

Tragverhalten dynamisch beanspruchter Metallspreizdübel im gerissenen Beton

Daniel Schuler, Winterthur
 Peter Hunziker, Spiez

Einbauteile in Schutzbauten, die infolge von Explosionseinwirkungen dynamisch belastet werden, müssen schocksicher befestigt werden. Dafür eingesetzte Metallspreizdübel müssen in der Lage sein, stoßartige Belastungen in den gerissenen Untergrund zu übertragen. Der vorliegende Beitrag beschreibt mit variierender Schockbelastung sowie unterschiedlichen Dübeltypen und -fabrikaten durchgeführte Versuche zum Tragverhalten von kraftkontrolliert spreizenden Metalldübeln im gerissenen Beton und präsentiert gewonnene Erkenntnisse.

Load-Displacement Behavior of Expansion Metal Anchors under Dynamic Loading in Cracked concrete. Metal anchors used as shock-safe fastenings for shelter equipment must be capable of transferring impulse-like, transient forces into cracked concrete. To evaluate suitable anchor systems, AC-Laboratorium Spiez conducts shock-tests with anchors set in wide cracks. The results of anchor tests with varying shock loads and different types of anchors are presented. The analysis of the test results shows that anchor slip caused by the shock depends on the acting load. A simple mathematical function describing this relationship has been found.

1 Einleitung

Einbauteile in Schutzbauten, die für die Funktion der Anlage oder das Überleben der Schutzbauinsassen von Bedeutung sind, müssen schocksicher ausgeführt sein. Die Schocksicherheit beinhaltet neben der Funktion des Einbauteils nach einer Schockbelastung auch dessen Befestigung. Werden Einbauteile mit Dübeln befestigt, muß mit ausreichender Wahrscheinlichkeit sichergestellt sein, daß diese unter Schockbelastung nicht aus dem Bohrloch gezogen werden, sowie daß die bei der Belastung auftretenden Verschiebungen ein zulässiges Maß nicht überschreiten.

Kraftkontrolliert spreizende Dübel können Schocklasten in gerissenen Beton übertragen.

Seit 1977 werden im AC-Laboratorium Spiez Schockprüfungen mit Dübelssystemen durchgeführt. Dabei wurden bis heute etwa vierzig verschiedene Systeme getestet. In bezug auf den Tragmechanismus der Systeme hat sich gezeigt, daß kraftkontrolliert spreizende Dübel des Bolzen- (Bild 1a) oder des Hülsentyps (Bild 1b) sowie Hinterschnittdübel grundsätzlich geeignet sind, Schocklasten in gerissenen Beton zu übertragen. Als ungeeignet haben sich wegsteuert spreizende Einschlagdübel erwiesen [1]. Mit Dübelssystemen, bei denen der Tragmechanismus ausschließlich auf Verbund basiert, konnten die Schockprüfkriterien ebenfalls noch nie erfüllt werden.

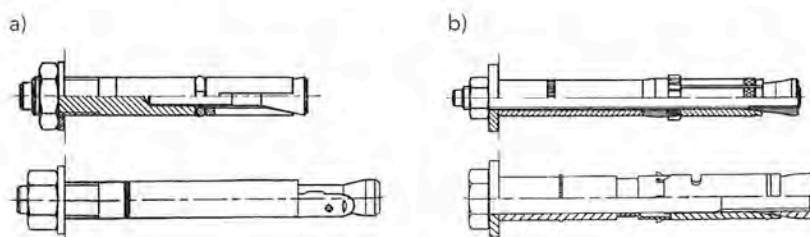


Bild 1 a) Kraftkontrolliert spreizende Dübel des Bolzentyps, b) Kraftkontrolliert spreizende Dübel des Hülsentyps

Fig. 1 a) Torque-controlled expansion anchors of the bolt type, b) Torque-controlled expansion anchors of the sleeve type

