

TUM · Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung
Baumbachstraße 7 · D-81245 München

Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung/Zukunft Bau

Dr.-Ing. M. Brüggemann

Deichmanns Aue 31-37

53179 Bonn

Lehrstuhl für Baustoffkunde
und Werkstoffprüfung
Universitäts- Professor
Dr.-Ing. Ch. Gehlen

Baumbachstraße 7
D-81245 München

Tel. +49 (0) 89-289-2 70 61
Fax +49 (0) 89-289-2 70 64
cbm@cbm.bv.tum.de

AG 3 Stahl und Korrosion

München, den 06.08.10

KURZBERICHT

Nr.: 30-F-0016

Forschungsarbeit: „Untersuchungen über das Temperaturverhalten von geklebten
Betonstahlverbindungen“

Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des
Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert

Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7-07.24 / II 2 – F20-07-4

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren

Projektleitung: Dr.-Ing. Andreas Volkwein

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Marc Zintel

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Das Verbinden/ Stoßen von Betonstahl durch mechanische Verbindungselemente ist in Deutschland nach DIN 1045 vorgesehen und wird auch international in der Praxis häufig eingesetzt. Zur Zeit verfügbare Techniken sind z.B. das Aufpressen einer Stahlmuffe oder das Anbringen von Gewinden an den Betonstahlenden und deren Verschraubung über eine Gewindemuffe oder das Einschrauben von spitzen Bolzen quer in eine Muffe, um so die Betonstahlenden fixieren zu können.

Wegen einiger ungünstiger Eigenschaften solcher Verbindungen (vor allem Schlupf mit der Folge von Betonrissen sowie schnelle Ermüdung bei Dauerschwingbeanspruchung) wurde mit dieser Forschungsarbeit der Idee nachgegangen, Betonstähle in innen profilierte Stahlhülsen mit heute verfügbaren schnell abbindenden Kunstharzmörteln einzukleben. Für die beiden genannten Nachteile bei herkömmlichen Verbindungen wurden hiermit günstigere Eigenschaften erwartet. Dabei wurde angestrebt wurde, die volle Betonstahlfestigkeit ausnutzen zu können.

Ähnliches wurde schon früher öfters verfolgt, sowohl mit Zementmörtel als auch mit Kunstharzmörtel als Kleber. Bisher haben sich diese ersten Ansätze aber nicht durchgesetzt.

Ein solcher Verbund zu Betonstahl ist bezüglich der Kraftübertragung sehr ähnlich wie bei Klebe-/ Verbundankern / -dübeln wie auch beim heute bereits bauaufsichtlich zugelassenen Einkleben von Betonstahl in Bohrungen im Beton. Hierzu ist umfangreiche Literatur vorhanden. Eine Reihe von Kenntnissen aus diesen Bereichen können auf die Tragwirkung zwischen Hülse und Betonstahl übertragen werden. Neben der allgemeinen Nachweise einer ausreichenden Tragfähigkeit (statisch, dynamisch) galt es danach vor allem, das Verhalten in der Wärme genauer zu erfassen, wozu das Kriechen wie auch die Dauerstandfestigkeit gehören. Zur Einwirkung erhöhter Temperaturen gehört auch das Verhalten unter Brandeinwirkung. Damit verbunden ist u.U. auch eine Optimierung des Klebemörtels. Es galt also, die günstigen Eigenschaften und Vorteile einer solchen Verbindung zu belegen und mögliche ungünstige Eigenschaften herauszuarbeiten und ggf. Optimierungen für eine Einführung in die Praxis zu erreichen. Das heißt auch, ggf. Grundlagen für Normen und Richtlinien zu schaffen.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

Zur experimentellen Erforschung einer solchen Verbindungsart stand ein von der Fa. Pfeifer, Memmingen entwickelter Prototyp in Form einer Stahlhülse mit Innengewinde zur Verfügung. Der Ringspalt zwischen Hülse und Betonstahl sollte zunächst mit einem bereits bauaufsichtlich zugelassenen Reaktionsharzmörtel (a) verpresst werden. In Bild 1 ist der Aufbau der verwendeten Klebeverbindung skizziert. Beispiele für die Hülsenabmessungen sind bei einem Betonstahl-Durchmesser 8 mm: $D_a=18$, $L=210$ mm, bei 28 mm: $D_a=51$, $L=450$ mm. Der Ringspalt betrug als lichtet Maß zwischen 1 und 2 mm.

