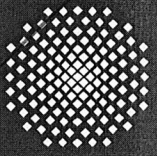
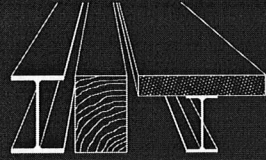


6 / *.pdt

1635



Institut für Konstruktion und Entwurf
Stahl- Holz- und Verbundbau
Universität Stuttgart



Schubtragfähigkeit von Verbundträgern mit Profilblechen nach Eurocode 4 Teil 1-1

Ulrike Kuhlmann
Jochen Raichle

Kurzbericht

Im Auftrag des
Deutschen Instituts für Bautechnik

ZP 52-5-17.15-1078/03

**Schubtragfähigkeit
von Verbundträgern mit Profilblechen
nach Eurocode 4 Teil 1-1**

Kurzbericht

Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Dipl.-Ing. Jochen Raichle

Institut für Konstruktion und Entwurf

Universität Stuttgart

Juni 2006

1. Fragestellung

In prEN 1994-1-1 und DIN V 18800-5 wird die Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln bei Verbundträgern mit Profilblechen aus der Tragfähigkeit der Kopfbolzen in Vollbetonplatten durch Reduktion durch einen Korrekturfaktor k ermittelt, der vor allem von der Ausrichtung der Bleche längs oder quer zum Träger und der Schlankheit der Rippen abhängt. Zusätzliche konstruktive Regeln zur Blechgeometrie und zur Bewehrung des Betons sollen eine duktile Schubübertragung in der Verbundfuge sicherstellen und die Anwendung der Tragfähigkeitsregeln auf einen experimentell abgesicherten Bereich einschränken.

Umfangreiche Untersuchungen von Prof. Patrick und Prof. Bridge in Sydney, Australien führen aber zu dem Ergebnis, dass die bisher getroffenen Regelungen unzureichend sind und Sicherheitsbedenken bestehen, weil Schubversuche an Verbundfugen mit Profilblechen spröde und bei geringeren Tragfähigkeiten als nach prEN 1994-1-1 erwartet versagten.

Die Zielsetzung der hier durchgeführten Untersuchungen ist die Auswertung der Untersuchungsergebnisse von Patrick/Bridge und weiteren Forschern zur Überprüfung der Regelungen zur Schubtragfähigkeit von Kopfbolzendübeln bei Verbundträgern mit Profilblechen nach prEN 1994-1-1. Es soll die Frage beantwortet werden, ob gegen die Regeln in prEN 1994-1-1 Sicherheitsbedenken bestehen. Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten der vorliegenden Regeln der Verbundbaunorm werden aufgezeigt.

2. Stand der Normen

Die Gleichungen (4.5) und (4.6) im Hintergrundbericht zu Eurocode 4, Abschnitt 6.3.2: Bolzendübel beschreiben die Tragfähigkeiten auf der Grundlage des dort verwendeten Berechnungsmodells von Kopfbolzendübeln in massiven Platten. Sie lauten:

Betonversagen:

$$P_t = 0,36 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_{cm}} \quad (2-1)$$

Stahlversagen:

$$P_t = 0,85 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \quad (2-2)$$

Anhand von Versuchsergebnissen erfolgt im Hintergrundbericht eine statistische Auswertung der Gleichungen (2-1) und (2-2). Dabei werden Mittelwertkorrekturfaktoren bestimmt die, multipliziert mit den Gleichungen (2-1) und (2-2) die tatsächliche mittlere Tragfähigkeiten von Kopfbolzendübeln in massiven Platten abbilden, vgl. Gleichungen (2-3) und (2-4)

Betonversagen:

$$P_t = 0,374 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_{cm}} \quad (2-3)$$

Stahlversagen:

$$P_t = 1,00 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \quad (2-4)$$

Der Korrekturfaktor k_t zur Berücksichtigung der Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln in Verbundträgern mit Profilblechen wird allerdings im Hintergrundbericht auf die angenommene mittlere Tragfähigkeit der Gleichungen (2-1) und (2-2) geeicht. Da die Tragfähigkeit in massiven Platten mit den Gleichungen (2-1) und (2-2) unterschätzt wird entspricht der Faktor k_t nicht direkt einem Ab-

minderungsfaktor zwischen Verbundträgern mit massiven Platten und Verbundträgern mit Profilblechen.

Unter Einbeziehung weiterer und aktuellerer Versuchsdaten werden von Ernst, Bridge und Wheeler verbesserte Vorfaktoren für die Tragfähigkeiten in massiven Platten hergeleitet, vgl. Gleichungen (2-5) und (2-6).

