

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
(Amtliche Materialprüfungsanstalt)
Universität Karlsruhe (TH)

Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. J. Blaß und Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Saal

ZUSAMMENFASSUNG

zum Bericht Nr.: 071501

Trag- und Verformungsverhalten querkraftbeanspruchter dübelartiger Verbindungen im Stahlbau

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30L
10829 Berlin

Grundlage: Vertrag vom 03.01.2007

Diese Zusammenfassung des Berichts Nr. 071501 umfasst 10 Seiten.

Ausgabedatum: 30.01.2008

1 Vorbemerkung

Der Verwendbarkeitsnachweis dübelartiger Verbindungselemente für Verbindungen an Hohlprofilen und anderen rückseitig schwer zugänglichen Konstruktionen ist durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu erbringen. Bei den genannten Verbindungselementen erfolgt die Fixierung durch Spreizung einer Hülse mittels eines im unzugänglichen Bereich der Verbindung liegenden Konus.

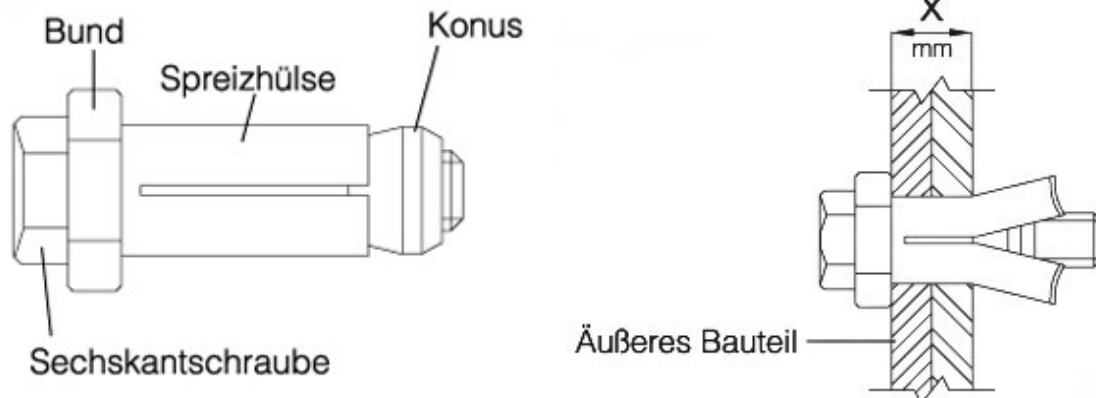


Abbildung 1.1: Aufbau und Anwendung dübelartiger Verbindungselemente im Stahlbau (aus [2])

Die auf der unzugänglichen Seite fehlende Auflage ermöglicht bei querkräftbeanspruchten dübelartigen Verbindungen unter Gebrauchslastniveau größere Verformungen als bei Verbindungen mit rohen Schrauben oder gar Passschrauben. Andererseits führt die sich spreizende Hülse zu einer Verklemmung im Bohrloch, die die Verformungen behindert.

Erneute Fragestellungen zum Trag- und Verformungsverhalten der oben genannten Verbindungselemente haben sich insbesondere im Zusammenhang mit der Verwendung dieser Verbindungselemente bei der Kattwykbrücke in Hamburg ergeben. Bei den dort ausgeführten Anschlüssen traten von den Ausführenden nicht erwartete und als groß angesehene Verformungen auf, deren Einfluss auf die tatsächliche Tragfähigkeit der Anschlüsse unklar blieb.

Durch das Forschungsvorhaben sollen detaillierte Aussagen zum Trag- und Verformungsverhalten und somit auch zur Gebrauchstauglichkeit dübelartiger Verbindungen im Stahlbau im Vergleich zu üblichen Schraubenverbindungen gewonnen werden.

Hierzu sollen folgende Einflüsse untersucht werden:

- Einfluss des Lochdurchmessers auf die Abscher- und Lochleibungstragfähigkeit
- Einfluss der Klemmdicke auf die Lochleibungstragfähigkeit bei ungestützten Verbindungen
- Einfluss der Hülseausbildung
- Vergleichsversuche an ungestützten Verbindungen mit rohen Schrauben und Passschrauben mit etwa gleichem Durchmesser zum Vergleich der Verformungen

Die Stahlbaudübel setzen sich zusammen aus einer Sechskantschraube mit Gewinde bis Kopf DIN EN ISO 4017 der Festigkeitsklasse 8.8, einer konischen Mutter und einer Hülse mit Bund. Es werden Verbindungselemente für die Schraubengrößen M8, M10, M12, M16 und M20 hergestellt. Bei den Verbindungselementen für die Schraubengrößen M16 und M20 ist bei Stahlbaudübeln nach [1] der Bund von der Hülse getrennt, und zwischen Bund und Hülse ist zusätzlich ein Gummiring angeordnet. In den Versuchen mit Schraubenverbindungen wurden Sechskantschrauben mit Schaft DIN EN ISO 4014-M20x60-8.8 in Verbindung mit Muttern DIN EN ISO 4032-M20-8 und Scheiben DIN EN ISO 7089-20 sowie Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf DIN EN ISO 4017-M24x60-8.8 in Verbindung mit Muttern DIN EN ISO 4032-M24-8 und Scheiben DIN EN ISO 7089-24 verwendet.