2 Schockprüfung von Dübelssystemen

Mit Schockprüfungen von Dübeln wird abgeklärt, ob ein System für den Einsatz in Schutzbauten geeignet ist. Geeignete Systeme müssen die festgelegte Schockbelastung mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit in den gerissenen Untergrund übertragen können. Dabei wird davon ausgegangen, daß durch Waffenwirkungen verursachte Risse im Beton in vielen Fällen durch die Bohrlöcher von Befestigungen verlaufen. Für die Schockprüfung wird deshalb in den Betonprüfkörpern ein Riß erzeugt, der durch die Dübelbefestigung verläuft. Dabei wird von einem Parallelriß mit einer Breite von $w = 1,0 \text{ mm}$ ausgegangen [2].

2.1 Ablauf der Schockprüfung

Für die Prüfung werden die Dübel gemäß den Herstellerangaben in den Betonprüfkörpern versetzt und mit dem vorgeschriebenen Drehmoment vorgespannt. Nach dem

Versetzen wird mit Hilfe von Sprengkeilen ein Riß erzeugt, der durch das Bohrloch des Dübels führt. Die Vorspannkraft des Dübels geht dabei verloren. Die Prüfkörper werden anschließend an einen auf dem Prüftisch der Vertikalschockprüfmaschine (VESPA) montierten Stahlträgerahmen befestigt (Bild 2). Für die Schockprüfung wird der Tisch der servohydraulisch gesteuerten Prüfmaschine gemäß einem vorgegebenen Beschleunigungs-Zeit-Verlauf (Bild 3) schockartig nach oben bewegt [3]. Die dabei vom Betonprüfkörper ausgehende Trägheitskraft bewirkt eine dynamische Zugbelastung der Dübel.

Um die aufgebrauchte dynamische Belastung zu übertragen, müssen die lose im Riß sitzenden Dübel nachspreizen. Die dabei auftretende Verschiebung (s_{dyn}) (Bild 4a) wird mit Hilfe von direkt neben dem Prüfling angebrachten induktiven Wegaufnehmern gemessen. Ungeeignete Dübelssysteme, die den rißbedingten Verlust der Vorspannkraft nicht ausgleichen können, werden durch die Schockbelastung vollständig aus dem Bohrloch ausgezogen (Bild 4b). Aufgrund

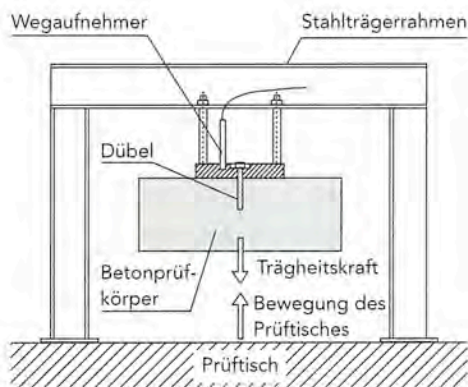


Bild 2 Versuchsanordnung für Dübelschockprüfungen auf der vertikalen Schockprüfanlage VESPA

Fig. 2 Test arrangement for anchor shock testing with the vertical shock testing machine VESPA

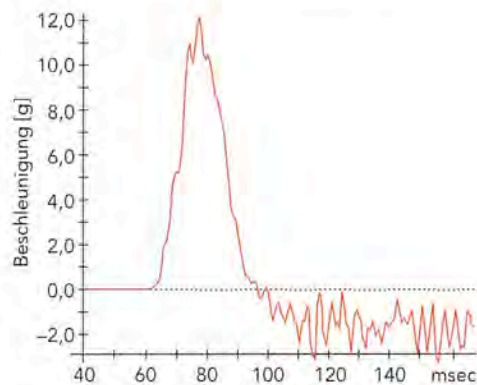


Bild 3 Beispiel für den Beschleunigungs-Zeit-Verlauf des Prüftisches der VESPA

Fig. 3 Example of a measured acceleration-time-history of the VESPA test platform

