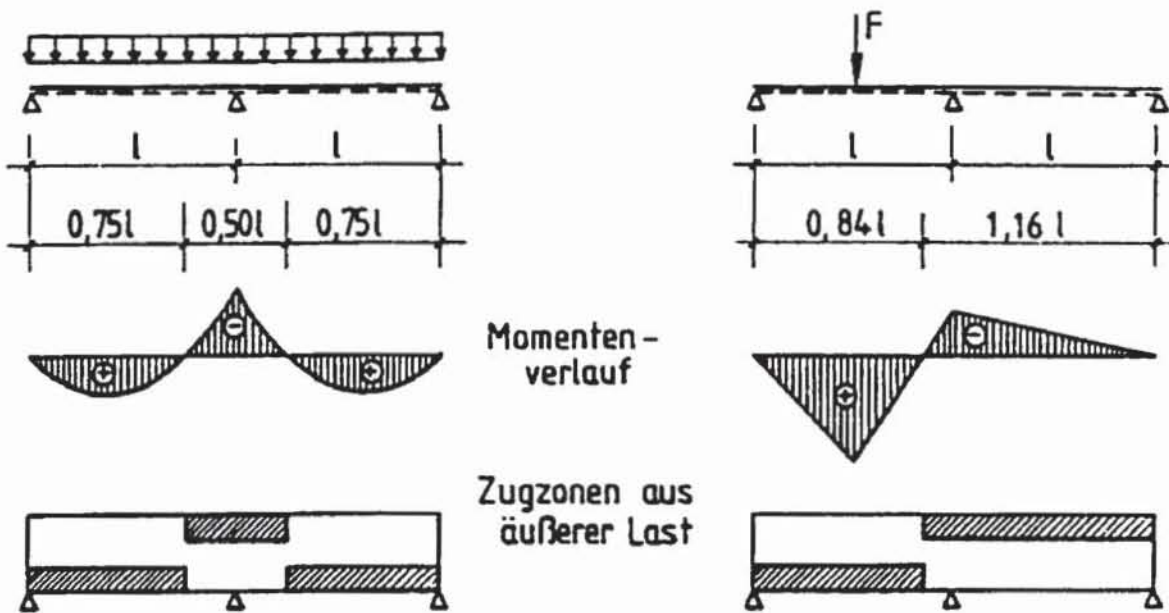


Bild 1: Zugzonen aus äußerer Last bei einem Zweifeldträger

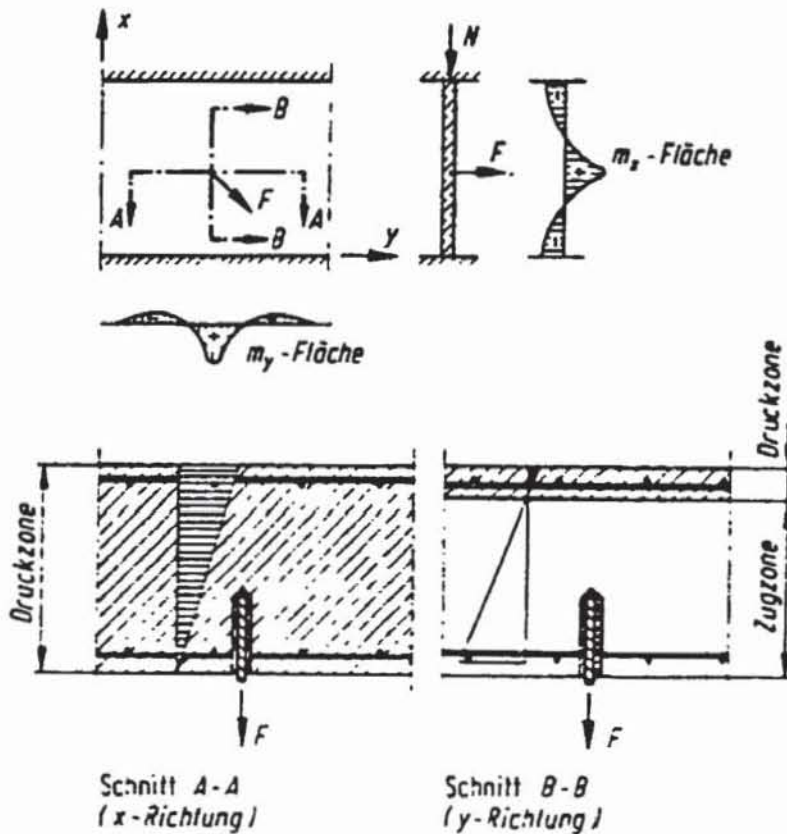


Bild 2: Verankerung eines Dübels in einer Wand

Da eine Abgrenzung der Druck- und Zugzone in der Praxis schwierig und gerade unter Erdbebenlasten nahezu unmöglich ist, ist es sinnvoll, davon auszugehen, daß Befestigungen in der Regel in der Betonzugzone angeordnet sind und der Beton gerissen ist. Die Dübel können dabei neben bzw. in Rissen liegen und sind im ungünstigsten Fall im Schnittpunkt zweier sich kreuzender Risse (Kreuzriß) verankert.

2. TRAGVERHALTEN AXIALZUGBEANSPRUCHTER BEFESTIGUNGEN IN RISSEN

2.1 Einzeldübel

Bild 3 zeigt schematisch die Last-Verschiebungskurven einer rißtauglichen Einzelbefestigung, die im ungerissenen Beton bzw. in einem Riß verankert ist. Die Last-Verschiebungskurve der Verankerung im Riß verläuft flacher, und der Betonausbruch erfolgt bei geringer Last und größeren Verschiebungen als im ungerissenen Beton.

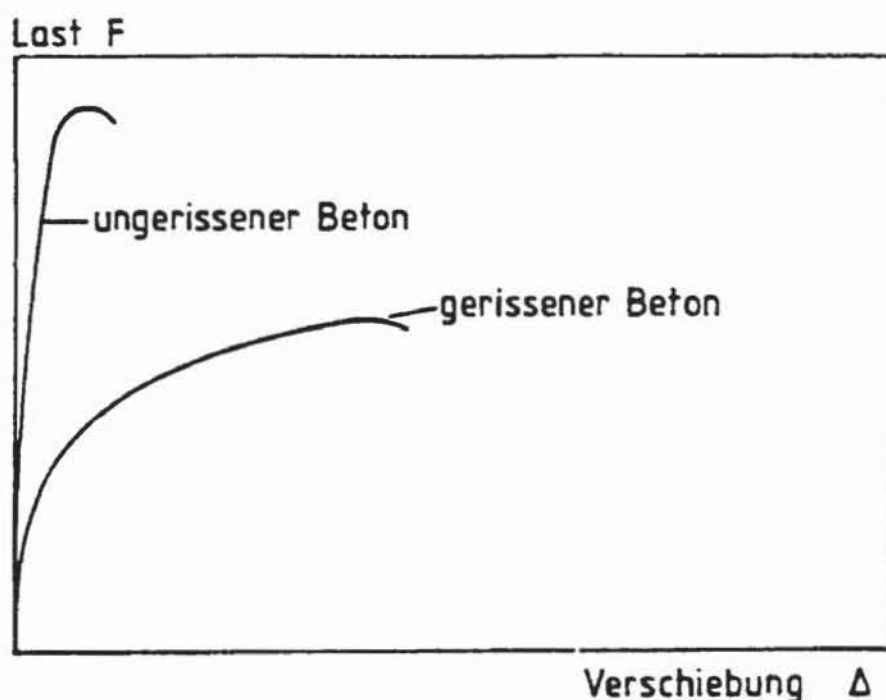


Bild 3: Einfluß von Rissen auf das Last-Verschiebungs-Verhalten von Metallspreizdübeln (schematisch)

Die Bruchlasten von in Rissen verankerten Hinterschnittdübeln, Kopfbolzen sowie gut nachspreizenden, kraftkontrolliert spreizenden Dübeln, bezogen auf die im ungerissenen Beton zu erwartenden Werte, sind in Bild 4 in Abhängigkeit von der Rißbreite aufgetragen. Die Versuchsergebnisse wurden in Dehnkörpern ermittelt. Das Versagen erfolgte durch einen Betonausbruch. Dabei wird die Zugfestigkeit des Betons ausgenutzt. Die Höchstlast fällt bis zu einer Rißweite $w = 0,4$ mm auf das ca. 0,6- bis 0,7fache des für ungerissenen Beton geltenden Wertes und bleibt dann für größere Rißbreiten nahezu konstant.