2 Versuchsdurchführung

Die Versuche zum Trag- und Verformungsverhalten der Stahlbaudübel wurden an einschnittig ungestützten Verbindungen durchgeführt. Alle Verbindungsmittel wurden mittels Drehmomentschlüssel angezogen. Die Anzugsmomente für die Stahlbaudübel wurden gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung angesetzt:

- Stahlbaudübel M12: 80Nm
- Stahlbaudübel M20: 300Nm

Für die Schrauben (galvanisch verzinkt) wurden die Anzugsmomente wie folgt festgelegt:

- Schrauben M20: 300Nm
- Schrauben M24: 500Nm

Zur Messung der Verformungen und lokalen Verdrehungen der Probekörper wurden Messbrücken an den Laschen befestigt, deren Messpunkte mittels Videoextensiomter aufgezeichnet wurden. Ergänzend wird jeweils die Verdrehung des Schaftes der Sechskantschraube sowie – soweit geometrisch möglich – die Verdrehung des schraubenkopfseitigen Blechs neben dem Schraubenkopf und am freien Ende aus den Verschiebungen berechnet. Die Verdrehungen der obersten und untersten Messbrücke wurden ebenfalls berechnet.

Die Ergebnisse der Versuche sind in Abschnitt 3 aufgeführt. Aus den gemessenen Abmessungen der Laschen sowie den Ergebnissen der Zugversuche wurden die charakteristischen Werte der Tragfähigkeit auf Abscheren, Lochleibung und Fließen im Nettoquerschnitt errechnet und in den Ergebnistabellen des Abschnitts 3 den Versuchsergebnissen gegenübergestellt. Die sich aus [5] und [6] für einschnittig ungestützte Verbindungen ergebenden reduzierten Bemessungswerte der Tragfähigkeit infolge der Begrenzung der zulässigen Ausnutzung auf 83% der rechnerischen Lochleibungstragfähigkeit nach Element (807) sowie des für einschnittig ungestützte Verbindungen anzusetzenden größeren Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_M = 1,25$ für die Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit gegen Abscheren nach Element (804) wurden dabei nicht berücksichtigt. Ebenfalls wurden die Einschränkungen des Elements (807) hinsichtlich der Randabstände vernachlässigt.

Die Lochleibungstragfähigkeit der Verbindungen mit Stahlbaudübeln ergibt sich gemäß [1] bis [4] zu

$$V_{l,calc} = R_{eH} \cdot \alpha_l \cdot t \cdot d_{H\ddot{u}}$$

mit

$$\alpha_l = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot \varepsilon - 0,3 \\ 2,0 \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 \\ 2,0 \end{array} \right.$$

und dem mittleren Hüsendurchmesser $d_{H\ddot{u}}$ gemäß Anlage 1. Diese Regelung entspricht der in DIN 18800-1:1990-11, Element (805) für Schraubenverbindungen angegebene Regelung, wobei diese gemäß [1] bis [4] für Verbindungen mit Stahlbaudübeln für Randabstände bis $e_2 = 1,2 d_L$ angewendet werden darf. DIN 18800-1 sieht einen Mindestwert von $e_2 = 1,5 d_L$ vor. Für Randabstände $e_2 = 1,2 d_L$ sind die Werte auf 2/3 zu reduzieren.

Die Abschertragfähigkeit der Stahlbaudübel $V_{a,calc}$ wurde aus [1] übernommen. Die Abschertragfähigkeit und die Lochleibungstragfähigkeit der Verbindungen mit Schrauben wurde nach DIN 18800-1 ermittelt.

Die Tragfähigkeit im Nettoquerschnitt wurde mit

$$N_{y,calc} = R_{eH} \cdot (e_{2,1} + e_{2,2} - d_L) \cdot t$$

berechnet.

Die Zugversuche an Werkstoffproben wurden nach DIN EN 10002-1 durchgeführt.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Variation des Lochdurchmessers

In der ersten Versuchsserie wurde der Lochdurchmesser in den Laschen variiert. Die Blechdicke betrug einheitlich bei 15mm.