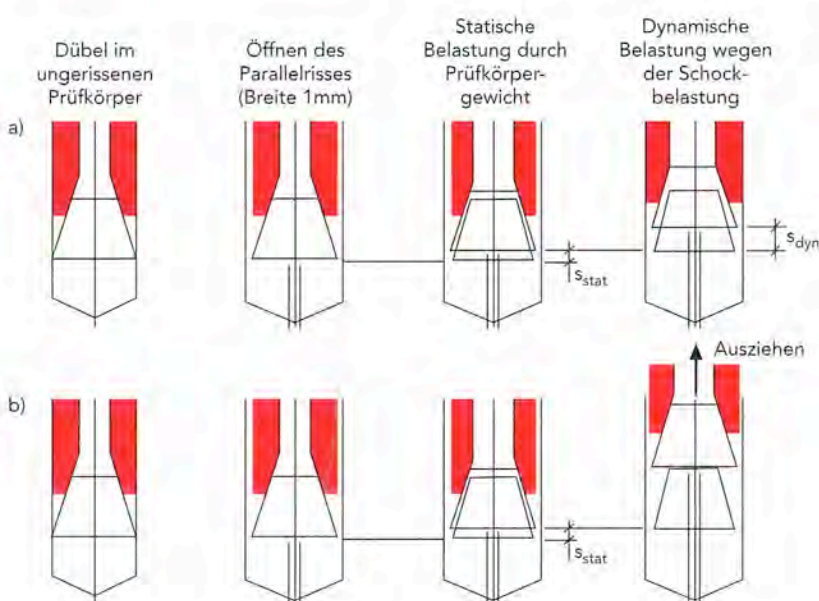


Bild 4 Schockprüfung von Metallspreizdübeln in gerissenen Beton

Fig. 4 Shock testing of expansion metal anchors in cracked concrete

der großen Rißweite, mit der die Prüfungen durchgeführt werden, tritt immer Ausziehen der Dübel als maßgebende Versagensart auf. Bis heute war keines der geprüften Dübel-systeme in der Lage, einen Betonausbruch zu erzeugen.

2.2 Prüfkriterien

Die Kriterien, die für die Beurteilung der Dübel-systeme verwendet werden, sind eine genügend kleine Ausfall- oder Auszugswahrscheinlichkeit (pf = probability of failure) sowie ein günstiges Last-Verschiebungsverhalten bei dynamischer Belastung [4].

- In Bezug auf die Ausfallwahrscheinlichkeit (pf) ist bei einem Konfidenzniveau von 50 % ein Grenzwert von 5 % festgelegt worden ($pf \leq 0,05$). Um das zu erreichen, darf in einer Prüfserie von 14 Dübeln kein Auszug auftreten. Bei 34 Prüflingen ist das Versagen eines Dübels toleriert.
- Bezüglich der durch die dynamische Belastung hervorgerufenen Verschiebung (s_{dyn}) wird beurteilt, ob die Verschiebung nicht generell zu groß ist und ob die Streuung der Werte ein festgelegtes Maß nicht überschreitet. Der 95 %-Fraktilewert ($s_{0,95}$) – d. h. derjenige Wert, der bei der ermittelten Verteilung der Verschiebung von 95 % der Dübel nicht überschritten wird – muß $s_{0,95} \leq 10$ mm betragen. Die Standardabweichung (σ) als Maß für die Streuung der Verschiebungen unter Schockbelastung muß $\sigma \leq 4$ mm sein.

2.3 Last-Verschiebungsverhalten bei Schockbelastung

Die Auswertung zahlreicher Dübel-schockprüfungen hat gezeigt, daß die bei den dynamischen Prüfungen gemessenen Dübel-Verschiebungen am besten mit einer Log.-Normal-Verteilung beschrieben werden können [5]. Im Bild 5 sind die bei einer dynamischen Belastung von $N_{dyn} = 3,75$ kN gemessenen Verschiebungen (s_{dyn}) eines kraftkontrolliert spreizenden Dübels des Hülsentyps mit Durchmesser $d_{nom} = 12$ mm dargestellt. Die 95 %-Fraktile der aus den vierzig Messungen ermittelten Verteilung beträgt $s_{0,95} = 4,3$ mm. Die Standardabweichung der Verteilungsfunktion ist $\sigma = 1,4$ mm.