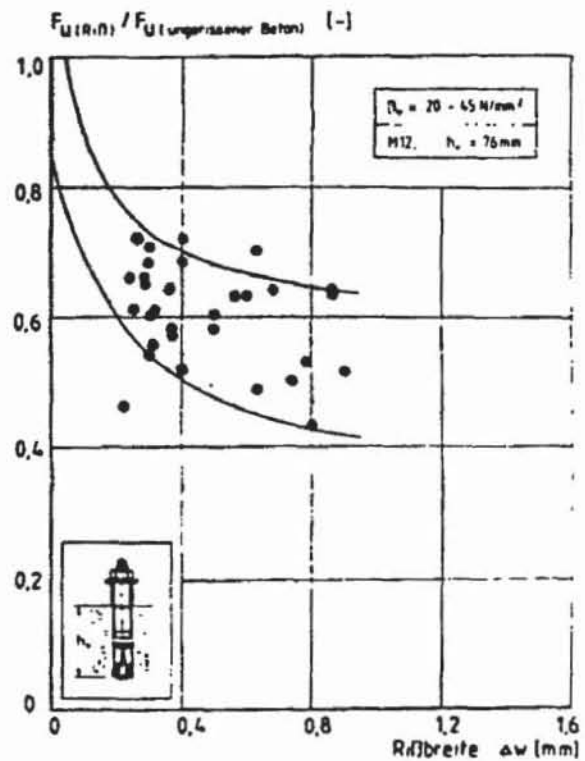
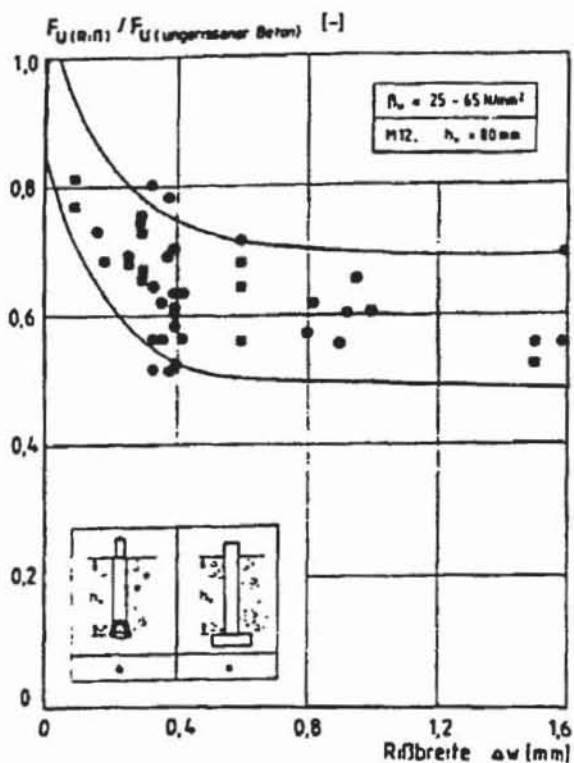


Bild 4: Tragfähigkeit von Kopfbolzen, Hinterschnittdübeln sowie kraftkontrolliert spreizenden Dübeln unter Axialzugbeanspruchung in Rissen

Dies deutet darauf hin, daß 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 ist (ELIGEHAUSEN/FUCHS/MAYER, 1988). Bei Verankerungen im ungerissenen Ankergrund sind die Spannungen rotationssymmetrisch zum Befestigungselement verteilt. Das Gleichgewicht wird durch Ringzugkräfte im Beton gewährleistet (Bild 5a). Liegt das Befestigungselement in einem breiten RiB, dann können keine Zugkräfte senkrecht zum RiB übertragen werden. Der RiB bewirkt daher eine Änderung der Krafteinleitung in den Beton und reduziert die zur Übertragung der Zugkräfte zur Verfügung stehende Fläche (Bild 5b). Weiterhin können benachbarte Risse einen Teil des möglichen Ausbruchkegels abschneiden.

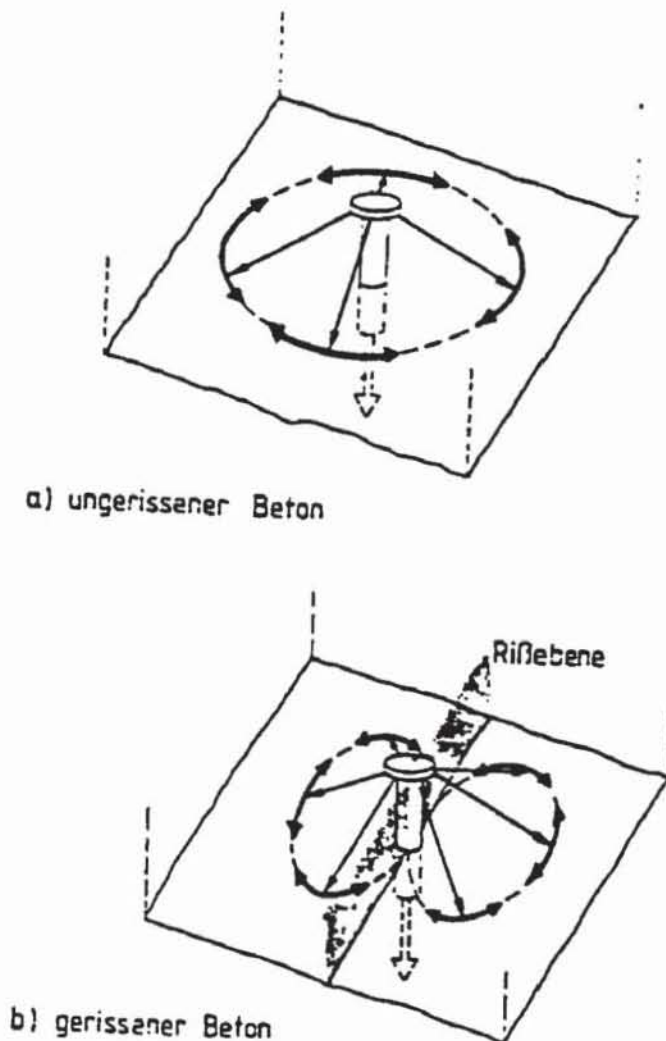


Bild 5: Einfluß von Rissen auf den Kräfteverlauf im Beton im Bereich eines durch Zuglast beanspruchten Kopfbolzens (schematisch)

Nach den bisherigen Erfahrungen wird das Tragverhalten von Spreizdübeln stärker durch Risse beeinflusst als von Hinterschnittdübeln oder Kopfbolzen. Durch das Öffnen des Risses werden die Spreizkräfte abgebaut. Dabei verhalten sich wegstabilisierende Dübel wesentlich ungünstiger als die des kraftkontrollierten Typs. Bei Verbunddübeln wird durch die Rißöffnung der Verbund zerstört, woraus sich bei Axialzugbeanspruchung eine extreme Abminderung der Last ergeben kann.

Bild 6 zeigt den Einfluß von zwischengeschalteten Phasen mit zyklischer Beanspruchung auf das Tragverhalten eines rißtauglichen kraftkontrolliert spreizenden Dübel. Er war in einem Linienriß ($w \approx 0,7 \text{ mm}$) eines Dehnkörpers angeordnet. Die zyklische Beanspruchung bewirkt in jedem Lastspektrum eine zusätzliche Dübelverschiebung. Bei der abschließenden Belastung bis zum Versagen verläuft die Last-Verschiebungs-Kurve sehr steil, bis sie etwa die zum Vergleich mit eingezeichnete Verschiebungskurve eines monoton steigend belasteten Dübel erreicht und dieser dann bis zum relativ spröden Betonausbruch folgt.