In den Versuchen 1 bis 19 trat das Versagen durch Abscheren ein. Während das Abscheren bei den Versuchen mit Stahlbaudübeln M12 (Versuche 1 bis 9) rechtwinklig zur Schraubenchse durch Schraube und Hülse erfolgte, kam es bei den Versuchen mit Stahlbaudübeln M20 zu einer geneigten Scherfläche infolge einer Kombination aus Zug und Querkraftbeanspruchung nach Verdrehung (Abbildung 7 rechts der Anlage 5). In den Versuchen 20 bis 22mm (Stahlbaudübel M20, Lochdurchmesser 40mm) kam es zu einem Herausziehen der Stahlbaudübel aus der Unterkonstruktion (Abbildung 8 der Anlage 5).

3.2 Variation der Klemmdicke

In der zweiten Versuchsserie wurden Stahlbaudübel in Verbindungen mit Klemmdicken 2x3mm und 2x8mm untersucht. In den Versuchen kam es zu einem Herausziehen der Stahlbaudübel aus der Unterkonstruktion (Lochleibungsversagen), wobei dies bei den Versuchen mit Klemmdicke 2x8mm mit einer Zerstörung der Hülse (Versuche 25 und 26: und der Schraube) verbunden war.

3.3 Variation der Hülsenausbildung

An Stahlbaudübeln M20 ohne Gummiring wurden Versuche mit unterschiedlichen Klemmdicken durchgeführt.

In den Versuchen kam es zu einem Versagen durch Lochleibung und einem Herausziehen der Stahlbaudübel aus der Unterkonstruktion. Mit Ausnahme des Versuchs 32 kam es bei allen Versuchen zu einer Beschädigung der Hülse durch Abbrechen einer oder mehrerer Finnen. Ein Abscheren der Schraube wurde nicht beobachtet.

3.4 Versuche mit Schrauben

Als Grundlage für einen Vergleich des Verformungsverhaltens der Stahlbaudübel mit konventionellen geschraubten Verbindungen wurden ergänzende Querkraftversuche an Schraubverbindungen durchgeführt. Das Versagen erfolgte bei diesen Versuchen in jedem Fall durch ein Abscheren der Schraube. Bei den Versuchen mit Schrauben M20 kam es dabei infolge des geringen Randabstandes e_1 zu ausgeprägten Lochleibungsdeformationen. Dieser Effekt wurde bei den Versuchen 39 und 40 durch den großen Lochdurchmesser d_L verstärkt.

4 Auswertung

4.1 Allgemeines

Für alle Versuche wurde als Grundlage für eine Einschätzung der Versuchsergebnisse und für eine Überprüfung der Bemessungswerte nach den technischen Regeln der rechnerische charakteristische Wert der Tragfähigkeit ermittelt. Trägt man die Versuchsergebnisse über den sich rechnerisch ergebenden charakteristischen Werten auf, so zeigt sich, dass die Versuche mit Stahlbaudübeln M20 mit und ohne Gummiring und Blechdicke 2x3mm (Versuche 27 bis 28 und 31 bis 32), mit Blechdicke 2x8mm (Versuche 33 bis 34) sowie die Versuche mit Stahlbaudübeln M20 und Lochdurchmesser $d_L = 40$ mm bei einem Randabstand $e_1 = 75$ mm (Versuche 21 bis 22) unter dem charakteristischen Wert der Tragfähigkeit liegen.

Berücksichtigt man, dass nach [5] der Nachweis der Lochleibungstragfähigkeit einschnittig ungestützter Verbindungen in der Form

$$\frac{V_d}{V_{l,Rd}} \leq \frac{1}{1,2}$$

zu führen ist und nach [6] für den Nachweis gegen Abscheren bei einschnittig ungestützten Verbindungen $\gamma_M = 1,25$ statt $\gamma_M = 1,1$ zu setzen ist, so liegen die Versuchsergebnisse mit großem Lochspiel sowie mit Blechdicke 2x8mm oberhalb der damit korrigierten charakteristischen Werte. Anders verhält es sich mit den Ergebnissen mit Stahlbaudübeln M20 und Blechdicke 2x3mm, die immer noch unter den charakteristischen Werten liegen.

Offensichtlich liefern die Ansätze zur Ermittlung der Lochleibungstragfähigkeit für einschnittige ungestützte Verbindungen mit Stahlbaudübeln generell Ergebnisse, die zumindest bei kleineren Blechdicken nicht auf der sicheren Seite liegen. Tritt hingegen das Versagen durch Abscheren ein, liegen die Versuchsergebnisse bei Bohrlochdurchmessern innerhalb des zulässigen Bereichs immer deutlich über den rechnerisch ermittelten charakteristischen Werten.