3 Einflüsse auf das Last-Verschiebungsverhalten

Das Last-Verschiebungsverhalten dynamisch belasteter Dübel ist grundsätzlich von der Belastung, der Dübelkonstruktion und dem Untergrund abhängig:

- Mögliche Einflüsse aus der Belastung sind die Größe der Schocklast, die Form der auf den Dübel wirkenden Stoßbelastung (z. B. Halbsinus-, Dreieck-, Rechteckstoß) sowie die Beschleunigungsänderung (Ruck) des Stoßes.
- In Bezug auf die Dübelkonstruktion können neben den spezifischen konstruktiven Details eines Dübels auch die Dübelbauart (Bolzendübel, Hülsendübel) oder die Dübelgröße (d_{nom}) mögliche Einflußparameter darstellen.
- Einflüsse auf das Last-Verschiebungsverhalten seitens des Untergrunds bestehen primär in bezug auf den Verlauf und die Breite der Risse im Bereich der Dübelbefestigung. Die Betonfestigkeit ist von untergeordneter Bedeutung, da der Betonausbruch nicht die maßgebende Versagensart ist.

Das Last-Verschiebungsverhalten dynamisch belasteter Dübel ist von der Belastung, der Dübelkonstruktion und dem Untergrund abhängig.

Im Rahmen von Grundlagenversuchen wurden im AC-Laboratorium Spiez dynamische Belastungsversuche im gerissenen Beton durchgeführt. Dabei wurde unter anderem der Einfluß der Höhe der Schocklast auf das Verschiebungsverhalten untersucht. Für die Versuche wurden kraftkontrolliert spreizende Dübel-systeme unterschiedlicher Bauart (Bolzen- und Hülsendübel) von verschiedenen Herstellern verwendet. Im weiteren wurden die Versuche mit unterschiedlichen Dübelgrößen durchgeführt. Die Resultate dieser Versuche sind im folgenden beschrieben.

3.1 Einfluß der Belastungshöhe

Um den Einfluß der Höhe der dynamischen Belastung (N_{dyn}) auf die Verschiebung (s_{dyn}) zu untersuchen, wurden Schockversuche mit kraftkontrolliert spreizenden Dübeln mit einem Außendurchmesser $d_{nom} = 12$ mm mit unterschiedlich großen dynamischen Lasten durchgeführt. Die Schocklast wurde durch den Einsatz von Betonprüfkörpern mit unterschiedlicher Masse im Bereich von ca. 3 kN bis 11 kN variiert. Die Spitzenbeschleunigung war bei allen Schocks gleich groß und betrug 12 g (vgl. Bild 3).

Bei den eingesetzten Dübel-systemen handelte es sich um Dübel des Bolzen- und des Hülsentyps, die gemäß den Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für die Befestigung vorwiegend ruhender Lasten eine maximal

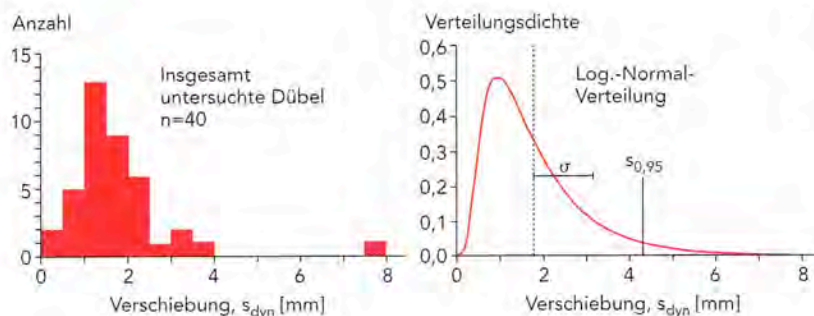


Bild 5 Histogramm und Verteilungsdichte der durch Schockbelastung verursachten Verschiebung eines kraftkontrolliert spreizenden Dübels des Hülsentyps
Fig. 5 Distribution of displacement caused by shock loading for a torque-controlled expansion anchor of sleeve type