Betonversagen:

$$P_t = 0,37 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_{cm}} \tag{2-5}$$

Stahlversagen:

$$P_t = 0,94 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \tag{2-6}$$

Die Ermittlung der Abminderungsfaktoren beruht nicht auf einem Modell sondern empirisch auf der Auswertung von Versuchen.

Der Korrekturfaktor k_t nach Gleichung (2-7) berücksichtigt den Einfluss von *Profilblechen rechtwinklig zum Träger*:

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_R}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq k_{t,max} \tag{2-7}$$

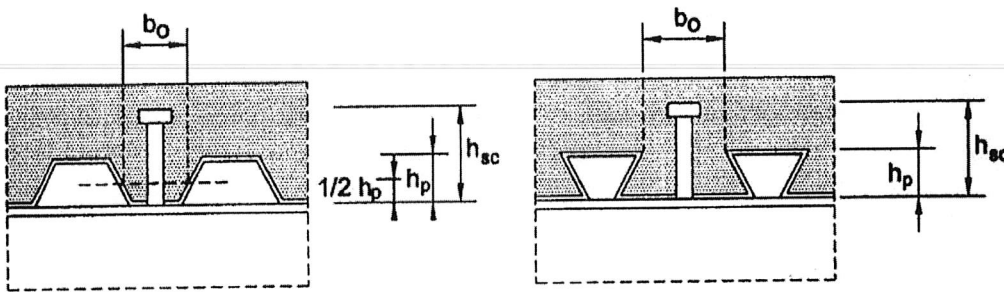


Bild 2-1 Profilbleche mit Rippen senkrecht zum Träger [1.11, Bild 6.13]

Die oberen Grenzwerte für k_t können in Abhängigkeit der Dübelanzahl, der Profilblechdicke und den Ausführungsvarianten durchgeschweißte Kopfbolzendübel oder vorgelochte Profilbleche Tabelle 2-1 entnommen werden.

Tabelle 2-1 Obere Grenzwerte $k_{t,max}$ nach prEN 1994-1-1

Dübelanzahl je Rippe	Dicke des Profilbleches	Dübel durchgeschweißst $d \leq 20$ mm	Profilblech vorgelocht $d = 19$ bzw. 22 mm
$n_R = 1$	≤ 1 mm	0,85	0,75
	> 1 mm	1,0	
$n_R = 2$	≤ 1 mm	0,7	0,6
	> 1 mm	0,8	

Der Korrekturfaktor k_l für *Profilbleche längs zum Träger* berechnet sich nach Gleichung (2-8):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1 \tag{2-8}$$

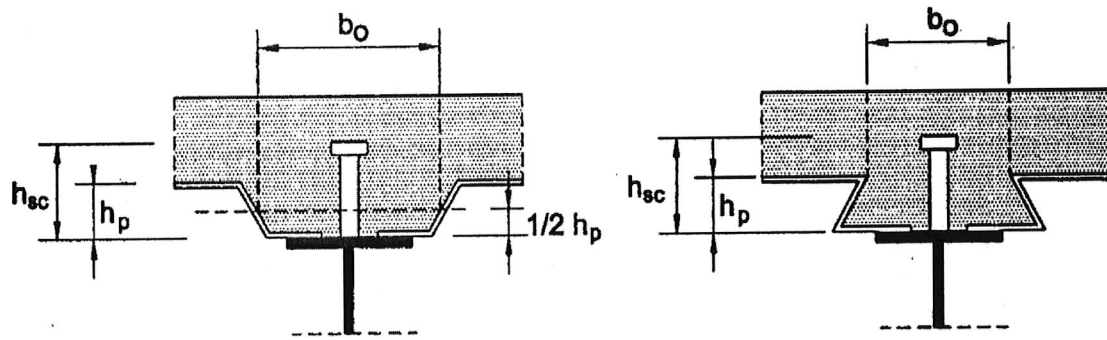


Bild 2-2 Profilbleche mit Rippen parallel zum Träger [1.11, Bild 6.12]

Nach prEN 1994-1-1, 6.6.1.1 (5) kann ein Verbundmittel als duktil eingestuft werden, wenn das charakteristische Verformungsvermögen δ_{uk} mindestens 6 mm beträgt. Das Verformungsvermögen eines Dübels δ_u wird in prEN 1994-1-1, Abschnitt B.2.5 (4) durch den maximalen Schlupf bei Wiedererreichen der charakteristischen Tragfähigkeit nach Bild 2-3 bestimmt.