4.2 Lochdurchmesser

Wie die Ergebnisse und Versagensmodi der Versuche 20 bis 22 zeigen, kann es bei zu großem Lochdurchmesser zu einem Versagen der Verbindung durch zu große Verdrehungen und einem sich daraus ergebenden Herausziehen des Stahlbaudübels kommen. Diese mit dem Versagen durch Lochleibung verwandte Versagensform tritt dann sogar bei Blechdicken auf, bei denen aufgrund der relative großen Dicke von einem Versagen durch Abscheren auszugehen wäre. Um dies auszuschließen, empfiehlt es sich, den Bohrlochdurchmesser in Abhängigkeit vom Hüsendurchmesser zu begrenzen.

Aus den Versuchen ergibt sich eine auf den Hüsendurchmesser $d_{Hü} = d_2$ bezogene Begrenzung des Bohrlochdurchmessers d_L auf

$$d_L \leq 1,15 \cdot d_2$$

für Stahlbaudübel mit gleicher oder ähnlicher Geometrie wie die des in den Untersuchungen verwendeten Systems. Diese Begrenzung dient nur der Verhinderung des Versagensmodus Durchziehen unter Querkraft bei rechnerisch durch Abscheren versagenden Systemen und wird von allen bisher bauaufsichtlich zugelassenen Stahlbaudübeln eingehalten. Die größten der auf den Hüsendurchmesser bezogenen maximal zulässigen Bohrlochdurchmesser betragen 1,11.

Betrachtungen zum Verformungsverhalten lassen sich wie folgt zusammenfassen: Das Lochspiel hat – bleibt man unterhalb des oben definierten zulässigen Lochspiels – in erster Linie einen Einfluss auf die Verschiebungen in der Verbindung, weniger auf die Verdrehung. Während die Verschiebungen unter Gebrauchslasten beim größten zulässigen Lochspiel ($d_L = 1,15 d_{Hü}$) bis zu etwa dem 2,5-fachen der Verschiebung der Verbindung mit dem kleinsten geprüften Lochspiel betragen, liegen die Verdrehungen einheitlich zwischen 3° und 6°. Unterhalb des Gebrauchslastniveaus können sich jedoch Unterschiede in den Verdrehungen ergeben, je nachdem ob das Tragverhalten durch Abscheren oder Lochleibung dominiert wird.

4.3 Klemmdicke und Lochleibung

Die sich bei einschnittig ungestützten Verbindungen mit geringen Blechdicken einstellenden großen Verdrehungen führen in Verbindung mit einer Vergrößerung des Loches infolge Lochleibung zu einem Versagen durch Herausziehen des Verbindungselementes. Diese Gefahr ist bei Stahlbaudübel ausgeprägter als bei Verbindungen mit Schrauben, Muttern und Scheiben, da die sich beim Anziehen spreizenden Finnen eine trichterförmige Geometrie bilden. Daher kommt der Lochleibungstragfähigkeit insbesondere bei einschnittig ungestützten Verbindungen eine große Bedeutung zu.

Nach [1] bis [4] gilt für den Nachweis der Lochleibungstragfähigkeit der untersuchten Verbindungen

$$\alpha_l = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,30 \\ 2,0 \end{array} \right.$$

für $e_2 \geq 1,2 d_L$. Dies entspricht Gleichung (50 a) in DIN 18800-1:1990-11, jedoch mit geändertem Anwendungsbereich. Anlage 6.6 kann entnommen werden, dass die aus den Versuchsergebnissen über

$$\alpha_l = \frac{F_{\max}}{R_{eH} \cdot t_{\text{mean}} \cdot d_{\text{Hü}}}$$

berechneten Lochleibungsparameter zu etwa 50% unterhalb der Werte nach [1] bis [4] liegen. Berücksichtigt man, dass die Verhältnisse e_1/d_L der Versuchskörper in der Regel zwischen 1,2 und 1,5 lagen, muß die Frage gestellt werden, ob nicht gemäß DIN 18800-1:1990-11 zwischen

$$\alpha_{l,50c} = 0,73 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,20$$

für $e_2 = 1,2 d_L$ und

$$\alpha_{l,50a} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,30$$

für $e_2 \geq 1,5 d_L$ unterschieden werden muß. In diesem Zusammenhang muß auch untersucht werden, in wie weit die Regelungen des Elements (807) der DIN 18800-1:1990-11 die - aufgrund der fehlenden Stützung durch die auf der Seite der Unterkonstruktion fehlende Scheibe und Mutter - möglicherweise reduzierte Lochleibungstragfähigkeit einschnittig ungestützter Verbindungen mit Stahlbaudübeln ausreichend erfassen.