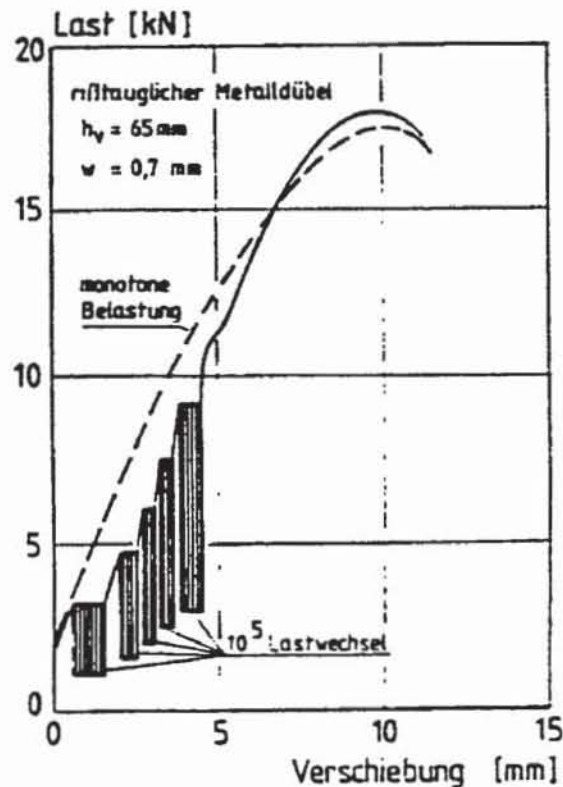


Bild 6: Last-Verschiebungskurve eines Dübel unter zyklischer Axialzugbeanspruchung

Zyklische Verschiebungen aus Erdbebenbelastungen können nur dann aufgenommen werden, solange sie unterhalb der Bruchverschiebung liegen. Darüber ist keine Lastübertragung mehr möglich. Eine Verbesserung dieses Zustandes kann eine gezielt angebrachte Bewehrung bewirken (vgl. Abschnitt 4). Dies ist zunächst allerdings nur bei Kopfbolzen denkbar: bei nachträglich montierbaren Befestigungen bestehen in diesem Punkt noch zahlreiche offene Fragen.

2.2 Gruppenbefestigungen

Bei Dübelgruppen werden meist nicht alle, sondern nur einzelne Dübel im Riß verankert sein. Bild 7 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. Die auf zentrischen Zug beanspruchte Ankerplatte war gelenkig gelagert, konnte sich also verdrehen.

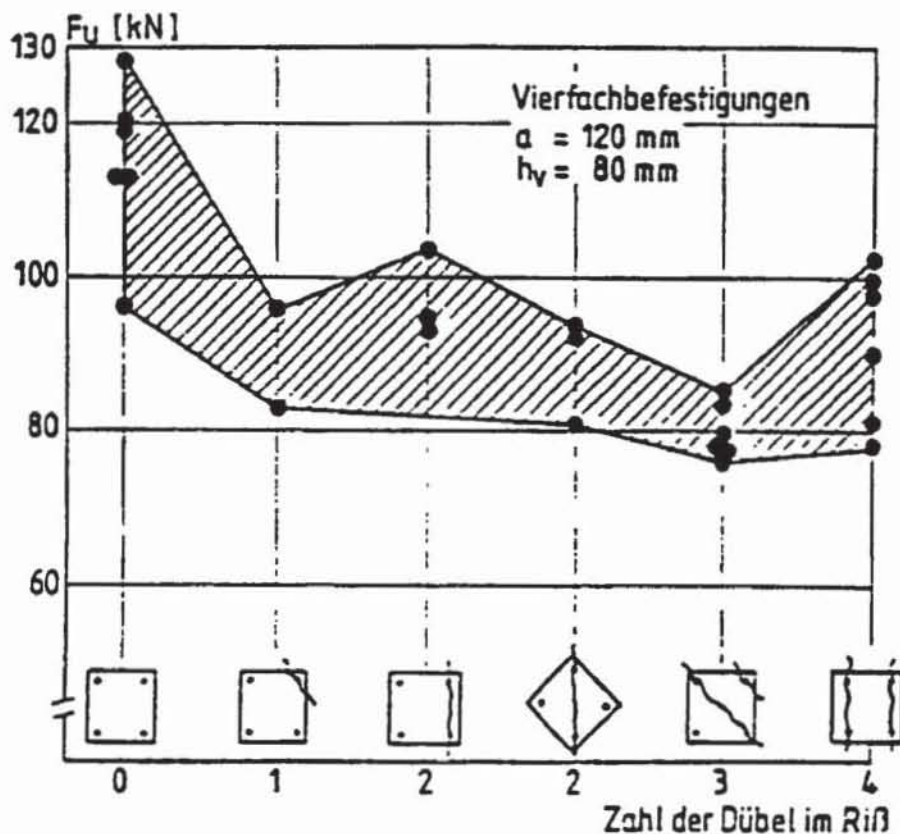


Bild 7: Einfluß der Zahl der Dübel im Riß auf die Betonausbruchlast einer Vierfachbefestigung

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 (MAYER/ELIGENHAUSEN!).

Die bei den beschriebenen Versuchen verwendeten Dübel wiesen sowohl im gerissenen als auch im ungerissenen Beton kontinuierlich ansteigende Last-Verschiebungslinien auf (Linien a_1 und a_2 in Bild 8). 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 auf theoretischem Wege untersucht. Nimmt man an, daß alle Dübel im Riß ein normales Last-Verschiebungsverhalten aufweisen, dann beträgt die Höchstlast der Gruppe bei großem Achsabstand das ca. 4fache der Traglast eines Einzeldübels im Riß. Die Bruchlast fällt um ca. $1/3$ ab, wenn Dübel 2 und/oder 4 der Linie b folgen. Der Lastabfall ist natürlich noch größer, wenn einer der im Riß liegenden Dübel der Linie c folgt, also ohne weitere Lastaufnahme im Bohrloch schlupft. Diese Untersuchungen zeigen, daß Befestigungsmittel, die in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen insbesondere, wenn sie einer Erdbebenbeanspruchung ausgesetzt sind, auch dafür geeignet sein müssen.

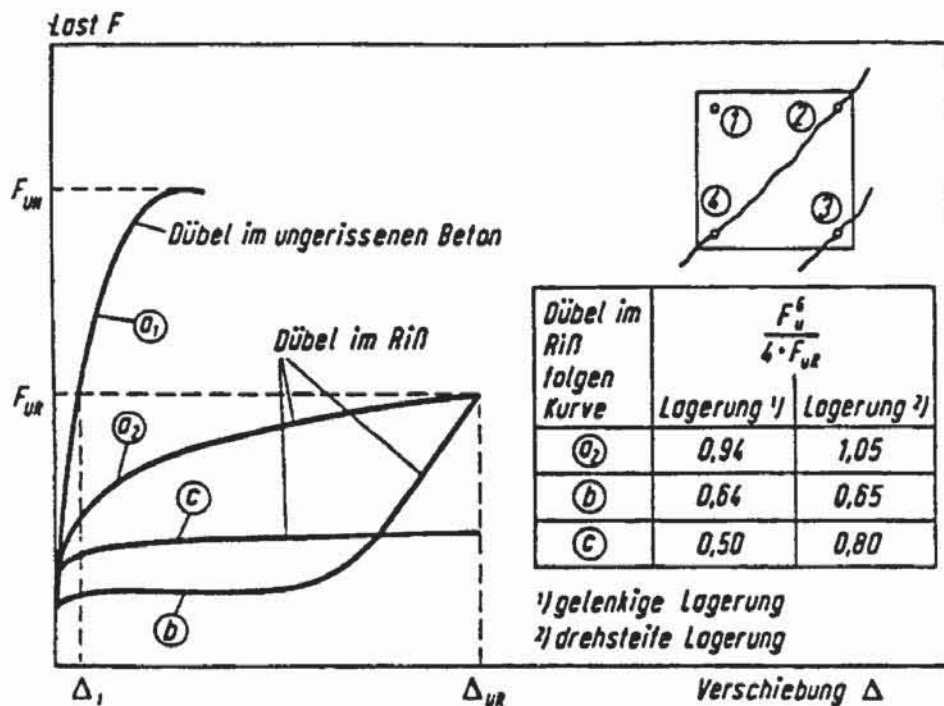


Bild 8: Einfluß der Form der Last-Verschiebungskurve auf die Ausbruchlast von Vierfachbefestigungen unter zentrischer Zugbeanspruchung

3. TRAGVERHALTEN QUERZUGBEANSPRUCHTER BEFESTIGUNGEN IN RISSEN

Das Tragverhalten von Befestigungen mit großem Randabstand und der Versagensart Stahlbruch wird durch Risse im Beton nicht wesentlich beeinflusst. Lediglich die Verschiebungen sind im gerissenen Beton ein wenig größer (FUCHS/ELIGEHAUSEN, 1989).