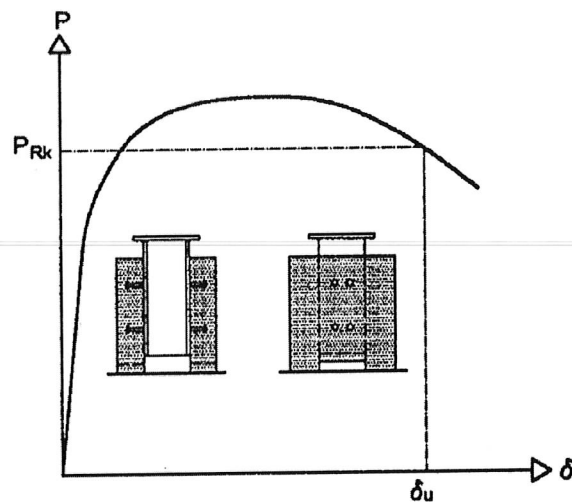


Bild 2-3 Ermittlung des Verformungsvermögens δ_u [1.11, Bild B.2]

3. Stand der Forschung

In dem Bericht werden die Ergebnisse zahlreicher Forscher zusammengefasst. Der Schwerpunkt liegt zum einen auf der Betrachtung von Versuchen, die mit einer Profilblechorientierung orthogonal zum Stahlträger ausgeführt wurden und zum anderen auf der Betrachtung der von Patrick und Bridge durchgeführten Versuche.

Die Einflussfaktoren auf die Tragfähigkeit sind gegenüber der Anwendung in massiven Platten vielfältiger:

- Art des Profilbleches: Offen oder hinterschnitten,
- Schlankheit der Rippen,
- Dicke des Profilbleches,
- Bewehrung im Aufbeton,
- Bewehrung in den Sicken,
- Anzahl und Anordnung der Dübel in den Sicken: Mittig, exzentrisch oder versetzt,
- Einbindelänge des Kopfbolzen in den Aufbeton,

- Herstellung: Vorgelocht oder durchgeschweißt,
- Beanspruchung im Betongurt: Druck bzw. Zug.
- Dicke des Aufbetons

In den folgenden Bildern werden die dem Bericht zu Grunde liegenden Versuchsergebnissen P_e mit der mittleren Tragfähigkeit P_t nach den Gleichungen (2-5),(2-6) und (2-7), mit der charakteristischen Tragfähigkeit P_{Rk} nach prEN 1994-1-1 und der Tragfähigkeit auf Bemessungsniveau P_{Rd} verglichen.

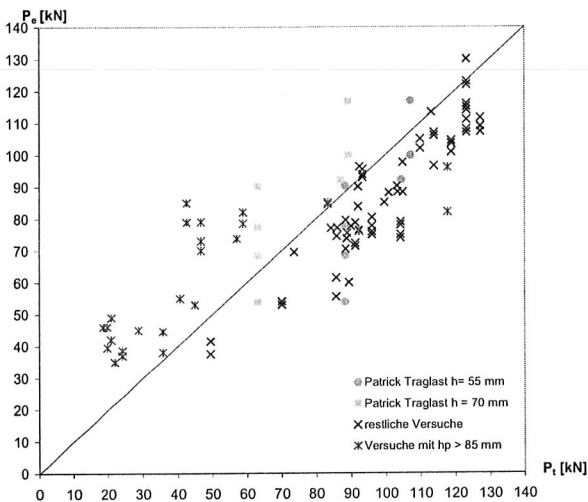


Bild 3-1: Vergleich zwischen P_e und P_t (P_t mit k_t nach prEN 1994-1-1 mit Orientierung der Profilbleche orthogonal zum Träger

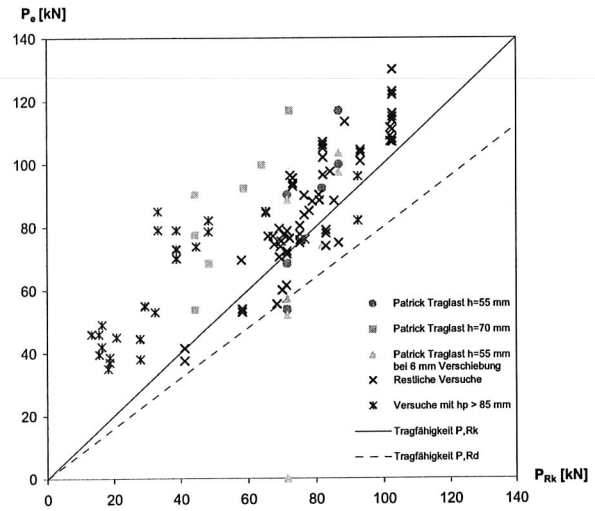


Bild 3-2: Vergleich zwischen P_e und P_{Rk} bzw. P_{Rd} nach prEN 1994-1-1 mit Orientierung der Profilbleche orthogonal zum Träger