Die sich aus den Versuchen ergebenden Lochleibungsparameter $\alpha_{l,v}$ wurden den Lochleibungsparametern α_l der DIN 18800-1:1990-11 gegenübergestellt. Der sich ergebende Quotient wurde statistisch ausgewertet. Für die vorliegenden Versuchsergebnisse ergaben sich im Mittel Lochleibungsparameter, die über den Werten der DIN 18800-1:1990-11 lagen ($\alpha_{l,v}/\alpha_l > 1,0$). Diese Regelungen können also übernommen werden. Jedoch wurden auch Lochleibungsparameter $\alpha_{l,v}/\alpha_l < 1,0$ ermittelt, die über die Regelungen des Elements (807) abgedeckt werden müssen. Wertet man die Ergebnisse nach DIN EN 1990:2002-10 statistisch aus, was aufgrund der großen Streuung der Verhältnswerte $\alpha_{l,v}/\alpha_l$ unter Ansatz einer log-Normalverteilung erfolgen sollte, so erhält man einen 5%-Fraktilwert von 0,89, d.h. Reduzierung auf 89%. Element (807) sieht eine Reduzierung auf 83% (= $1 / 1,2 \cdot 100\%$) vor, so dass die Regelungen der DIN 18800-1:1990-11 für den Lochleibungsnachweis einschnittig ungestützter Schraubenverbindungen auf entsprechende Verbindungen mit Stahlbaudübeln übertragen werden können. Die Beschränkung auf $\alpha_l \leq 2,0$ sollte jedoch aufgrund mangelnder entsprechender Ergebnisse beibehalten werden, auch da die in Anlage 6.7 eingezeichnete Obergrenze von $\alpha_l = 2,0$ durch die Versuchsergebnisse zumindest näherungsweise gestützt wird. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der Vergleich mit DIN EN 1993-1-8:2005-07, die ein abweichendes Nachweiskonzept für die Ermittlung des charakteristischen Wertes der Lochleibungstragfähigkeit hat. Der charakteristische Wert der Lochleibungstragfähigkeit beträgt

$$F_{b,k} = \alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t \leq 1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t$$

mit

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_L} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right.$$

und

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_L} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

wobei mit $\gamma_{M2} = 1,25$ zu rechnen ist, da die Zugfestigkeit f_u angesetzt wird. Definiert man auch hier einen Lochleibungsparameter

$$\beta_l = \alpha_b \cdot k_1$$

für den

$$\beta_l \leq 1,5$$

gilt und berechnet diesen aus den Versuchsergebnissen ($\beta_{l,v}$) und nach DIN EN 1993:2005-07 (β_l), so lässt sich wiederum ein Vergleich anstellen.

Mit $\beta_{l,v}/\beta_l = 1,04$ ergibt sich im Mittel eine bessere Anpassung an die Versuchsergebnisse. Damit der Ansatz nach DIN EN 1993-1-8:2005-07 den 5%-Fraktilwert abbildet, müsste der Wert β_l mit 0,86 multipliziert werden. Dies entspricht der Abminderung mit $1/1,2 = 0,83$ nach DIN 18800-1:1990-11, Element (807). Bei Verwendung des Nachweisformats der DIN EN 1993-1-8:2007-05 müsste eine äquivalente Regelung ergänzt werden. Die Begrenzung auf $\beta_l \leq 1,5$ erfasst die reduzierte Lochleibungstragfähigkeit einschnittig ungestützter Verbindungen mit Stahlbaudübeln nicht.

4.4 Hülsenausbildung

Bei Stahlbaudübel gibt es zwei Varianten der Hülsenausbildung: In einem Fall bestehen Bund und geschlitztes Rundrohr aus einem Stück, im anderen aus zwei Einzelbauteilen, die durch einen Gummiring voneinander getrennt sind.

Ist das Versagen der Verbindung mit großen Verdrehungen verbunden, können bei einer zweiteiligen Hülse anteilige Zugkräfte nur über die Schraube, nicht aber über die Hülse übertragen werden. Im folgenden soll geprüft werden, inwieweit die unterschiedlichen Ausführungen einen Einfluss auf das Trag- und insbesondere Verformungsverhalten haben, ob also die zweiteilige Hülse eine größere Nachgiebigkeit hat.

Als Grundlage für eine Beurteilung des Einflusses unterschiedlicher Ausbildungen der Hülse wird der Durchmesser M20 herangezogen, der in einer zweiteiligen Hülsenausführung mit trennendem Gummiring hergestellt wird, von dem aber noch ältere Vorserienbauteile ohne Gummiring vom gleichen Hersteller – d.h. mit gleicher Geometrie – vorlagen.