ELIGEHAUSEN/VINTZELELOU, 1989 berichten über Ergebnisse an Versuchen mit Metalldübeln unter zyklisch wechselnder Zugbeanspruchung. Sie wurden in Linienrissen ($w \leq 0,8 \text{ mm}$) von Dehnkörpern durchgeführt. Die Last wurde weggesteuert aufgebracht, so daß zyklische Belastungen zwischen $+\Delta u$, $-\Delta u$ oder $+0,5\Delta u$, $-0,5\Delta u$ realisiert werden konnten. Δu ist die Verschiebung bei Höchstlast.

In Bild 9 ist eine typische Hysterese-Schleife für eine Befestigung mit großem Randabstand und der Versagensart Stahlbruch dargestellt. Sie ist sehr schmal ausgebildet. Deshalb war schon beim zweiten Lastwechsel eine große Verschiebung zur Aktivierung der Befestigung erforderlich. Die Fläche der Hysterese-Schleife ist ebenfalls relativ klein; d.h. auch die Dämpfungswirkung ist gering.

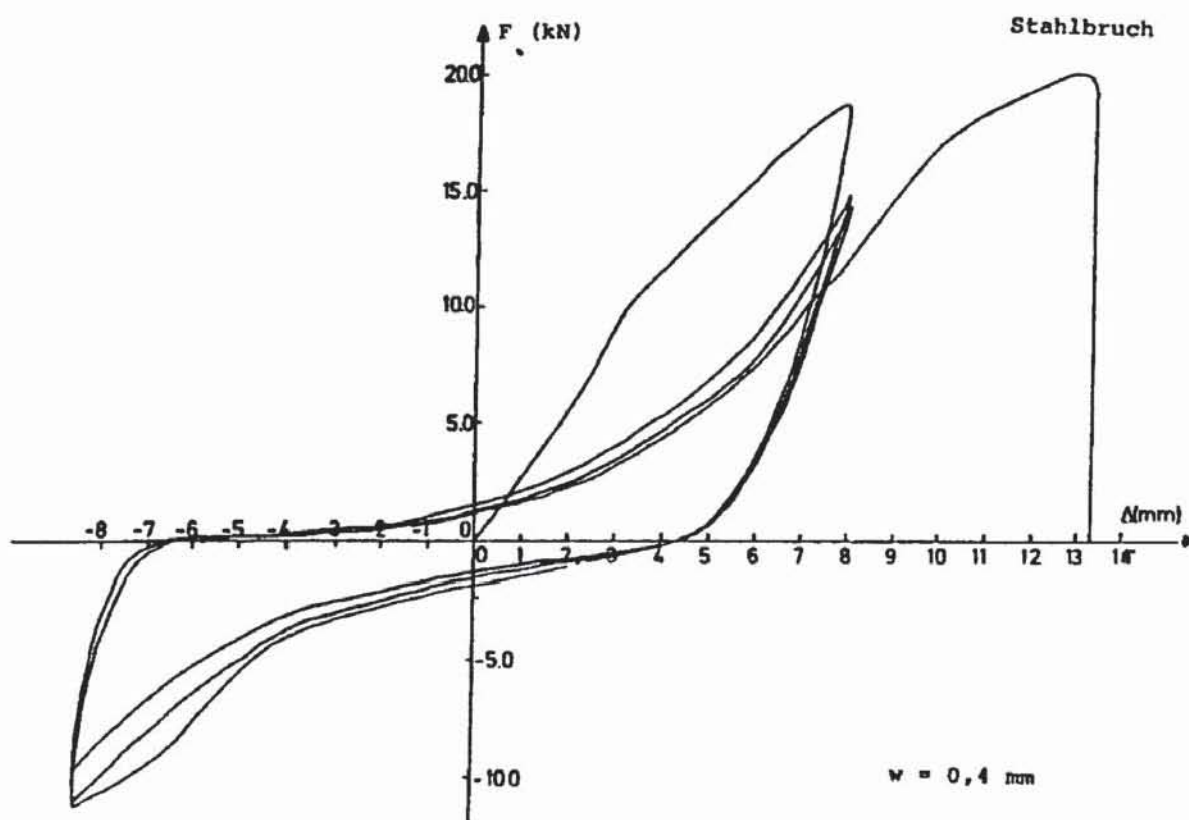


Bild 9: Typische Last-Verformungs-Charakteristik für Metalldübel mit großem Randabstand unter zyklischer Querkzugbeanspruchung

Weiterhin wurde eine beträchtliche Abminderung des Last-Antwort-Verhaltens in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel beobachtet (Bild 10). Der größte Teil der Abminderung erfolgt während des zweiten Lastwechsels. Bei weiterer zyklischer Belastung stellt sich dann eine Tendenz zur Stabilisierung ein. Nach 5 Lastwechseln betrug die von der Befestigung aufgenommene Last noch zwischen 60 und 80 Prozent des Wertes beim ersten Lastzyklus.