zulässige Belastbarkeit von 2,5 kN bzw. 3,5 kN aufweisen. Es wurden Versuche mit insgesamt 108 Dübeln durchgeführt. Im Diagramm, Bild 6, sind die gemessenen Verschiebungen

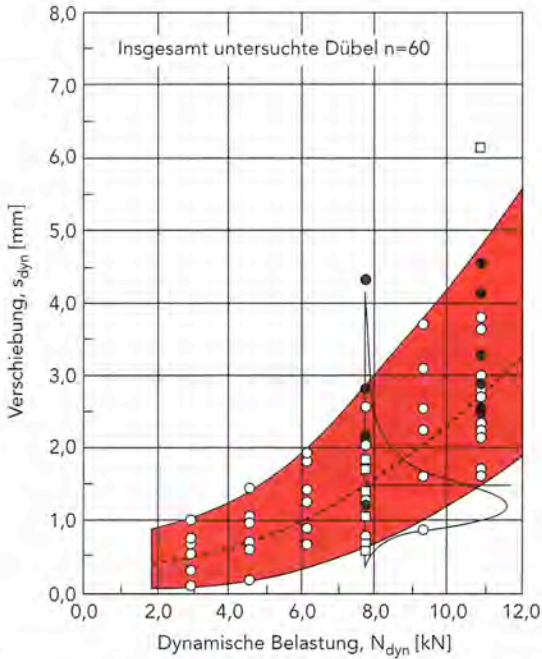


Bild 6 Verschiebung kraftkontrolliert spreizender Dübel mit $d_{nom} = 12$ mm in 1,0 mm Liniennissen in Abhängigkeit der dynamischen Last

Fig. 6 Influence of the dynamic loading on the displacement of torque-controlled expansion anchors with $d_{nom} = 12$ mm, set in 1,0 mm wide line cracks

(s_{dyn}) in Abhängigkeit der aufgetragenen dynamischen Zugbelastung (N_{dyn}) von insgesamt 60 Versuchen aufgezeichnet. Das Diagramm zeigt, daß mit zunehmender dynamischer Belastung größere Verschiebungen resultieren. Ebenso nimmt auch der Streubereich der log.-normal verteilten Meßwerte zu.

Ein klareres Bild ergibt sich aus der explorativen Datenanalyse [6], [7] der gemessenen Verschiebungen. Im Bild 7 sind die gleichen Meßwerte wie im Bild 6 als sogenannte „Box and Whisker Plots“ aufgetragen. Die jeweils größten und kleinsten Werte eines Datensatzes bilden dabei die sogenannten „Whiskers“. Die „Box“ wird durch die beiden Quartile gebildet, in der auch der Median eingezeichnet ist.

3.2 Einfluß des Dübeltyps

Die Versuche wurden mit kraftkontrolliert spreizenden Dübelssystemen des Bolzen- und des Hülsentyps von zwei verschiedenen Herstellern durchgeführt (vgl. Bild 1). Drei der insgesamt vier eingesetzten Dübelmarken zeigten prak-

Die Abhängigkeit der Verschiebung (s_{dyn}) von der dynamischen Belastung (N_{dyn}) kann mit $s_{dyn} = \alpha \cdot N_{dyn}^\beta$ beschrieben werden.

tisch identische Verschiebungen in Abhängigkeit der dynamischen Zugbelastung. Im speziellen konnte auch kein unterschiedliches Tragverhalten zwischen Bolzen- und Hülsendübel nachgewiesen werden. Beim Dübeltyp, der ein deut-