Während es bei den Versuchen mit Blechdicke 2x15mm abhängig von der Hülsenausbildung zu einem Versagen durch Abscheren nach großen Verdrehungen (zweiteilige Hülse mit Gummi) oder Lochleibung und Herausziehen nach großen Verdrehungen (einteilige Hülse) kam, versagten die Verbindungen mit Blechdicke 2x8mm und 2x3mm einheitlich durch Lochleibung und Herausziehen nach großen Verdrehungen. Die Ergebnisse der Versuche mit Blechdicke 2x15mm stellen also keineswegs eine obere Schranke für die Tragfähigkeit im Sinne einer Abschertragfähigkeit der Stahlbaudübel dar. Es handelt sich praktisch um ein Lochleibungsversagen entsprechend den Versuchen mit Blechdicke 2x8mm, bei dem jedoch aufgrund der größeren Kräfte bei den Versuchen mit einer zweiteiligen Hülsenausbildung, bei denen die Hülse keine Zugkräfte übertragen kann, ein Abscheren der Schraube eintrat. Im folgenden wird daher der Einfluss der Hülsenausbildung auf die Lochleibungstragfähigkeit, nicht auf die Tragfähigkeit gegen Abscheren untersucht. Dennoch werden die charakteristischen Werte der rechnerischen Tragfähigkeit gegen Abscheren überschritten.

Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass die Tragfähigkeit der Verbindung mit einteiligem Stahlbaudübel – selbst bei Versuchen mit Blechdicke 2x3mm oder 2x8mm, in denen das Versagen durch Lochleibung eintrat und unterschiedliche Ist-Werte der mechanischen Eigenschaften von Schraube und Hülse keine Rolle spielen dürften - unter der Tragfähigkeit der Verbindung mit zweiteiliger Hülse liegt. Dem ist jedoch nicht so: Bei den Versuchen mit Blechdicke 2x3mm lag ein einzelner Wert so niedrig, dass sich ein kleinerer Wert F_{mean} für die Variante ohne Gummiring ergab. Bei den Versuchen mit Blechdicke 2x8mm kam es zu einer teilweisen Zerstörung der Hülse, so dass auch bei diesen Versuchen die Ist-Werte der mechanischen Eigenschaften der Hülse einen Einfluss auf das Versuchsergebnis hatten – jedoch nur auf das Bruchverhalten nach Überschreiten der Maximallast.

Bei den Blechdicken, bei denen es aufgrund der geringen Blechdicke zu einer Übertragung der Lochleibungskräfte über den Gummiring kommen kann, ist aufgrund der vorauszusetzenden geringen Blechdicke in der Regel von einem Versagen durch Lochleibung auszugehen. Die reduzierte Tragfähigkeit gegen Abscheren spielt daher keine Rolle.

Die Tragfähigkeit der Verbindungen von Stahlbaudübeln wird also durch die unterschiedlichen Hülsenausbildungen nicht beeinflusst. Dies gilt sowohl für Verbindungen, die rechnerisch durch Lochleibung als auch für Verbindungen, die rechnerische auf Abscheren versagen.

Als Grundlage für einen Vergleich des Verformungsverhaltens der beiden Ausführungen wurden für alle geprüften Blechdickenkombinationen sowohl die Verschiebungen in der Verbindung als auch die Verdrehungen des Verbindungselements selbst herangezogen. Die Auswertung erfolgte qualitativ über den Vergleich der Kraft-Verschiebungs-Verläufe und Verdrehungs-Kraft-Verläufe der Verbindungen.

Die Hülsenausbildung beeinflusst weder die Tragfähigkeit noch das Verformungsverhalten der Verbindung, d.h. ein Gummiring beeinflusst die Tragfähigkeit oder das Verformungsverhalten nicht negativ.

4.5 Vergleich mit Schraubenverbindungen

4.5.1 Vorbemerkungen

Die Geometrie der eingebauten Stahlbaudübel weicht auf der unzugänglichen Unterseite (Unterkonstruktion) signifikant von der Geometrie üblicher Stahlbauverbindungen mit Schrauben, Muttern und Scheiben ab. Anstelle der flächig am Bauteil anliegenden Scheibe und Mutter bildet sich nach Anziehen der Verbindung ein Spreiztrichter aus in der Regel vier Finnen aus. Diese Unterschiede haben Folgen bezüglich der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Zum einen gelten die Regelungen zur Ermittlung der Lochleibungstragfähigkeit in [5] [6] nur für Verbindungen, bei denen die verbindenden Bauteile (Bleche) beidseitig durch Muttern und Scheiben gestützt werden. Zum anderen ergibt sich aus der fehlenden Scheiben- oder Mutterauflage eine geringere Einspannwirkung in die Unterkonstruktion, so dass es unter Belastung zu größeren Verdrehungen der Stahlbaudübel und damit zu größeren Verschiebungen in der Verbindung kommt.