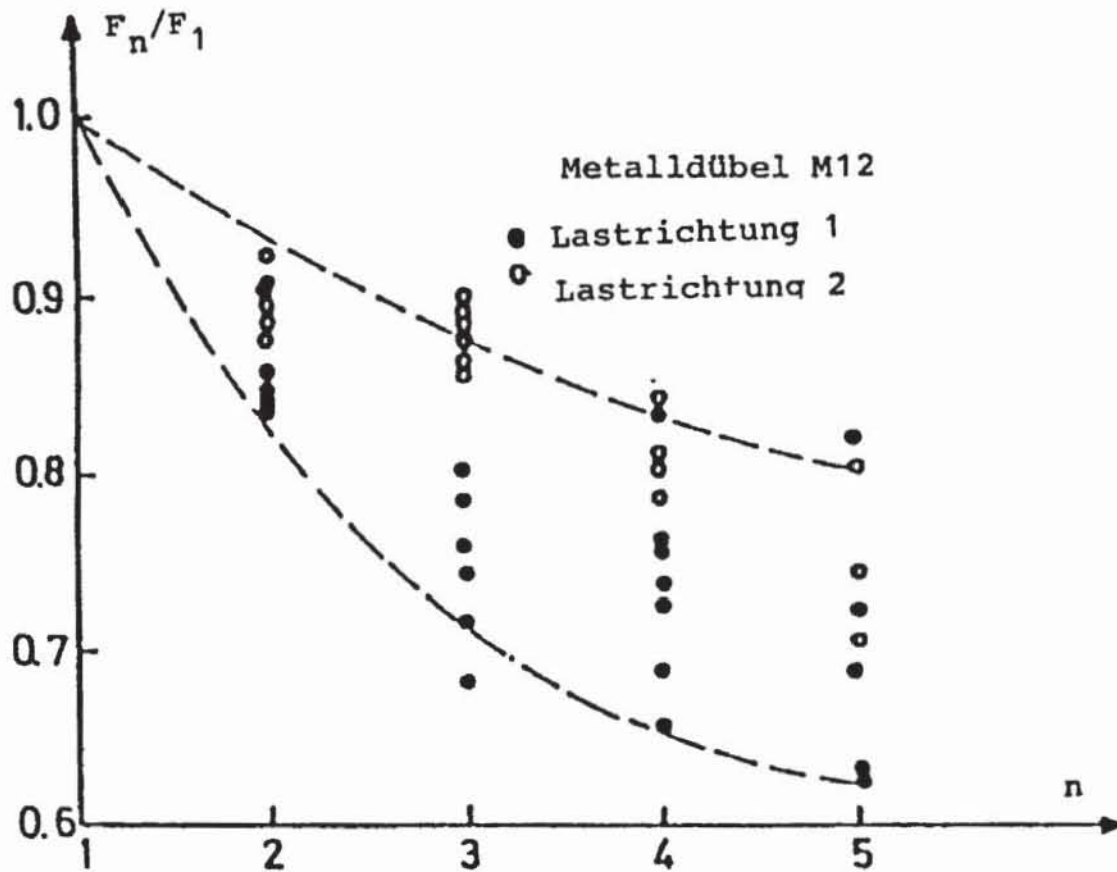


Bild 10: Abminderung der aufgenommenen Last in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel

Im Anschluß an die zyklische Belastung wurden die Dübel im statischen Versuch zu Bruch gefahren. Dabei zeigte sich, daß die zyklische Vorbelastung keinen Einfluß auf die Höchstlast hat. Eine zyklische Belastung mit größeren Verschiebungen als die Bruchverschiebung ist jedoch nicht möglich, da Stahlversagen des Bolzens auftritt.

Randnahe Befestigungen im Linienriß, die in Richtung der Kante belastet werden, verhalten sich unter sonst gleichen Verhältnissen weniger steif als im ungerissenen Beton. Darüberhinaus sinkt die Betonausbruchlast bei Rißbreiten $w \geq 0,4$ mm nach den Untersuchungen von FUCHS/ELIGEHAUSEN, 1989 unabhängig vom Befestigungsmittel auf ca. 60 bis 70 Prozent des Wertes im ungerissenen Beton ab (Bild 11).

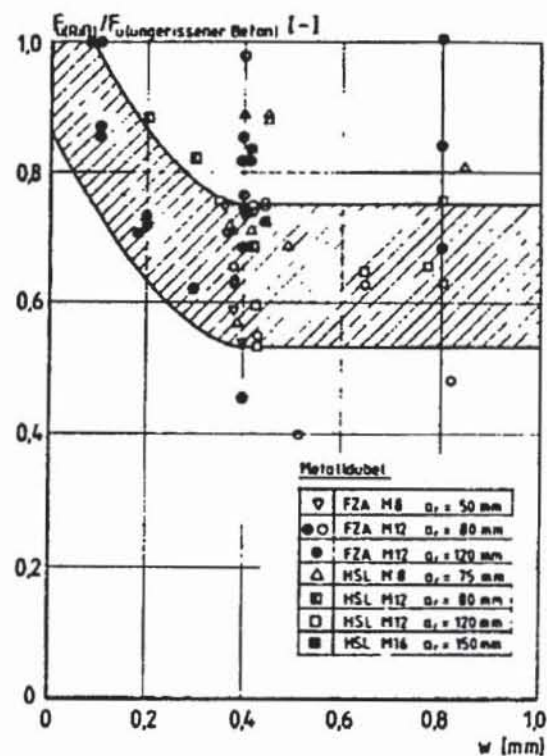


Bild 11: Einfluß von Rissen auf die Betonausbruchlast von Metalldübeln (Versuchskörper ohne Randbewehrung)

Zyklische Belastungen unterhalb der Verschiebung bei Höchstlast haben wie bei zentrischer Zugbeanspruchung und der Versagensart Betonausbruch praktisch keinen Einfluß auf die ertragbare Last. Übersteigt die aufgebrachte Verschiebung den Wert bei Höchstlast (Bild 12) werden die in Richtung der Kante aufnehmbaren Lasten sehr klein und die Hysterese-Schleifen sehr schmal, d.h. daß keine wesentliche Energie-Dissipation mehr stattfindet. Eine deutliche Verbesserung des Tragverhaltens kann man bei randnahen Befestigungen mit der Versagensart Betonausbruch wiederum durch das gezielte Einlegen von Bewehrung erwarten.

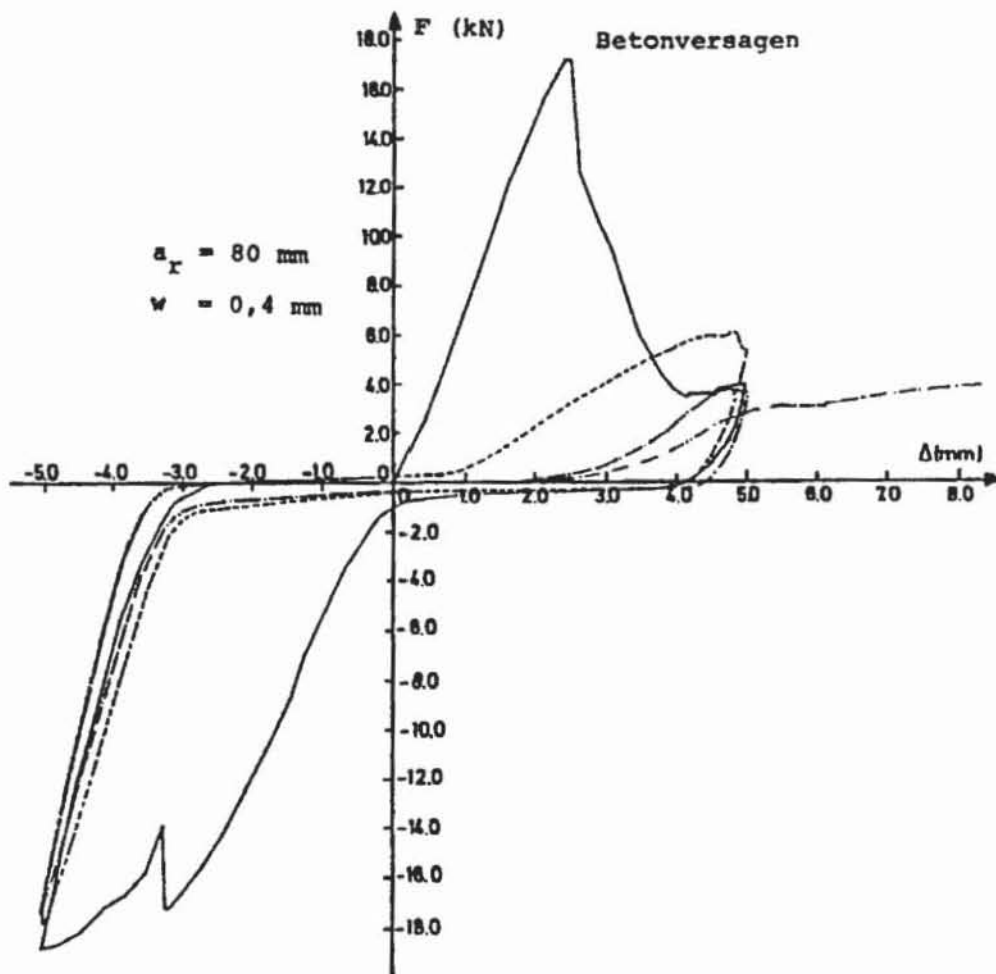


Bild 12: Hystereseschleifen bei einer randnahen Befestigung mit Betonausbruch während der wechselnd zyklischen Querkzugbelastung

4. EINFLUSS DER BEWEHRUNG AUF DAS TRAGVERHALTEN

Zur Simulation ungünstiger Verhältnisse wurde bisher davon ausgegangen, daß die Befestigungen im quasi-unbewehrten Beton verankert sind. Das Versagen erfolgte deshalb auch relativ spröde durch Betonausbruch. Eine Bewehrung kann nur in diesem Fall zu einer Verbesserung des Tragverhaltens beitragen.