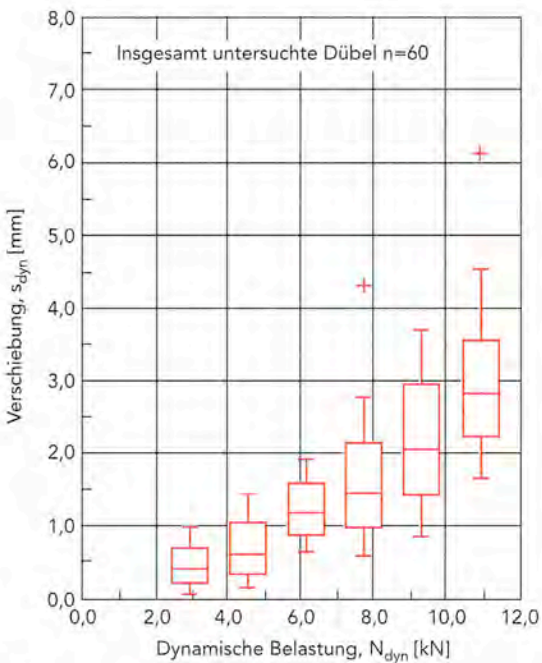


Bild 7 Box und Whisker-Diagramm der Verschiebung in Abhängigkeit der dynamischen Last bei kraftkontrolliert spreizenden Dübel mit $d_{nom} = 12$ mm in 1,0 mm Liniennissen

Fig. 7 Box and whisker plots of the displacement for torque-controlled expansion anchors with $d_{nom} = 12$ mm, set in cracked concrete (crack width $w = 1.0$ mm)

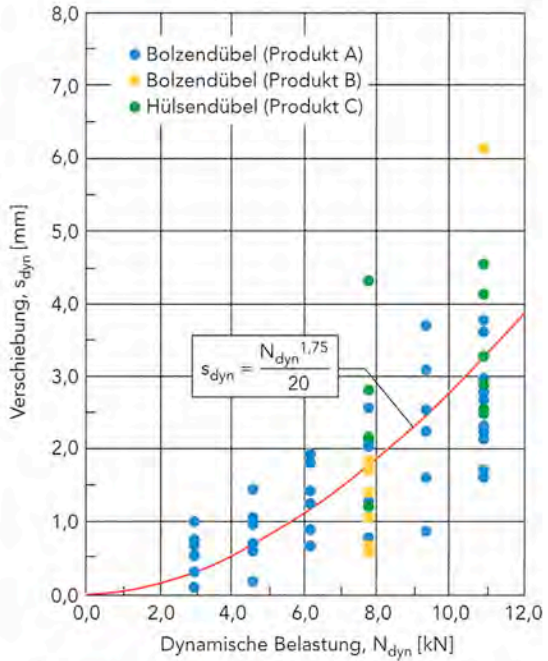


Bild 8 Verschiebung in Funktion der dynamischen Last für kraftkontrolliert spreizende Dübel mit $d_{nom} = 12$ mm und gerissenen Beton mit Rißweite $w = 1,0$ mm

Fig. 8 Displacement of torque-controlled expansion anchors with $d_{nom} = 12$ mm as a function of shock load, for cracked concrete with crack width $w = 1.0$ mm

lich weiches Tragverhalten als die übrigen Produkte aufwies, handelte es sich um einen Hülsendübel. Das abweichende Tragverhalten ist jedoch mit Konstruktionsdetails wie der Geometrie von Konus und Spreizsegmenten sowie den spezifischen Reibungsverhältnissen im Dübel zu erklären.