Die nachfolgenden Vergleiche von Verbindungen mit in etwa gleicher rechnerischer Lochleibungstragfähigkeit und in etwa gleicher Tragfähigkeit gegen Abscheren sollen der Beurteilung der Verformungen, d.h. Verschiebungen und Verdrehungen dienen.

4.5.2 Lochleibung

Zum Vergleich des Verformungsverhaltens wurden Versuche mit Stahlbaudübeln M12 mit Versuchen an Schrauben M20 herangezogen. Um eine in etwa gleiche Tragfähigkeit gegen Lochleibung zu erreichen, wurden die Randabstände e_1 und e_2 angepasst.

Hier zeigt sich, dass trotz der ausgeprägten Lochleibungsdeformationen bei den Schraubenverbindungen die Verdrehungen und Verschiebungen der Verbindungen mit Stahlbaudübeln weit über den Werten für Schraubenverbindungen liegen. Selbst bei einer Ausführung mit $\Delta d_L \approx 0$ (Versuche 1 bis 3) stellen sich nach Überschreiten einer Grenzkraft von etwa 40kN die gleichen großen Verdrehungen und Verschiebungen wie bei einer Ausführung mit $\Delta d_L \approx 3$ (Versuche 4 bis 6) ein.

Grundsätzlich gilt bei den hier untersuchten Blechdicken, dass bei gleichem Δd_L die Verdrehungen der Verbindungen mit Stahlbaudübeln um etwa das dreifache größer sind als bei den entsprechenden Schraubenverbindungen. Die Verschiebungen dieser Verbindungen mit Stahlbaudübeln betragen etwa das zweifache der Werte der untersuchten Schraubenverbindungen. Diese größeren Verschiebungen sind jedoch nur eine Folge der gegenüber Schraubenverbindungen größeren Verdrehungen.

4.5.3 Abscheren

Zum Vergleich des Verformungsverhaltens wurden Versuche mit Stahlbaudübeln M20 mit Versuchen an Schrauben M24 herangezogen. Es wurden Versuche mit gleichem Lochspiel betrachtet.

Gegenüber den Versuchen, bei denen Lochleibung rechnerisch maßgebend wird, sind die Unterschiede in den Verschiebungen geringer: Die Verbindungen mit Stahlbaudübeln zeigten Verschiebungen, die bei 169kN (= $V_{a,calc}$ der Schrauben) im Mittel um 2mm über den Verbindungen mit Schrauben lagen. Bei den Verbindungen mit Lochspiel $\Delta d_L \approx 0$ mm entspricht dies etwa 30% größeren Verschiebungen. Für die Verbindungen mit Lochspiel $\Delta d_L \approx 3$ mm ist eine relative Aussage hierzu nicht möglich, da der Schlupf in der Verbindung nach Überschreiten der infolge der Vorspannung über Reibung übertragbaren Kraft einen zu großen Einfluss hat.

Bei einer Belastung mit 169kN lagen die Verdrehung der Stahlbaudübel M20 bei den Versuchen mit $\Delta d_L \approx 0$ und $\Delta d_L \approx 3\text{mm}$ um 3° bis 6° über den Verdrehungen der Schrauben. Dieser Wert erscheint gering, vernachlässigt aber, dass die Hüsendurchmesser der Stahlbaudübel mit 32,2mm bis 32,7mm weit größer als die Gewindenenddurchmesser der Schrauben M24 waren. Dies relativiert den geringen Abstand. Auch ergaben sich bei den Versuchen mit $\Delta d_L \approx 3\text{mm}$ schon bei einer Belastung mit 50kN signifikant zunehmende Verdrehungen. Ab hier liegen die Verdrehungen bei nahezu dem Doppelten der Verdrehungen der Schrauben. Demnach zeigt sich auch hier, dass die Verdrehungen bei Stahlbaudübeln weit größer sind als bei Schraubenverbindungen, selbst wenn man bei einer rechnerisch auf Abscheren versagenden Verbindung von größeren Durchmessern der Stahlbaudübel als der Schraube ausgehen kann.

4.5.4 Zusammenfassung

Bei den im Stahlbau üblichen, rechnerisch auf Lochleibung versagenden Verbindungen, muß bei der Verwendung von Stahlbaudübeln davon ausgegangen werden, dass sich Verdrehungen und Verschiebungen in signifikanter Größenordnung einstellen. Diese liegen bei den hier untersuchten Blechdicken schon unter Gebrauchslasten um das zweifache (Verschiebungen) bis dreifache (Verdrehungen) über den Werten einer Schraubenverbindung mit rohen Schrauben mit vergleichbarer Lochleibungstragfähigkeit. Die größeren Verschiebungen sind jedoch nur eine Folge der gegenüber Schraubenverbindungen größeren Verdrehungen.