Bei Erdbebenbelastungen wird in der Regel ein duktiler Verhalten von Befestigungen gefordert. Denkbar ist, daß sich dies durch eine zusätzliche und richtig angeordnete Bewehrung erreichen läßt. Die Bewehrung sollte möglichst nahe zur Betonoberfläche (unter Einhaltung der erforderlichen Betondeckung) und zum Befestigungselement angeordnet werden. Durch diese Maßnahme wird eine frühzeitige Aktivierung der Bewehrung sichergestellt. Außerdem ist auf eine gute Verankerung der Rückhängebügel im Ausbruchkörper zu achten.

Diese Maßnahmen erfordern schon in der Planungsphase eine genaue Kenntnis der Lage des Verankerungspunktes und den Einsatz von Einlegeteilen als Befestigungsmittel. Nachträglich montierte Dübel können nicht richtig zur Bewehrung angeordnet sein und eine evtl. zusätzlich benötigte Bewehrung kann nicht mehr eingebaut werden.

Beispiele für denkbare Verankerungen mit Rand- bzw. Rückhängebewehrung zeigen die Bilder 13 und 14. Die tatsächliche Wirksamkeit dieser und anderer Bewehrungsformen gilt es noch eingehend zu erforschen.

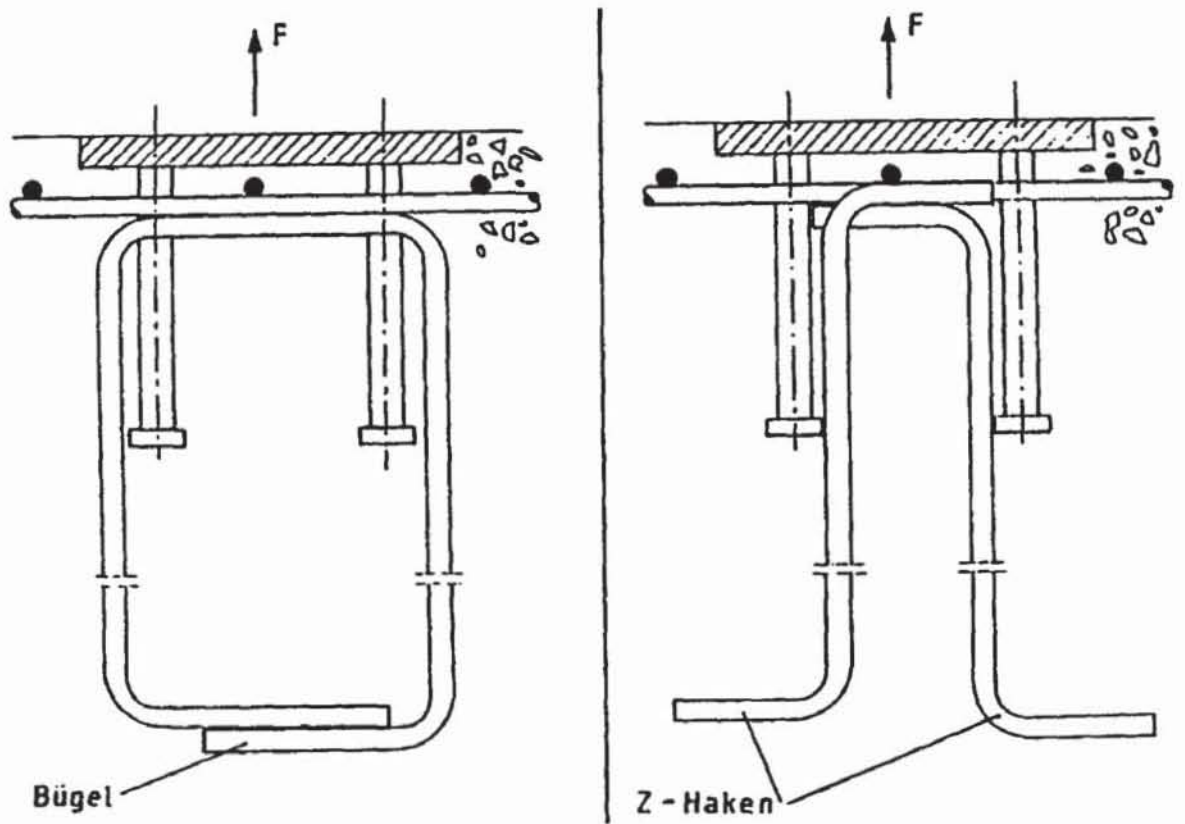


Bild 13: Beispiele für die Rückverankerung axialzugbeanspruchter Kopfbolzenbefestigungen

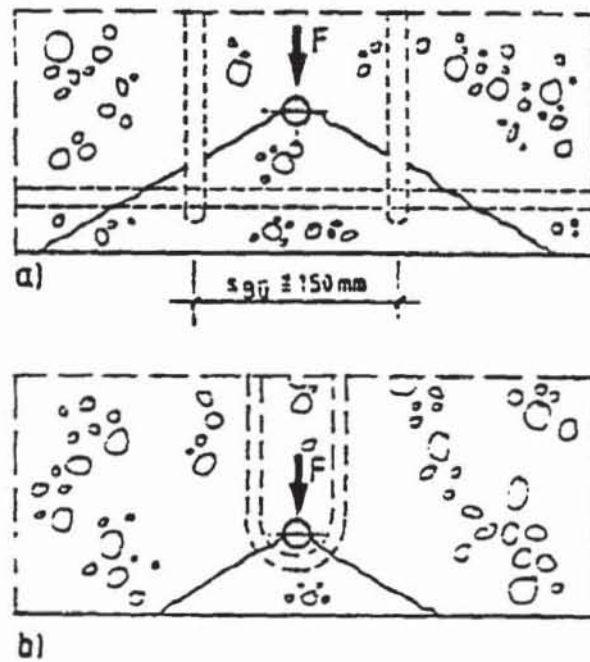


Bild 14: Querszugbeanspruchte Befestigungen mit Rand- bzw. schlaufenförmiger Rückhängebewehrung

Erste Untersuchungen zu dieser Problematik liegen von KLINGNER/MENDONCA und MALIK, 1982 vor. Sie prüften randnah angeordnete Einzelbefestigungen mit Kopfbolzen unter wechselnder zyklischer Querkzugbeanspruchung. Danach ergab sich eine wesentliche Verbesserung des Tragverhaltens und der Energiedissipation, wenn der Kopfbolzen möglichst nahe an der Betonoberfläche und weiterhin in Höhe des Bolzenkopfes durch Bewehrung schlaufenförmig umfaßt wurde (Bild 15).