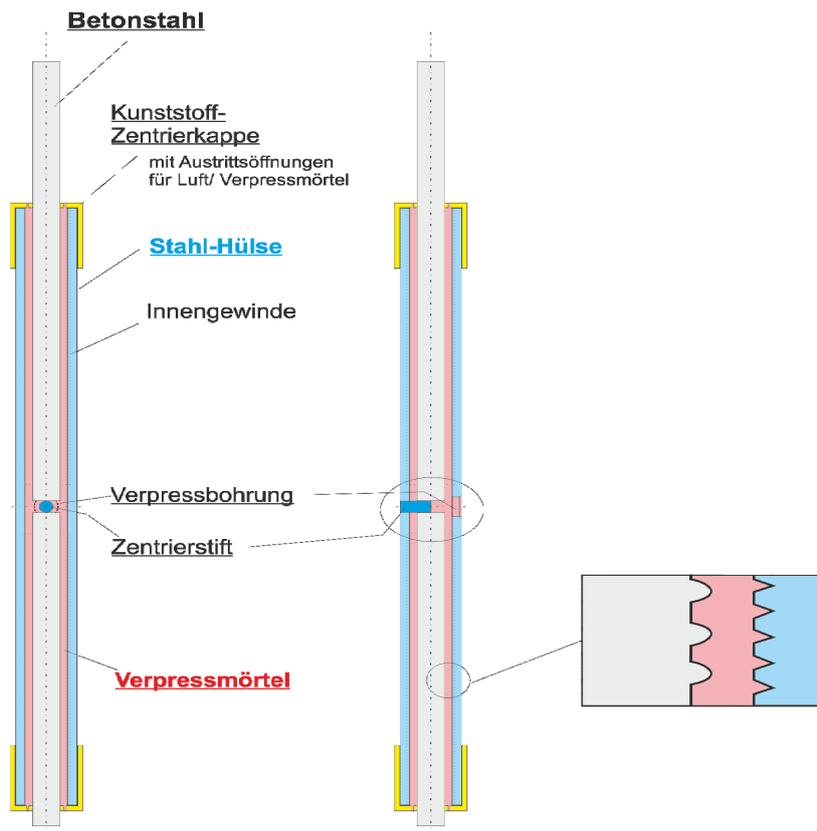


Bild 1: Prinzipskizze der verwendeten Klebeverbindung (Prototyp-Entwicklung der Fa. Pfeifer, Memmingen)

Zunächst wurde ein für Dübel zugelassener Reaktionsharzmörtel (a) zum Verpressen verwendet. Damit wurden der Schlupf und die Kurzzeit-Zugfestigkeiten sowohl bei Raumtemperatur als auch in der Wärme (bis 80°C) ermittelt. In Dauerschwingversuchen wurde damit auch die Wöhlerlinie bestimmt. Ferner wurden Dauerstandversuche gefahren, bei denen das Kriechen gemessen wurde. Die anfangs ebenfalls angestrebte Ermittlung von Zeit-/Dauerstandfestigkeiten ergaben bisher keine Ergebnisse, weil noch keine Brüche aufgetreten waren. Im Wesentlichen wurde festgestellt, dass der eingesetzte Mörtel wegen eines zu großen Schlupfes beim Kurzzeit-Zugversuch wie auch durch Kriechen jeweils bereits bei Raumtemperatur (in der Wärme erst recht) ungeeignet ist. Die Dauerschwingversuche ergaben das erwartete Verhalten, nämlich keine Beeinträchtigung gegenüber ungestoßenem Betonstahl.