Im Bild 8 sind die gemessenen Verschiebungen in Abhängigkeit der als zentrische Zugbelastung aufgebrachten Schocklast für die drei Dübelssysteme mit identischem Tragverhalten eingezeichnet. Die Abhängigkeit der Verschiebung (s_{dyn}) von der dynamischen Belastung (N_{dyn}) kann in guter Näherung mit der folgenden Parabel beschrieben werden

$$s_{dyn} = \alpha \cdot N_{dyn}^{\beta}$$

Für die Beschreibung des Tragverhaltens von Dübeln mit Durchmesser $d_{nom} = 12$ mm ist die Konstante mit $\alpha = 1/20$ und der Exponent mit $\beta = 1,75$ einzusetzen (Bild 8). Für Dübel mit weniger steifem Tragverhalten ist eine größere Konstante ($\alpha \approx 1/10$) passender.

3.3 Einfluß des Dübeldurchmessers

Der Bereich, in dem kraftkontrolliert spreizende Dübel in der Lage sind nachzuspreizen, ist sehr stark von der Dübelgröße abhängig. Im Fall von großen Risseweiten (w), wie sie nach Explosionseinwirkungen in Schutzbauten vorkommen ($w \approx 1$ mm), sind große Spreizwege der Dübel notwendig, damit die Schocklasten in den Untergrund übertragen wer-

den können. Der Dübeldurchmesser (d_{nom}) hat aus diesem Grund einen bedeutenden Einfluß auf das Tragverhalten. Im Rahmen der beschriebenen Versuche wurden deshalb Dübel mit unterschiedlichen Außen- bzw. Bohrlochdurchmessern (d_{nom}) getestet.

Im Diagramm, Bild 9, sind neben den Verschiebungen der Dübel mit $d_{nom} = 12$ mm auch die Messungen an Prüflingen mit $d_{nom} = 8$ mm eingetragen. Wie erwartet, traten bei den kleineren Dübeln vor allem bei großen Schocklasten erheblich größere Verschiebungen auf. Bei $N_{dyn} = 9,3$ kN wurden zwei Dübel aus dem Bohrloch ausgezogen.

Für die mathematische Beschreibung der Verschiebung (s_{dyn}) in Funktion der dynamischen Belastung (N_{dyn}) gemäß der obigen Gleichung muß ein größerer Exponent (β) eingesetzt werden. Aufgrund der Versuchsergebnisse wird die nachfolgend angegebene Abhängigkeit des Exponenten (β) vom Durchmesser (d_{nom}) vorgeschlagen:

$d_{nom} = 8$ mm	$\beta = 2,25$
$d_{nom} = 10$ mm	$\beta = 2,00$
$d_{nom} = 12$ mm	$\beta = 1,75$

4 Zusammenfassung

Im Rahmen von Grundlagenforschungen zum Tragverhalten von Metallspreizdübeln unter Schockbelastung wurden im AC-Laboratorium Spiez (CH) insgesamt 108 Belastungsversuche mit Dübeln verschiedener Typen und Hersteller durchgeführt. Dabei waren Versuchsaufbau und Prüfmethode gleich wie bei den Dübelschockprüfungen, welche das Labor als akkreditierte Prüfstelle im Auftrag des Bundesamtes für Zivilschutz seit mehreren Jahren durchführt. Die Versuche wurden auf der servohydraulisch gesteuerten Vertikal-Schockprüfanlage (VESPA) des AC-Laboratoriums durchgeführt.

Im Lastbereich 3 bis 11 kN hängt die Verschiebung von der zentrisch in Achsrichtung wirkenden Schockbelastung ab.

Für die Versuche wurden kraftkontrolliert spreizende Dübel des Bolzen- und des Hülsentyps verschiedener Fabrikate verwendet. Durch die Verwendung von Prüfkörpern mit unterschiedlicher Masse wurde die als Massenträgheitskraft wirkende Schockbelastung in einem großen Bereich variiert. Im Maximum betrug die dynamische Belastung mehr als das Vierfache des für das Dübelssystem maximal zulässigen Tragverstands bei vorwiegend ruhender Belastung.