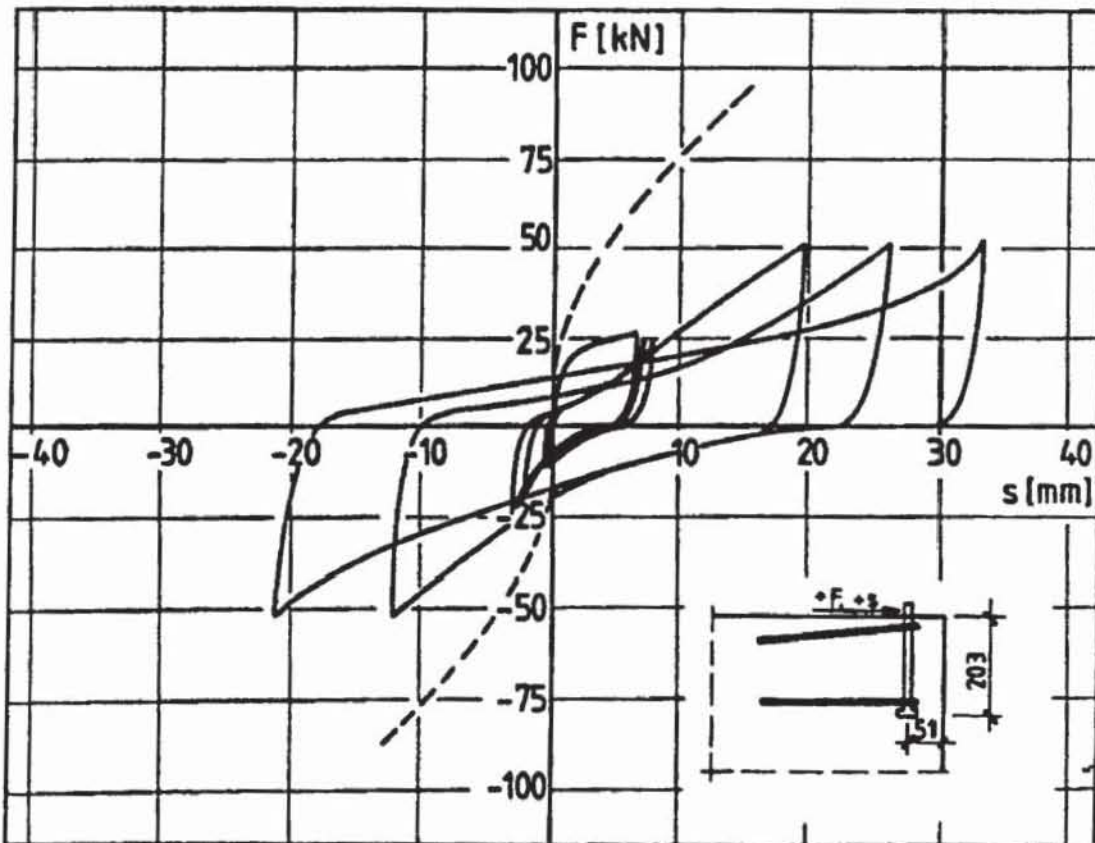
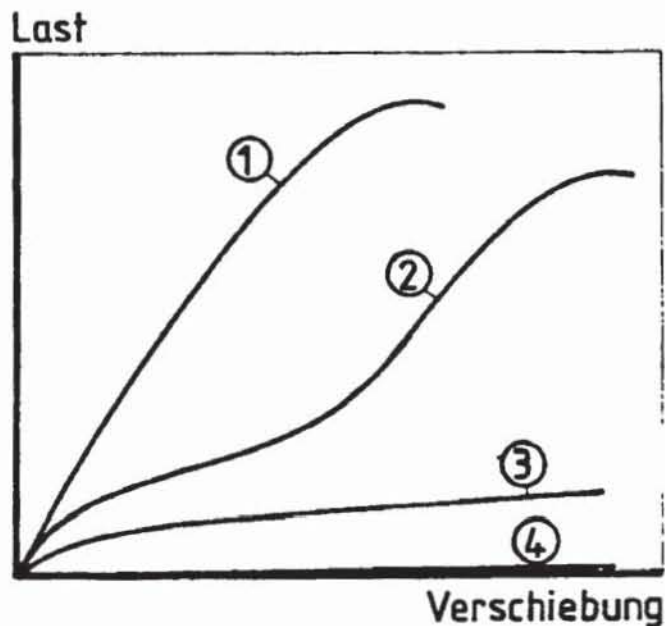


Bild 15: Tragverhalten bei randnahen Kopfbolzen mit zweifacher schlaufenförmiger Rückhängebewehrung

5. EIGNUNG VON BEFESTIGUNGSELEMENTEN

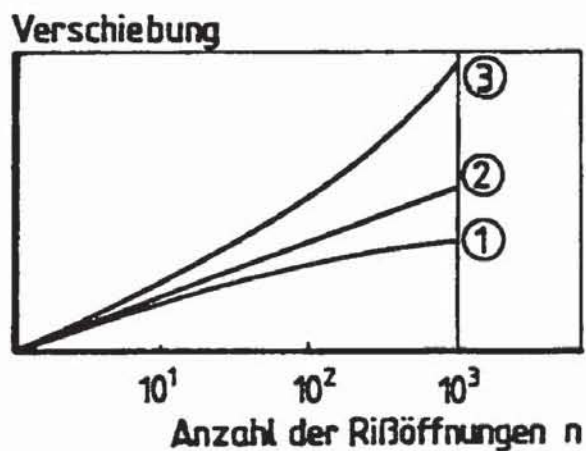
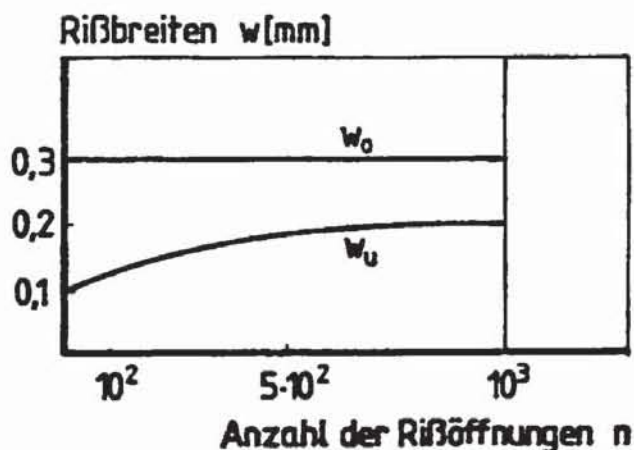
Nach den bisherigen Ausführungen müssen Befestigungselemente, die in der gerissenen Zugzone von Stahlbetonbauteilen angewendet werden sollen, besonders hohen Anforderungen genügen. Ihre Eignung wird in speziellen Versuchen überprüft, wobei ungünstige Anwendungsfälle zugrunde gelegt werden. Die Dübel werden im Schnittpunkt zweier sich kreuzenden Risse (Rißbreite $w \approx 0,3$ mm) bzw. in breiten einachsrig verlaufenden Rissen ($w \approx 0,6 + 0,8$ mm) verankert und auf zentrischen Zug bis zum Bruch beansprucht. Die Bruchlast muß ausreichend hoch sein und die Last-Verschiebungskurven müssen kontinuierlich ansteigen (Linie 1 in Bild 16), horizontale Abschnitte, bzw. Herausziehen bei sehr geringen Lasten (Linie 3) dürfen nicht auftreten.



- ① erwünschter Verlauf
- ②-④ nicht erwünschter Verlauf

Bild 16: Anforderungen an die Last-Verschiebungskurve für die Eignung von Dübeln in der Zugzone

Die Belastung eines Bauteils und die damit auftretenden Rißweiten ändern sich während der Lebensdauer der Befestigung. Zur Nachahmung dieser Verhältnisse werden Dübel in Rissen verankert und mit der 1,3fachen zulässigen Zugkraft belastet, wobei die Risse 10^3 mal geoffnet und geschlossen werden (Bild 17a). Die während der Versuche gemessenen Verschiebungen sollen bei Auftragung im halb-logarithmischen Maßstab linear bzw. besser degressiv verlaufen (Linien 1 und 2 in Bild 17b), jedoch nicht progressiv ansteigen (Linie 3). Weiterhin muß die Resttragfähigkeit ausreichend hoch sein.



- ① erwünschter Verlauf
- ② noch erlaubt
- ③ unerwünschter Verlauf

Bild 17: Zuverlässigkeitsprüfung an Dübeln, die in der Zugzone eingesetzt werden sollen

Einzelheiten der Versuchsdurchführung sind dem Rahmenprogramm des IfBt, 1989, das auf dem Vorschlag von ELIGEHAUSEN, 1986 beruht, zu entnehmen.