Wegen der festgestellten sehr hohen Nachgiebigkeit dieses Mörtels, vor allem bei Wärmeeinwirkung, wurden Entwicklungen von geeigneteren Mörteln vorangetrieben. Als vielversprechend erwies es sich, den Spalt zwischen Betonstahl und Stahlhülse mit Stahlschrot zu füllen und den verbliebenen Hohlraum mit Kunstharz zu verpressen (im Betonbau als „Prepact-Verfahren“ bekannt, siehe (c2) in Bild 2). Auf diese Weise kann der erforderliche Korn-zu-Korn-Kontakt erreicht werden und das Polymer ist lediglich zur Fixierung nötig, was sich darin zeigte, dass so selbst ohne Kunstharz im Kurzzeitzugversuch Betonstahlbrüche erzielt wurden. Das Einbringen des Stahlschrots in den Ringspalt hatte allerdings noch Laborcharakter. Hier müssen noch praxistaugliche Lösungen erarbeitet werden.

In Zusammenarbeit mit dem Reaktionsharzmörtel-Hersteller wurde weiterhin ein sog. Sonderinjektionsmörtel (b3) mit gröberem Quarz-Zuschlag entwickelt. Dieser lieferte zwar ein etwas günstigeres Verhalten, jedoch im Vergleich zur verpressten Stahlschrot-Packung immer noch unbefriedigende Ergebnisse, wenn man längere Zeiträume betrachtet, Bild 2.

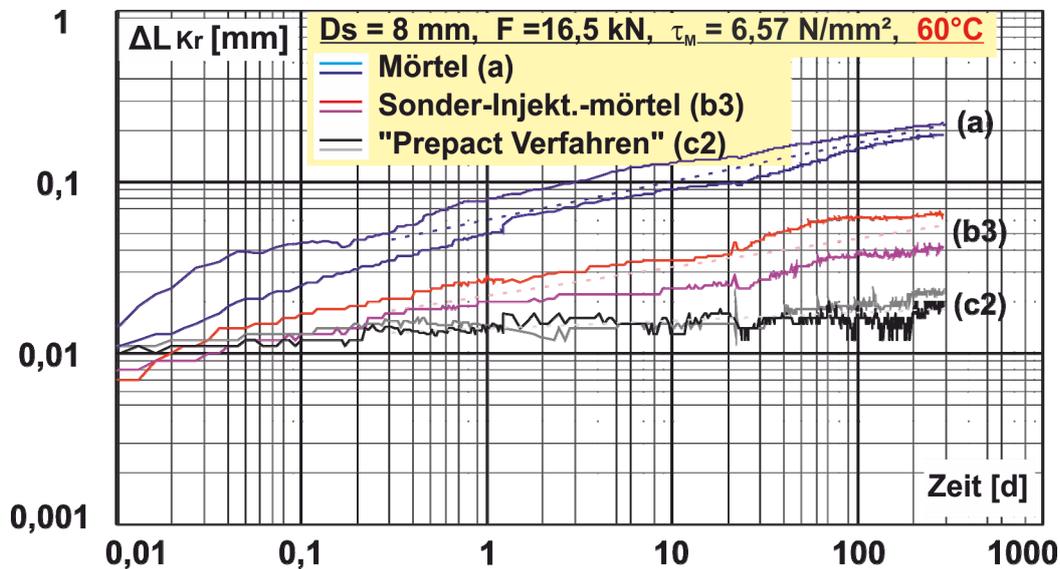


Bild 2: Kriechen bei Betonstahldurchmesser 8 mm bei einer Zugspannung im Betonstahl von 328 N/mm^2

Bei der Auswertung der Kriechversuchsergebnisse zeigte sich, dass der Approximationsansatz nach Norton (1929)/ Baily (1935) recht gut zutrifft. Eine leichte Abhängigkeit des Steigungsexponenten u.a. von der Temperatur kommt noch hinzu.