Auffällig an den Bildern 3-1 und 3-2 ist, dass gerade die von der Anwendung ausgeschlossenen Versuche mit einer Profilblechhöhe $h_p > 85$ mm die erwarteten Tragfähigkeiten oft übertreffen. Ohne die Versuche mit einer Profilblechhöhe von über 85 mm, die sich außerhalb des Anwendungsbereichs von prEN 1994-1-1 befinden, weisen 17% der dargestellten Versuche eine geringere Tragfähigkeit als P_{Rk} auf. Ohne diese Versuche zeigt sich in Bild 3.1, dass die mittlere Tragfähigkeit überschätzt wird. Außerdem ist der Einfluss des Ansatzes der Profilblechhöhe bei den von Patrick und Bridge durchgeführten Versuchen deutlich zu erkennen. Die Berücksichtigung der zusätzlichen Versteifungsrippe führt zu sichereren Ergebnissen. Die Korrelation zwischen Versuchsergebnissen P_e und der mittleren Tragfähigkeit P_t wird im Wesentlichen durch die Obergrenzen für k_t nach Tabelle 2-1 bestimmt. Ohne diese Begrenzungen würde sich nur eine sehr schlechte Übereinstimmung zwischen Versuchsergebnissen P_e und der mittleren Tragfähigkeit P_t ergeben.

Alle drei von Patrick und Bridge durchgeführten Versuche mit einer Blechanordnung parallel zum Träger und durchgehendem Profilblech erreichen die charakteristische Tragfähigkeit P_{Rk} unter Vernachlässigung der Höhe der Versteifungsrippe nicht. Zwei dieser Versuche erreichen nicht einmal P_{Rd} . Dies deutet auf ein erhebliches Sicherheitsproblem hin. Sechs der sieben Versuche zeigen für die Profilblechhöhe von 55 mm bei einer Verschiebung von 6 mm eine geringere Tragfähigkeit als P_{Rk} auf. Die Anforderungen an die Duktilität sind damit nicht erfüllt. Einzig der Versuch P-05 mit einer ausgeprägten Rippenbewehrung zeigt eine hohe Tragfähigkeit bei gleichzeitig duktilem Verhalten. Unter Berücksichtigung der Höhe für die Versteifungsrippe erreichen sechs der sieben zur Verfügung gestellten Versuche die Tragfähigkeit P_{Rk} .

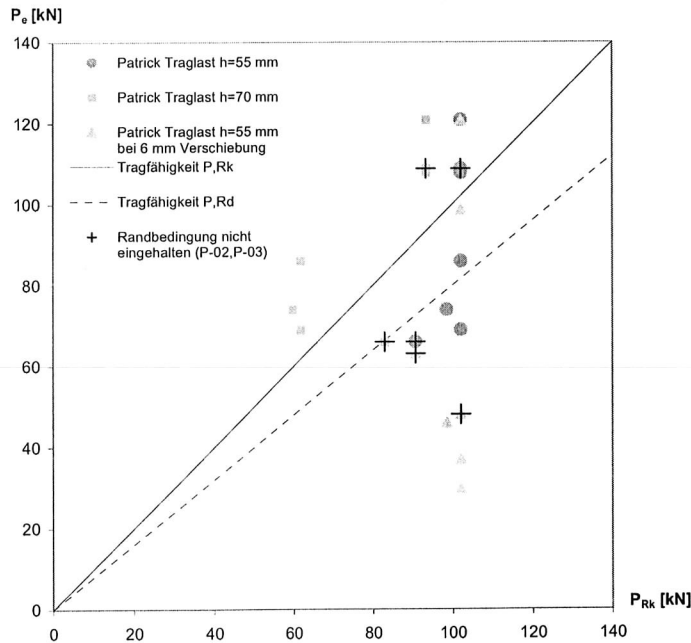


Bild 3-3: Vergleich zwischen P_e und P_{Rk} bzw. P_{Rd} nach prEN 1994-1-1 mit Orientierung der Profilbleche parallel zum Träger