Für Befestigungsmittel, die in sicherheitsrelevanten Bereichen, z.B. in Kernkraftwerken, eingesetzt werden sollen, werden zusätzliche Prüfungen gefordert. Dabei ist nachzuweisen, daß in den entsprechenden Versuchen für definierte Grenzrißbreiten (z.B. $\Delta w = 1,5 \text{ mm}$ in Linienrissen, $\Delta w = 0,8 \text{ mm}$ in Kreuzrissen)

- die Tragfähigkeit bei einmaliger Stoßbelastung nach Rißöffnung gleich oder größer ist als $0,6 \cdot F_u$
- das zu berücksichtigende Lastkollektiv mit einer maximalen Zugamplitude $S_0 = 0,6 \cdot F_u / \gamma_B$ ertragen wird (Bild 18)
- die Stoßresttragfähigkeit nach Einwirkung des Lastkollektives noch $0,6 \cdot F_u$ beträgt.

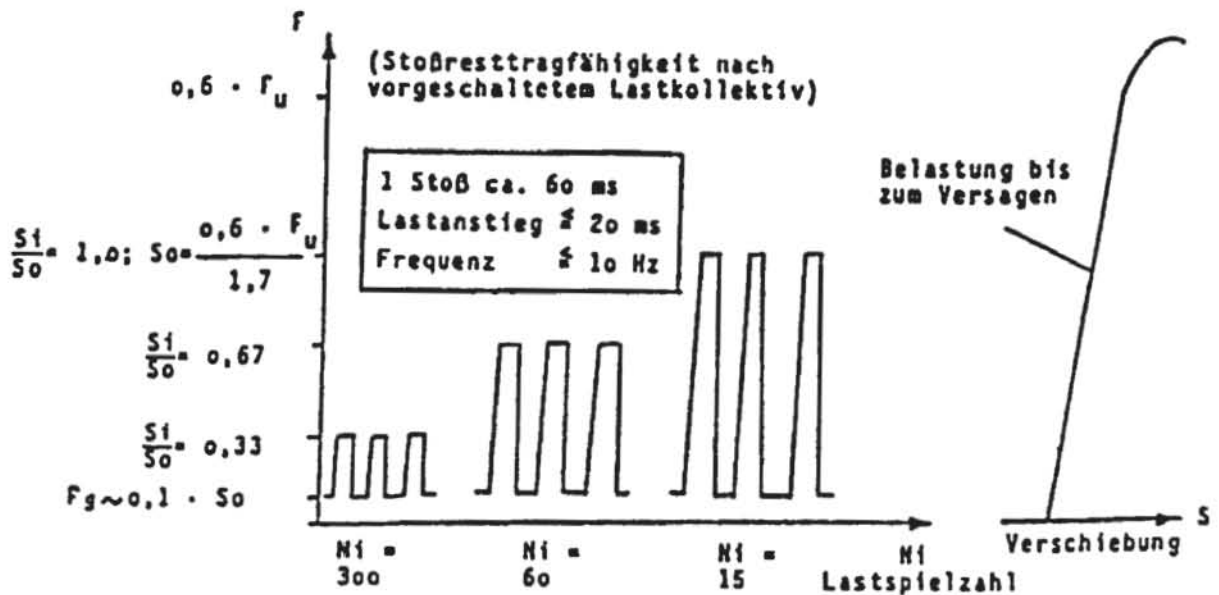


Bild 18: Schema für die Versuche mit "dynamischer" Belastung $F_u = 5\%$ -Fraktile der Tragfähigkeit im ungerissenen Beton

F_u ist dabei die untere 5%-Fraktile der maximalen Dübeltragfähigkeit im ungerissenen Beton. Sie entspricht mindestens dem dreifachen Wert der angestrebten zulässigen Last im gerissenen Beton dividiert durch den Rißbeiwert $\alpha_{RiB} = 0,60$. γ_B stellt den bauartbedingten Teilsicherheitsbeiwert dar. Er ist mit $\gamma_B = 1,7$ anzusetzen.

6. FOLGERUNGEN

Befestigungsmittel unter Erdbebenbeanspruchung müssen rißtauglich sein. Quersuglasten können jedoch von allen Dübeltypen übertragen werden.

Die vom Institut für Bautechnik, Berlin allgemein bauaufsichtlich zugelassenen und rißtauglichen Befestigungssysteme dürfen nur für Verankerungen unter vorwiegend ruhender Belastung eingesetzt werden. Sollen Erdbebenlasten übertragen werden, ist im Einzelfall die Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörden einzuholen.

Alle Befestigungsmittel weisen unabhängig von der Beanspruchungsrichtung ein relativ sprödes Tragverhalten auf. Ein duktileres Verhalten - wie bei Erdbeben gefordert - läßt sich bei Einlegeteilen vermutlich durch unter verhältnismäßig großem Aufwand zusätzlich eingelegte Bewehrung bewerkstelligen. Bei Dübeln hingegen ist dies kaum möglich.

Erdbebentaugliche Dübel mit einem duktileren Tragverhalten sind in der Entwicklung. Solange sie sich allerdings noch nicht auf dem Markt befinden, sollte versucht werden die geforderte Duktilität z. B. durch den Einsatz biegeweicher Ankerplatten zu erreichen (Bild 19).

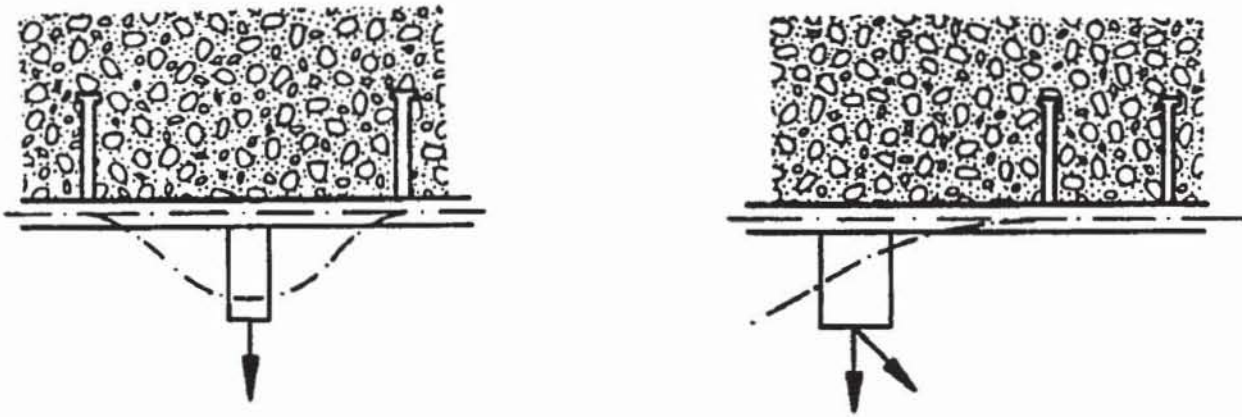


Bild 19: Befestigungen mit nachgiebigen Ankerplatten (qualitativ)

7. LITERATUR

ELIGEHAUSEN, 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.

ELIGEHAUSEN, R.; FUCHS, W.; LOTZE, D.; REUTER, M.: Befestigungen in der Betonzugzone. Beton- und Stahlbetonbau 84, H.2 + H.3, 1989.

ELIGEHAUSEN, R.; FUCHS, W.; MAYER, B.: Tragverhalten von Dübelbefestigungen unter Zugbeanspruchung. Betonwerk + Fertigteil-Technik 54, H.1, 1988.

ELIGEHAUSEN, R.; VINTZELEOU, E.: Behaviour of Metallic Anchors under Generalised Excitations, 1989.

FUCHS, W.; ELIGEHAUSEN, R.: Tragverhalten von Befestigungsmitteln im gerissenen Beton bei Quertzugbeanspruchung. Bericht Nr. 1/41-89/15, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Juli 1989, nicht veröffentlicht.

INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, BERLIN: Rahmenprogramm für Eignungs- und Zulassungsversuche für Dübel, die in der Betonzugzone eingesetzt werden sollen. Fassung Januar 1989, nicht veröffentlicht.

KLINGNER, R.E.; MENDONCA, J.A.; MALIK, J.B.: Effect of Reinforcing Details on the Shear Resistance of Anchor Bolts under Reversed Cyclic Loading. ACI-Journal, January/February 1982.

MAYER, B.; ELIGEHAUSEN, 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.