Im untersuchten Lastbereich von 3 bis 11 kN ergab die Analyse der Versuchsergebnisse eine klare Abhängigkeit der bei der dynamischen Belastung auftretenden Verschiebung von der Größe der zentrisch in Achsrichtung wirkenden Schockbelastung. Es handelt sich dabei näherungsweise um eine quadratische Funktion (Exponent $\beta = 2,0$), wobei für größere Dübel ($d_{nom} = 12$ mm) der Exponent $\beta = 1,75$ und für kleinere Dübel ($d_{nom} = 8$ mm) der Exponent $\beta = 2,25$ ermittelt wurde. Eine Abhängigkeit des Tragverhaltens vom Dübeltyp (Bolzen- oder Hülsendübel) oder vom Dübelfabrikat wurde nicht gefunden.

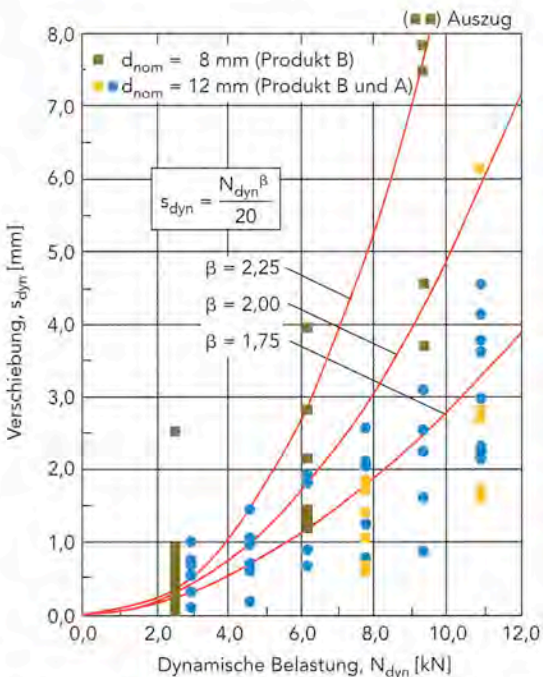


Bild 9 Verschiebung in Funktion der dynamischen Last für kraftkontrolliert spreizende Dübel mit verschiedenen Durchmessern im gerissenen Beton ($w = 1,0$ mm)

Fig. 9 Displacement of torque-controlled expansion anchors with different diameters as a function of shock load, for cracked concrete ($w = 1.0$ mm)

Literatur

- [1] Hunziker, P.: Prüfung und Zulassung von Dübeln für schocksichere Befestigungen, Gruppe für Rüstungsdienste, AC-Laboratorium Spiez, Bericht Nr. 8461, 1984.
- [2] Bachmann, K. und Hunziker, P.: Schockprüfung von Dübelssystemen, AC-Laboratorium Spiez, Bericht Nr. 9422, 1994.
- [3] Hunziker, P.: VESPA: A servohydraulic shock testing machine, in Jones, N. et al. (Eds.) Structures under Shock and Impact IV, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, 1996.
- [4] Schuler, D.: Grundlagen der Dübelschockprüfung, AC-Laboratorium Spiez, Bericht Nr. 9710, 1997.
- [5] AC-Laboratorium Spiez: Schlupfverhalten von Dübelssystemen bei dynamischer Belastung, Bürkel Baumann Schuler, Winterthur, 1994.
- [6] Tukey, J. W.: Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley, 1997.
- [7] Chambers, W. S. et al.: Graphical Methods for Data Analysis, Wadsworth International/Duxbury Press, 1983.

Schlüsselwörter:

Metallspreizdübel – Dynamische Beanspruchung – Tragverhalten – Rißbildung



Dipl.-Ing. Daniel Schuler
Bürkel Baumann Schuler
Ingenieure+Planer AG
Gertrudstraße 17
CH-8400 Winterthur



Dipl.-Ing. Peter Hunziker
AC-Laboratorium Spiez
Gruppe Rüstung
CH-3700 Spiez