Aus Verbindungen mit verpresster Stahlschrot-Packung wurden auch zwei Paare von Stahlbetonbalken hergestellt, die in zwei Brandversuchen bis zum Bruch geprüft wurden (MPA der TU Braunschweig). Die Balkenbemessungen wurden für F60 bzw. F90 ausgelegt. Das Versagen von Klebestößen in Feldmitte stellte sich bei Temperaturen in der Verbindung zwischen 400 und 500°C ein. Im Schubbereich ergab sich kein Versagen. Bei den zwei unterschiedlich gewählten Betondeckungen ergaben sich so Feuerwiderstandsdauern von knapp unter bzw. etwas über F60.

An den im Brandversuch nicht gebrochenen (nicht in Feldmitte gelegenen) jedoch ebenfalls erhitzten Verbindungen wurden anschließend die Rest-Zugfestigkeiten ermittelt. Die Festigkeitseinbußen betragen erstaunlicherweise nur zwischen 0 und 19%.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Als generelle Schlussfolgerung ergibt sich bisher, dass die Realisierung eines Klebestoßes von Betonstahl, wie er hier angedacht war, mit den z.Zt. gängigen Reaktionsharz-Mörteln, wie sie z.B. auch für Klebanker/ -dübel verwendet werden, nicht machbar ist. Der Hauptgrund sind die insbesondere bei höheren Temperaturen (z.B. schon bei Sonneneinstrahlung) auftretenden Kriechverformungen unter Zugbelastung. Sie würden eine zu starke Rissbildung im Beton verursachen.

Eventuell ließen sich noch Verbesserungen dadurch erreichen, dass z.B. die Stoßlänge deutlich vergrößert wird und gleichzeitig die Muffen-/ Hülseform so angepasst wird, dass die Rissbildung im Beton über größere Länge verteilt wird, um so die Rissbreiten begrenzen zu können. Eine deutlich bessere Feuerwiderstandsdauer erscheint aber dennoch kaum erreichbar.

Wie aus den Untersuchungen ersichtlich wurde, ist von besonderer Bedeutung, wie gut und wie sicher die Korn-zu-Korn-Abstützung im Klebemörtel aktivierbar ist, wobei die Körner selbst nicht nachgeben dürfen, z.B. infolge zu geringer Eigenfestigkeit. Der bei den durchgeführten Untersuchungen eingesetzte Stahlschrot erscheint als möglicher Lösungsweg. Eventuell ist hier eine nicht-kugelige Form sogar noch günstiger, was noch zu prüfen wäre. Der Kleber selbst, d.h. das Reaktionsharz darf nur zur Lagefixierung angesetzt werden und sollte nicht als „Schmierstoff“ zwischen den Körnern wirken. Letzteres dürfte insbesondere im Brandfall von Bedeutung sein. Weit vielversprechender wären hier sicher auch anorganische Kleber/ Feinstmörtel, wenn sie mit ausreichend hoher Geschwindigkeit erstarren/ erhärten würden. Nicht allzu abwegig erscheint auch ein Verguss mit einer bei nicht zu hoher Temperatur schmelzbaren Metalllegierung, was bei Seilverankerungen schon realisiert wurde.

Das baustellengerechte Herstellen einer Korn-zu-Korn-Packung in einem engen Spalt dürfte jedoch ein größeres Problem sein. Genau hier müssten deshalb zunächst weitere Entwicklungen ansetzen. Wenn diesbezüglich ein praktikables Verfahren bestehen würde, hätte die Klebeverbindung von Betonstahl Zukunftschancen.

Aus den Untersuchungsergebnissen können auch für andere Bereiche wertvolle Anregungen entnommen werden, insbesondere für die Verankerung von Betonstahl oder Dübeln in z.B. Beton.

Danksagung:

Für die Durchführung dieser Forschungsarbeit hat die Firma Pfeifer Seil- und Hebeteknik GmbH, 87700 Memmingen profilierte Stahlhülsen sowie Kleber/ Reaktionsharz-Mörtel (Fa. Fischerwerke GmbH&Co KG, 79211 Denzlingen) zur Verfügung gestellt und einen Teil der Kosten für die Brandversuche übernommen. Hierfür gebührt der Firma ein besonderer Dank.