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass die Korrelation zwischen denen im Versuch ermittelten Tragfähigkeiten und den Tragfähigkeiten, die mit dem Abminderungsfaktor k_t nach Gleichung (2-7) ermittelt werden, nicht befriedigend ist. Nur die Begrenzung auf Maximalwerte nach Tabelle 2-1 verbessert die Korrelation und liefert auch sicherere Ergebnisse. Die Ermittlung des Faktors k_t ergibt z. T. deutlich höhere Werte als 1,0. Die Verwendung von zwei statt einem Kopfbolzen je Rippe führt bei diesen Verhältnissen entweder nur zu einer geringen oder im Extremfall auch zu keiner Abminderung. Dies spiegelt sich in den Forschungsergebnissen nicht wieder. Die Versagensarten und die Einflussparameter sind vielfältiger als diese in Gleichung (2-7) berücksichtigt werden.

Da gerade bei hohen Profilblechen Gleichung (2-7) eine große Abminderung der Tragfähigkeit erfolgt und viele der Versuche mit einer Profilblechhöhe im Versuch eine höhere Tragfähigkeit P_e als die mittlere Tragfähigkeit P_t zeigen, ist der Ausschluss von großen Profilblechhöhen nicht nachvollziehbar.

Insgesamt bringt der empirisch ermittelte Faktor k_t selten eine gute Übereinstimmung zwischen Versuchsergebnissen P_e und rechnerischer Tragfähigkeit P_t . Mittelfristig ist daher ein Ansatz, der auf einem zutreffenden mechanischen Modell beruht, empfehlenswert.

Die Formulierung zur Bestimmung der Trapezblechhöhe ist in prEN 1994-1-1 und DIN V 18800-5 nicht eindeutig. Für eine Anordnung der Rippen parallel zum Stahlträger darf bisher bei der Bestimmung der Profilblechhöhe auf den Ansatz von zusätzlichen Sicken und Noppen verzichtet werden. Da die zusätzliche Versteifungsrippe bei dem von Patrick und Bridge verwendeten Profil durchaus als „zusätzliche Sicke“ verstanden werden kann, ist die Berücksichtigung der zusätzlichen Versteifungsrippe bei der Bestimmung der Profilblechhöhe nicht eindeutig durch die bisherigen Regelungen gefordert. Die Vernachlässigung der ausgeprägten Versteifungsrippe bei dem von Patrick und Bridge verwendeten Profilblech führt bei einigen Versuchen zu nicht sicheren Ergebnissen. Die Berücksichtigung von zusätzlichen Rippen ist bei der Bestimmung der Profilblechhöhe deshalb drin-

dringend zu empfehlen und eindeutig zu formulieren. Die englische Fassung von prEN 1994-1-1 ist an dieser Stelle eindeutiger. Die zusätzliche Rippe wäre in dieser Version bei der Bestimmung der Profilblechhöhe zu berücksichtigen.

Da 17% der dargestellten Versuche mit Profilblechen orthogonal zum Träger, die sich im Rahmen des Anwendungsbereichs der Norm befinden, die charakteristische Tragfähigkeit nicht erreichen, ist eine Verbesserung der Regelung anzuraten. Von den Versuchen von Patrick und Bridge erreicht allerdings nur einer, und dies auch nur unter Vernachlässigung der zusätzlichen Versteifungsrippe bei der Bestimmung der Profilblechhöhe, den Bemessungswert der Tragfähigkeit P_{Rd} nicht, und weitere zwei den charakteristischen Wert P_{Rk} nicht.

Alle drei Versuche von Patrick und Bridge mit einer Profilblechorientierung parallel zum Stahlträger und durchgehendem Profilblech haben bei Vernachlässigung der zusätzlichen Versteifungsrippe die charakteristische Tragfähigkeit nicht erreicht. Zwei Versuche haben auch P_{Rd} nicht erreicht. Für diesen Fall zeigt sich ein deutliches Sicherheitsdefizit. In DIN V 18800-5 wurden bereits erste Maßnahmen ergriffen. Ausführliche Untersuchungen und Änderungen in prEN 1994-1-1 sind noch erforderlich.

Auf die Duktilität wird in diesem Bericht nur am Rande eingegangen. Viele der vorliegenden Last-Verformungskurven der durchgeführten Versuche lassen ein sehr duktileres Verhalten erkennen. Es gibt jedoch auch Hinweise darauf, dass ausreichende Duktilität nicht bei allen Randbedingungen eingehalten werden kann.