Bei einer rechnerisch durch Abscheren versagenden Verbindung ergeben sich nur verhältnismäßig geringe Unterschiede in den Verschiebungen. Jedoch sind auch hier – bei größeren Durchmessern der Stahlbaudübel gegenüber den Schrauben – sehr große Verdrehungen zu erwarten. Diese haben aber keinen negativen Einfluss auf die Tragfähigkeit, insbesondere, da bei diesen Verbindungen nicht mit einer so großen Verdrehung (z.B. im Zusammenhang mit Lochleibung) zu rechnen ist, dass sich bei Stahlbaudübeln mit einer Hülsenausbildung mit Gummiring der negative Einfluss derselben hinsichtlich der Zugtragfähigkeit bemerkbar macht.

5 Zusammenfassung und Empfehlung

Der Verwendbarkeitsnachweis dübelartiger Verbindungselemente für Verbindungen an Hohlprofilen und anderen rückseitig schwer zugänglichen Konstruktionen ist durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu erbringen. Bei den genannten Verbindungselementen erfolgt die Fixierung durch Spreizung einer Hülse mittels eines im unzugänglichen Bereich der Verbindung liegenden Konus.

Große Verformungen bei ausgeführten Anschlüssen, deren Einfluss auf die tatsächliche Tragfähigkeit unklar blieb, bildeten den Ausgangspunkt für die im vorliegenden Bericht dokumentierten Untersuchungen. Die Ergebnisse lassen sich mit den Zahlenangaben für den untersuchten Parameterbereich wie folgt zusammenfassen:

- Um den Versagensmodus Durchziehen unter Querkraft bei rechnerisch durch Abscheren versagenden Systemen zu verhindern, ist der Bohrlochdurchmesser bezüglich des Hüsendurchmessers $d_{Hü} = d_2$ zu beschränken auf

$$d_L \leq 1,15 \cdot d_2$$

Dies gilt für Stahlbaudübel mit einer Geometrie, die der des in den Untersuchungen verwendeten Systems gleich oder ähnlich ist.

- Das Lochspiel hat in erster Linie einen Einfluss auf die Verschiebungen in der Verbindung, weniger auf die Verdrehung. Während die Verschiebungen unter Gebrauchslasten beim größten zulässigen Lochspiel ($d_L = 1,15 d_{Hü}$) bis zu etwa dem 2,5-fachen der Verschiebung der Verbindung mit dem kleinsten geprüften Lochspiel betragen, liegen die Verdrehungen einheitlich zwischen 3° und 6° . Unterhalb des Gebrauchslastniveaus können sich jedoch Unterschiede in den Verdrehungen ergeben, je nachdem ob das Tragverhalten durch Abscheren oder Lochleibung dominiert wird.
- Die Lochleibungstragfähigkeit entspricht der Lochleibungstragfähigkeit der Schraubenverbindungen. Die Regelungen in [1] bis [4] zur Lochleibungstragfähigkeit sollten jedoch durch die Regelungen der DIN 18800-1:1990-11 ersetzt werden, wobei die Obergrenzen $\alpha_1 \leq 2,0$ für außenliegende Bauteile und $\alpha_1 \leq 3,0$ für innenliegende Bauteile beibehalten werden sollten.

- Sollen alternativ die Regelungen der DIN EN 1993-1-8:2007-05 zur Ermittlung der Lochleibungstragfähigkeit herangezogen werden, sollte der Nachweis in Anlehnung an DIN 18800-1:1990-11, Element (807) in der Form

$$\frac{V_l}{V_{l,R,d}} \leq \frac{1}{1,2}$$

geführt werden.

- Die Hülsenausbildung hat keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit oder auf das Verformungsverhalten der Verbindung. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein Gummiring die Tragfähigkeit oder das Verformungsverhalten negativ beeinflusst.
- Verbindungen mit Stahlbaudübeln führen gegenüber Verbindungen mit Schrauben zu größeren Verschiebungen in der Anschlussebene. Dies ist in erster Linie auf die vergleichsweise größeren Verdrehungen zurückzuführen. Ein negativer Einfluss auf die Tragfähigkeit existiert aber nicht.

Karlsruhe, am 30.01.2008

mi/pc

Der Sachbearbeiter

Die Institutsleitung

Dipl.-Ing. Th. Misiek

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Saal

6 Schrifttum

- [1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-14.4-420: Hollo-Bolt, 17.10.2002, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- [2] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-14.4-482: BoxBolt, 30.05.2005, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- [3] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-14.4-482: BoxBolt, 07.07.2006, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- [4] Änderung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-14.4-482: BoxBolt, 09.10.2006, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- [5] DIN 18800-1: 1990-11: Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- [6] Entwurf DIN 18800-1/A2:2007-06: Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Änderung A2
- [7] DIN EN 1993-1-8:2005-07: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen