

Anwendungsrichtlinie zu Eurocode 4.
Ergänzende Regelungen für die
Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln
bei Verwendung von vorgelochten
Profilblechen

T 2579

T 2579

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



BERGISCHE UNIVERSITÄT - GESAMTHOCHSCHULE WUPPERTAL
Fachbereich 11 - Bautechnik
Fachgebiet Stahlbau und Verbundkonstruktionen
Pauluskirchstr.7
42285 Wuppertal

Forschungsbericht: Anwendungsrichtlinie zu Eurocode 4

Ergänzende Regelungen für die Tragfähigkeit von
Kopfbolzendübeln bei Verwendung von vorgelochten
Profilblechen

Deutsches Institut für Bautechnik - Forschungsvorhaben IV 1-5-714/93

Zusammenfassung

Bei Verbundträgern des Hoch- und Industriebaus mit senkrecht zum Träger verlaufenden Profilblechen werden in Deutschland im allgemeinen vorgelochte Profilbleche und Kopfbolzendübel mit einem Durchmesser von 22 mm verwendet. Die Regelungen des Eurocode 4 sind auf Dübeldurchmesser von 20 mm begrenzt und basieren auf Versuchen, bei denen die Dübel durch das Blech geschweißt wurden. Die Tragfähigkeit wird dann neben der Profilblechgeometrie auch durch die Lochleibungstragfähigkeit des Profilbleches bestimmt. Um die Regelungen des Eurocode 4 auch bei vorgelochten Profilblechen anwenden zu können, wurden nationale und internationale Versuchsergebnisse neu ausgewertet und modifizierte Anwendungsregeln für das Nationale Anwendungsdokument zu Eurocode 4 hergeleitet.

Summary

In Germany for composite beams with profiled steel sheeting transverse to the beam in industrial buildings normally profiled steel sheeting with holes for the studs and studs with a diameter of 22 mm are used. In Eurocode 4 the diameter is limited to 20 mm. The rules of EC4 are based on tests with studs welded to the steel beam directly through the profiled steel sheet. In this case there is an additional contribution of the profiled steel sheet on the bearing resistance of the stud. For the applicability of the rules of Eurocode 4 for studs placed in holes of the sheet and for studs with a diameter of 22 mm modified rules for the German "National Application Document" for EC 4 are derived from a new test evaluation based on national and international test results.

Résumé

En construction mixte, lorsqu'elles possèdent une orientation transversale par rapport à l'axe des poutres, les tôles d'acier profilées des bâtiments civils et industriels allemands sont généralement perforées afin de permettre le passage de goujons d'un diamètre de 22 mm. Les recommandations de l'Eurocode 4 limitent le diamètre des goujons à 20 mm et se basent sur des essais réalisés avec des goujons soudés sur la poutre au travers de la tôle. Il en résulte dès lors une résistance additionnelle fonction de la géométrie de la tôle et des efforts résiduels aux abords de la soudure. Afin de pouvoir appliquer les recommandations de l'Eurocode 4 dans le cas de mise en oeuvre de tôles profilées perforées, les résultats des expériences nationales et internationales ont été réexaminés et de nouvelles règles d'utilisation ont été élaborées pour le Document National d'application de l'Eurocode 4.

INHAHLTSVERZEICHNIS

1.0 Einleitung

- 1.1 Problemstellung
- 1.2 Charakteristische Werte der Tragfähigkeit nach Eurocode 4
- 1.3 Charakteristische Werte der Tragfähigkeit nach den Verbundträgerrichtlinien
- 1.4 Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach Eurocode 4 und nach den Verbundträgerrichtlinien

2.0 Zusammenstellung und Auswertung von Versuchsergebnissen

- 2.1 Allgemeines
- 2.2 Versuche mit durchgeschweißten Dübeln
- 2.3 Versuche mit vorgelochten Profilblechen
- 2.4 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

3.0 Bemessungsvorschlag für das Nationale Anwendungsdokument zu Eurocode 4

- 3.1 Bemessungsvorschlag
- 3.2 Vergleich des Bemessungsvorschlags mit den Regelungen nach Eurocode 4 und nach den Verbundträgerrichtlinien

4.0 Zusammenfassung

5.0 Ausblick

6.0 Literatur

1.0 Einleitung

1.1 Problemstellung

Bei Verbundkonstruktionen des Hoch- und Industriebaus wird heute im allgemeinen ein kombinierter Decken- und Trägerverbund nach Bild 1 ausgeführt. Beim Nachweis der Verdübelung des Trägers ist dann der Einfluß des Profilbleches auf die Dübeltragfähigkeit zu berücksichtigen.

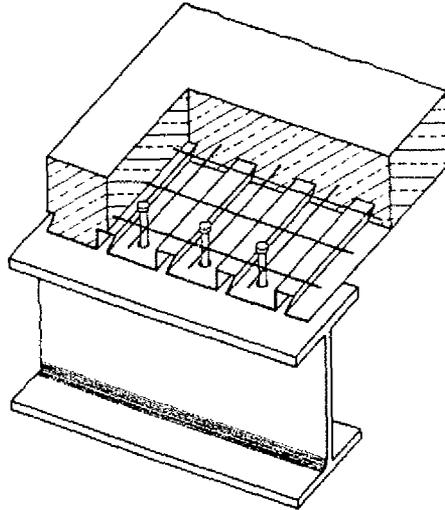


Bild 1 Kombiniertes Träger- und Deckenverbund

Die Regelungen für die Bemessungswerte der Tragfähigkeit im Eurocode 4 basieren auf einem in vielen nationalen Normen enthaltenen Berechnungsansatz, bei dem die Tragfähigkeit aus dem Bemessungswert für die Vollbetonplatte und einem zusätzlichen Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung des Profilbleches bestimmt wird. Der Anwendungsbereich ist im Eurocode 4 auf Dübel Durchmesser kleiner als 20 mm beschränkt. Zusätzlich wird vorausgesetzt, daß die Dübel durch die Bleche geschweißt werden.

Bei kleinen Rippenschlankheiten (z.B. bei Holorib-Blechen) ergibt sich der Reduktionsfaktor zu 1.0. In diesem Fall dürfen dann die rechnerischen Tragfähigkeiten der Vollbetonplatte ausgenutzt werden. Versuchsergebnisse zeigen jedoch, daß bei kleinen Rippenschlankheiten die Tragfähigkeiten der Vollbetonplatte nicht immer erreicht werden.

In Deutschland wird die Durchschweißtechnik bei Kopfbolzendübeln in Verbindung mit Profilblechen nur selten angewendet. In der Regel werden die Profilbleche über dem Stahlträger gestoßen oder sie werden vorgelocht angeliefert und auf der Baustelle über die bereits in der Werkstatt aufgeschweißten Kopfbolzendübel gestülpt. Während im europäischen Ausland in Verbindung mit Profilblechen im allgemeinen Dübel mit 19 bzw. 16 mm Durchmesser zum Einsatz kommen, werden in Deutschland neben Kopfbolzendübeln $\varnothing 19$ mm zunehmend Dübel mit Durchmessern von 22 mm eingesetzt.

Da bei durchgeschweißten Dübeln das Profilblech infolge Lochleibung zur Abtragung der Längsschubkräfte beiträgt, ist zu erwarten, daß mit den Regelungen des Eurocode 4 die Dübeltragfähigkeit bei Verwendung vorgelochter Bleche überschätzt wird. Bei durchgeschweißten Dübeln ist ferner zu bedenken, daß die Tragfähigkeit von der Dicke des Profilbleches abhängt. Während in Deutschland im allgemeinen Profilbleche mit Blechdicken bis zu 1,0 mm verwendet werden, werden im Ausland auch dickere Bleche eingesetzt.

Nachfolgend werden die Regelungen des Eurocode 4 mit denen der Verbundträgerrichtlinien verglichen und auf der Grundlage von Versuchsergebnissen im Hinblick auf die Anwendbarkeit bei vorgelochten Profilblechen bzw. durchgeschweißten Dübeln und kleineren Profilblechdicken überprüft.

1.2 Charakteristische Werte Tragfähigkeit nach Eurocode 4

Mit den Bezeichnungen nach Bild 2 ergibt sich der charakteristische Wert der Tragfähigkeit für Kopfbolzendübel, die mittels Durchschweißtechnik aufgeschweißt werden und bei denen die Profilbleche senkrecht zur Verbundträgerachse verlaufen, zu:

$$P_{Rk,k_t} = k_t \cdot P_{Rk} \quad k_t = \frac{0.7}{\sqrt{N_r}} \cdot \frac{b_o}{h_p} \left[\frac{h}{h_p} - 1 \right] \leq \begin{pmatrix} 1.0 \text{ für } N_r = 1 \\ 0.8 \text{ für } N_r = 2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Es bedeuten:

P_{Rk} charakteristischer Wert der Tragfähigkeit für Dübel in Vollbetonplatten nach Gl. 2 bzw. 3, wobei für die Zugfestigkeit des Bolzenmaterials maximal 450 N/mm² angesetzt werden darf.

N_r Anzahl der Dübel je Rippenzelle mit $N_r \leq 2$

h_p Rippenhöhe ≤ 85 mm

b_o Rippenbreite nach Bild 2 mit $b_o \geq h_p \geq 50$ mm

$h-h_p$ Einbindetiefe $\geq 2 d$ (d-Dübeldurchmesser)

Für die Bezugswerte der Vollbetonplatte gilt :

$$P_{Rk} = 0,29 \cdot d^2 \cdot \alpha \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \quad (2)$$

$$P_{Rk} = 0,8 \cdot f_{uk} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3)$$

Es bedeuten:

- d - Schaftdurchmesser des Dübels mit $\varnothing \leq 20$ mm bei Verwendung von Profilblechen
- h - Dübelhöhe mit $h \geq 3 d$
- f_{uk} - charakteristische Zugfestigkeit des Bolzenmaterials
- f_{ck} - charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
- $E_{c,m}$ - Elastizitätsmodul des Betons
- α - Faktor zur Erfassung des Einflusses der Dübelhöhe
 $\alpha = 0.2 [(h/d) + 1]$ für $3.0 \leq h/d < 4.0$
 $\alpha = 1,0$ für $h_p/d \geq 4$

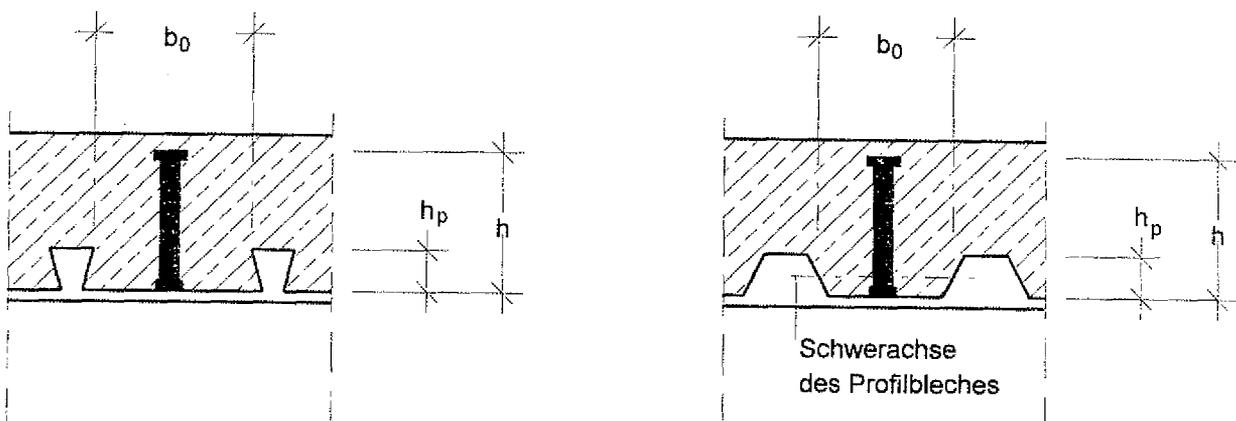


Bild 2 Rippengeometrie - Bezeichnungen

1.3 Charakteristische Werte der Tragfähigkeit nach den Verbundträgergerichtlinien

Die in den Verbundträgergerichtlinien angegebenen Tragfähigkeiten entsprechen charakteristischen Werten der Tragfähigkeit. Diesen Regelungen aus dem Jahre 1981 liegen Versuche mit vorgelochten Profilblechen zugrunde. Mit den Bezeichnungen nach Eurocode 4 stellen sich die Regelungen nach den Verbundträgergerichtlinien wie folgt dar:

$$P_{Rk,k_t} = k_t \cdot P_{Rk} \quad k_t = 0.6 \cdot \frac{b_o}{h_p} \left[\frac{h}{h_p} - 1 \right] \leq \begin{cases} 1.00 & \text{für } N_r = 1 \\ 0.75 & \text{für } N_r = 2 \end{cases} \quad (4)$$

Es bedeuten:

- P_{Rk} charakteristischer Wert der Tragfähigkeit für Dübel in Vollbetonplatten nach Gl. 5 bzw 6
- N_r Anzahl der Dübel je Rippenzelle mit $N_r \leq 2$
- h_p Rippenhöhe ≤ 85 mm
- b_o Rippenbreite $b_o \geq 40$ mm
- $h-h_p$ Einbindetiefe $\geq 2 d$ (d-Dübeldurchmesser)
- b_o/h_p Rippenschlankheit > 1.0

Die Bezugswerte der Vollbetonplatte ergeben sich nach den Verbundträgerrichtlinien zu:

$$P_{Rk} = 0,25 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \sqrt{\beta_{WN} \cdot E_b} \approx 0,286 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \quad (5)$$

$$P_{Rk} = 0,7 \cdot f_{yk} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6)$$

Es bedeuten:

- f_{yk} - charakteristischer Wert der Streckgrenze des Bolzenmaterials
 $f_{yk} \leq 350 \text{ N/mm}^2$
- f_{ck}, β_{WN} - charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons, bzw. Nennfestigkeit nach DIN 1045 $\beta_{WN,200} \approx 1,31 f_{ck,cyl}$
- $E_{c,m}, E_b$ - Elastizitätsmodul des Betons
- α - Faktor zur Erfassung des Einflusses der Dübelhöhe

1.4 Vergleich der charakteristischen Tragfähigkeiten nach EC4 und nach den Verbundträgerrichtlinien

Die Bilder 3 und 4 zeigen einen Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach EC 4 und nach den Verbundträgerrichtlinien. Man erkennt, daß die Tragfähigkeit nach dem EC 4 erheblich günstiger beurteilt wird, weil bei der Ermittlung des Bezugswertes P_k nach den Gleichungen (3) bzw. (6) unterschiedliche Festigkeiten sowie abweichende Vorfaktoren verwendet werden. Die rechnerischen Tragfähigkeiten nach dem EC4 liegen etwa 50% über den entsprechenden Werten der Verbundträgerrichtlinie. Dieser erhebliche Unterschied resultiert aus der Tatsache, daß bei den Versuchsauswertungen für den Eurocode 4 nur Versuche mit durchgeschweißten Dübeln und Profilblechdicken $t = 1,2 \text{ mm}$ zugrunde gelegt wurden. Ferner wurden Versuche mit großen und kleinen Rippenschlankheiten gemeinsam ausgewertet.

Die Regelungen der Verbundträgerrichtlinien basieren dagegen auf Versuchen, bei denen ausschließlich vorgelochte Profilbleche verwendet wurden.

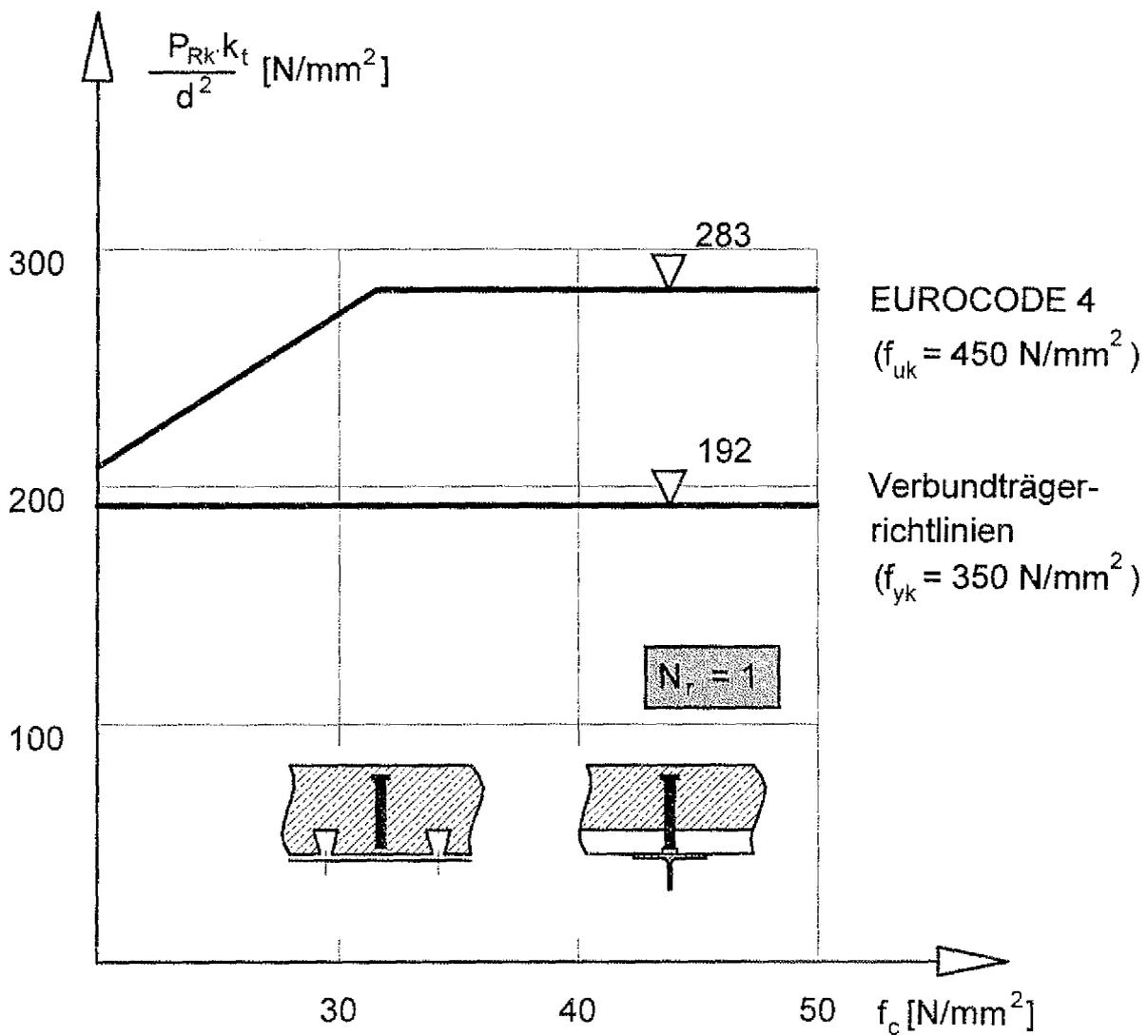


Bild 3 Charakteristische Werte der Tragfähigkeit nach EC4 und nach den Verbundträgerrichtlinien für $N_r = 1$

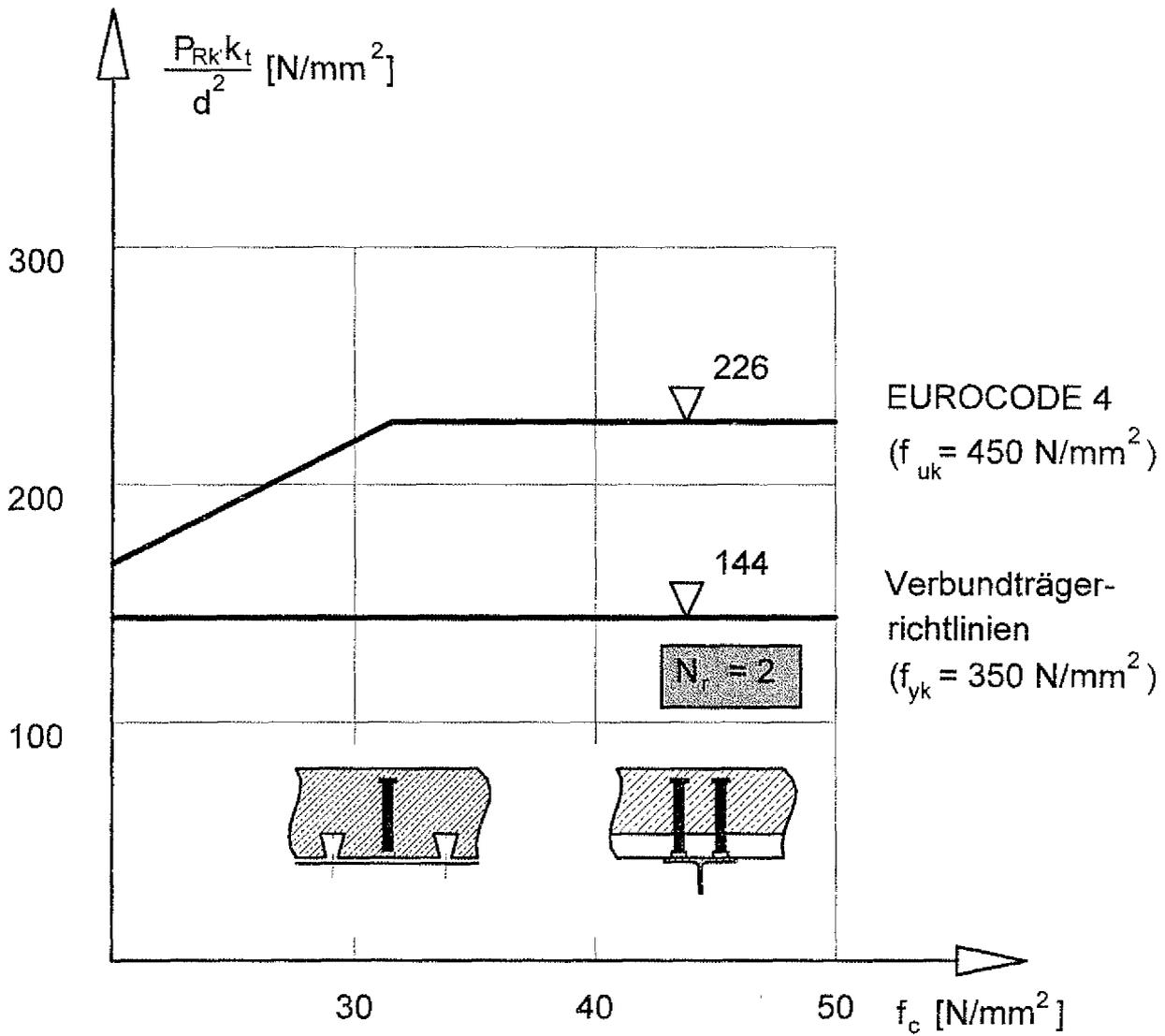


Bild 4

Charakteristische Werte der Tragfähigkeit nach EC4 und nach den Verbundträgerrichtlinien für $N_r = 2$

2.0 Zusammenstellung und Auswertung von Versuchsergebnisse

2.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die in /3-8 / angegebenen Versuchsergebnisse mit kleinen Rippenschlankheiten und durchgeschweißten Dübeln bzw. Dübeln mit vorgelochten Profilblechen zusammengestellt und neu ausgewertet. Dabei werden nur solche Versuche berücksichtigt, bei denen Normalbeton verwendet wurde, die Dübel zentrisch in den Rippen der Profilbleche angeordnet sind und die Rippenschlankheit Abminderungsbeiwerte $k \geq 1,0$ bei $N_r = 1$ bzw. $k \geq 0,8$ bei $N_r = 2$ liefert.

Die Betondruckfestigkeiten wurden bei den Versuchen an unterschiedlichen Prüfkörpern ermittelt. Ferner erfolgte die Lagerung der Probekörper abweichend von Eurocode 2. Zur Berücksichtigung dieser beiden Einflußparameter bei der Ermittlung der Zylinderdruckfestigkeit nach EC2 werden die in /9/ angegebenen Umrechnungsfaktoren verwendet.

In der Regel wurde bei den Versuchen der Elastizitätsmodul des Betons nicht experimentell bestimmt. Für die Auswertung der Versuchsergebnisse wird der im Eurocode 2 angegebene Zusammenhang zwischen der Zylinderdruckfestigkeit und dem Sekantenmodul E_{cm} des Betons verwendet.

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3} = 9500 \cdot f_c^{1/3} \quad [N/mm^2] \quad (7)$$

Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt auf der Grundlage des Anhang Z des Eurocode 3 /8, 9/. Da für die Ermittlung der charakteristischen Werte der Tragfähigkeiten die Werte der Vollbetonplatte nur als Bezugswerte verwendet werden, können die theoretischen Tragfähigkeiten $P_{t,kt}$ mit dem Rechenmodell nach Gl. (1) bestimmt werden. Mit den Bezeichnungen nach Abschnitt 1.2 folgt dann:

- Dübeltragfähigkeit unter Berücksichtigung des Profilbleches:

$$P_{t,kt} = P_t \cdot k_t \quad k_t = \frac{0,7}{\sqrt{N_R}} \frac{b_o}{h_p} \left[\frac{h}{h_p} - 1 \right] \leq k_{tr} \quad (8)$$

mit $k_{tr} = 1,0$ für $N_r = 1$ und $k_{tr} = 0,8$ für $N_r = 2$.

-Dübeltragfähigkeit der Vollbetonplatte:

$$P_t \leq 0,29 d^2 \sqrt{f_c \cdot E_{cm}} \leq 0,8 f_u \frac{\pi d^2}{4} \quad (9)$$

- Vergleich der Rechenwerte $P_{t,kt}$ mit den experimentellen Werten P_e und Mittelwertkorrektur:

$$b_i = \frac{P_{ei}}{P_{t,kti}} \quad \bar{b} = \frac{1}{n} \sum b_i \quad (10)$$

-Berechnung der Fehlerterme:

$$\delta_i = \frac{P_{ei}}{b \cdot P_{tkti}} \quad \bar{\delta}_i = \frac{1}{n} \sum \delta_i = 1,0 \quad (11)$$

- Standardabweichung der Fehlerterme:

$$s_\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum \delta_i^2 - n \bar{\delta}_i^2 \right)} \quad (12)$$

- charakteristischer Wert des Abminderungsfaktors k_t :

$$k_{t,k} = \bar{b} \exp \left[-k_s \cdot s_\delta - \frac{1}{2} s_\delta^2 \right] \quad (13)$$

Der Fraktillfaktor k_s ist hierbei von der Versuchsanzahl abhängig und wird nach /9/ berechnet. Ferner ist zu beachten, daß der charakteristische Wert k_t nach Gl. (13) bei zwei Dübeln je Rippe bereits auf den Wert $k_{tr} = 0,8$ bezogen ist.

2.2 Versuche mit durchgeschweißten Dübeln

Nachfolgend werden die Versuche nach /5 - 7/ mit durchgeschweißten Dübeln zusammengestellt. Um den Einfluß der Dicke des Profilbleches zu erfassen, werden zwei Klassen von Versuchsergebnissen mit $t \leq 1,0\text{mm}$ und $t \geq 1,2\text{ mm}$ getrennt ausgewertet. In den Tabellen 1A und 1B sind die Versuche mit einem Dübel je Rippe und Profilblechdicken $t = 1,2\text{ mm}$ zusammengestellt. Die Tabellen 2A und 2B zeigen ebenfalls Versuche mit Blechdicken $t = 1,2\text{ mm}$. Hier sind jedoch zwei Dübel je Rippe angeordnet. Die Tabellen 3A und 3B zeigen Versuche mit einem Dübel je Rippe und Blechdicken $t \leq 1,0\text{ mm}$.

2.3 Versuche mit vorgelochten Profilblechen

Die Tabellen 4A, 4B, 5A und 5B enthalten die Versuchsergebnisse mit vorgelochten Profilblechen.

Nr.	Lit.	Beton		Dübel				Profilblech			
		E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	Profilblech	t	b_0	h_p
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm			mm	mm	mm
1	6	25400	19,2	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
2	6	25400	19,2	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
3	6	25400	19,2	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
4	6	28700	27,6	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
5	6	28700	27,6	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
6	6	28700	27,6	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
7	6	30500	33,2	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
8	6	30500	33,2	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
9	6	30500	33,2	477,5	19	95	1	Superholorib	1,2	114	51
10	6	28000	25,6	477,5	19	97,2	1	Superholorib	1,2	114	51

Tabelle 1A: Versuche mit durchgeschweißten Dübeln, Blechdicke t=1,2 mm, ein Dübel je Rippenzelle

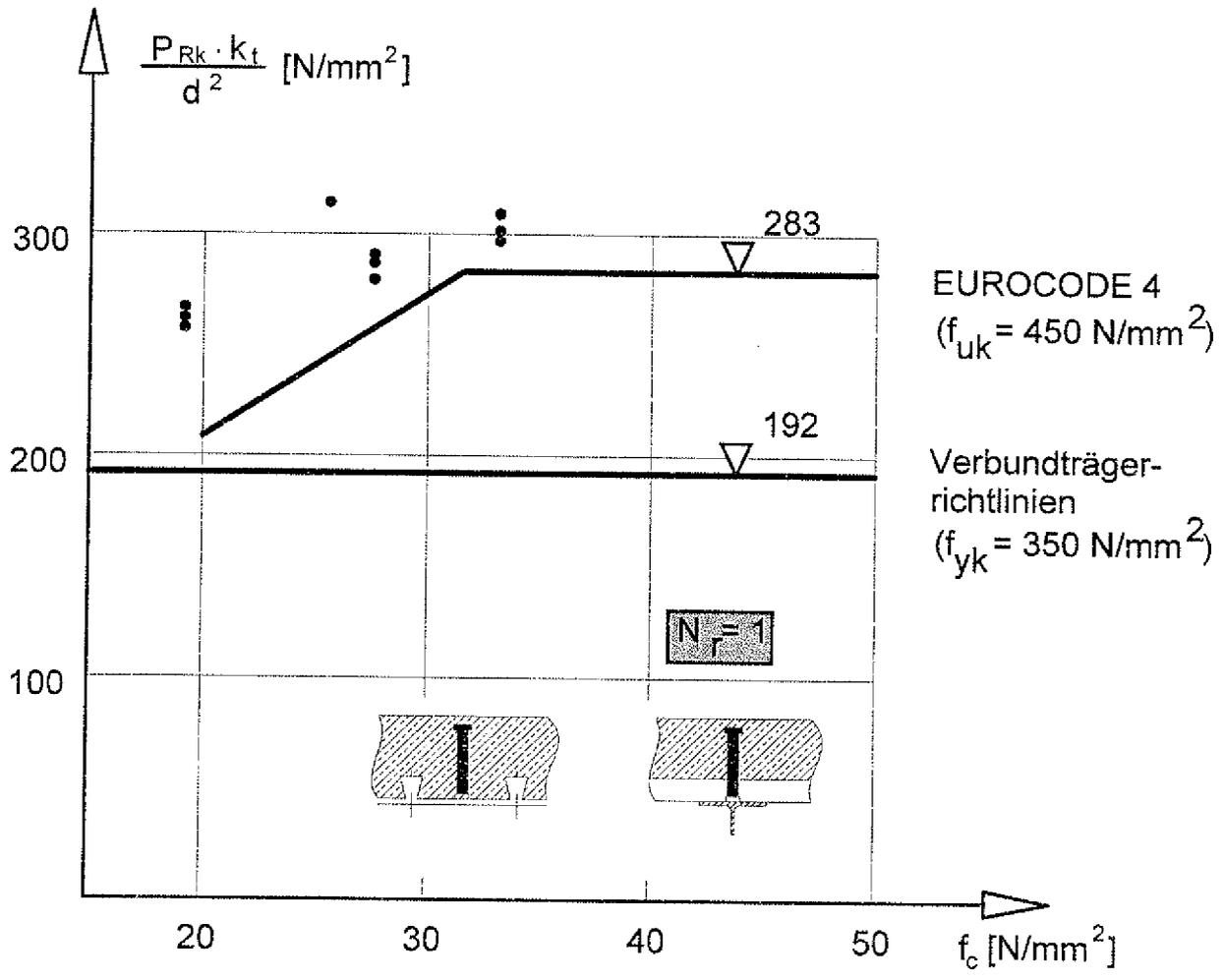


Bild 5 Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach /6/ mit Versuchswerten (durchgeschweißte Dübel, Profilblechdicke $t = 1,2 \text{ mm}$, $N_F = 1$)

Nr.	Lit.	E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	P_e	P_t	b_0	h_p	k_t	k_{tr}	P_{tk}	b_i	δ_i
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	-	kN	kN	mm	mm	-	-	kN	-	-
1	6	25400	19,2	477,5	19	95	1	93,8	73,1	114	51	1,35	1,0	73,1	1,283	1,109
2	6	25400	19,2	477,5	19	95	1	95,5	73,1	114	51	1,35	1,0	73,1	1,306	1,129
3	6	25400	19,2	477,5	19	95	1	92,9	73,1	114	51	1,35	1,0	73,1	1,271	1,098
4	6	28700	27,6	477,5	19	95	1	104,5	93,0	114	51	1,35	1,0	93,0	1,124	0,971
5	6	28700	27,6	477,5	19	95	1	100,9	93,0	114	51	1,35	1,0	93,0	1,085	0,938
6	6	28700	27,6	477,5	19	95	1	103,6	93,0	114	51	1,35	1,0	93,0	1,114	0,963
7	6	30500	33,2	477,5	19	95	1	108,9	105,4	114	51	1,35	1,0	105,4	1,033	0,893
8	6	30500	33,2	477,5	19	95	1	107,2	105,4	114	51	1,35	1,0	105,4	1,017	0,879
9	6	30500	33,2	477,5	19	95	1	111,6	105,4	114	51	1,35	1,0	105,4	1,059	0,915
10	6	28000	25,6	477,5	19	97,2	1	113,4	88,6	114	51	1,41	1,0	88,6	1,280	1,106

Tabelle 1B: Versuche mit durchgeschweißten Dübeln, ein Dübel je Rippenzelle und Blechdicken $t = 1,2$ mm

		Beton			Dübel			Profilbleche			
Nr	Lit.	E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	Profilbleche	t	b_0	h_p
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm			mm	mm	mm
1	6	28100	25,9	477,5	19	98,9	2	Superholorib	1,2	114,5	51
2	6	28100	25,9	477,5	19	98,6	2	Superholorib	1,2	114,5	51
3	6	28100	25,9	477,5	19	98,9	2	Superholorib	1,2	114,5	51
4	6	28800	28,0	525,5	19	98,1	2	Superholorib	1,2	114,5	51
5	6	28800	28,0	525,5	19	97,9	2	Superholorib	1,2	114,5	51
6	6	27700	24,7	525,5	19	97,7	2	Ribdeck 60	1,2	163,0	60
7	6	27700	24,7	525,5	19	97,7	2	Ribdeck 60	1,2	163,0	60
8	6	28800	28,0	525,5	19	96,5	2	Ribdeck 60	1,2	163,0	60
9	6	28800	28,0	525,5	19	96,3	2	Ribdeck 60	1,2	163,0	60

Tabelle 2A: Versuche mit durchgeschweißten Profilblechen, 2 Dübel je Rippe, Blechdicke $t = 1,2$ mm

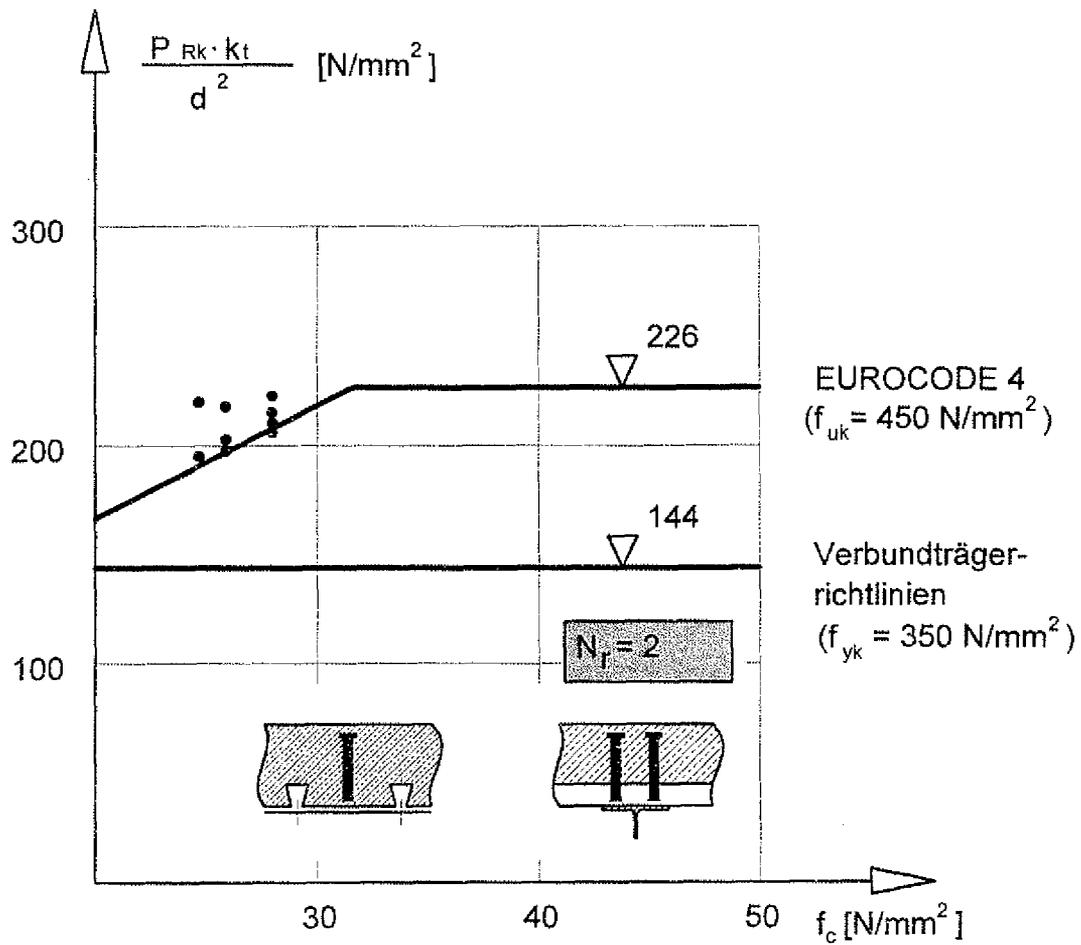


Bild 6 Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach /6/ mit Versuchswerten (durchgeschweißte Dübel, Blechdicke $t = 1,2$ mm, $N_f = 2$)

Nr	Lit.	E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	P_e	P_t	b_0	h_p	k_t	k_{tr}	P_{tk}	b_i	δ_i
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	-	kN	kN	mm	mm	-	-	kN	-	-
1	6	28100	25,9	477,5	19	98,9	2	71,4	89,4	114,5	51	1,04	0,8	71,5	0,999	0,958
2	6	28100	25,9	477,5	19	98,6	2	72,3	89,4	114,5	51	1,03	0,8	71,5	1,011	0,970
3	6	28100	25,9	477,5	19	98,9	2	78,7	89,4	114,5	51	1,02	0,8	71,5	1,101	1,056
4	6	28800	28,0	525,5	19	98,1	2	80,4	94,0	114,5	51	1,02	0,8	75,2	1,069	1,025
5	6	28800	28,0	525,5	19	97,9	2	77,7	94,0	114,5	51	0,84	0,8	75,2	1,033	0,991
6	6	27700	24,7	525,5	19	97,7	2	79,5	86,6	163,0	60	0,84	0,8	69,3	1,147	1,100
7	6	27700	24,7	525,5	19	97,7	2	70,5	86,6	163,0	60	0,84	0,8	69,3	1,018	0,976
8	6	28800	28,0	525,5	19	96,5	2	75,0	94,0	163,0	60	0,81	0,8	75,2	0,997	0,956
9	6	28800	28,0	525,5	19	96,3	2	75,9	94,0	163,0	60	0,82	0,8	75,2	1,009	0,968

Tabelle 2B: Versuche mit durchgeschweißten Dübeln, 2 Dübeln je Rippe und Blechdicken $t=1,2$ mm

Nr.	Lit.	Beton		Dübel				Profilblech			
		E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	Profilblech	t	b_0	h_p
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm			mm	mm	mm
1	5	28700	27,5	463	19	100	1	Superholorib	1,00	114,5	51
2	5	29000	28,6	463	19	100	1	Superholorib	1,00	114,5	51
3	5	29600	30,3	463	19	100	1	Superholorib	1,00	114,5	51
4	5	29000	28,5	463	19	100	1	Cofrastra	0,88	103,5	40
5	5	28500	27,0	463	19	100	1	Cofrastra	0,88	103,5	40
6	5	29800	30,9	463	19	100	1	Cofrastra	0,88	103,5	40

Tabelle 3A: Versuche mit durchgeschweißten Dübeln, einem Dübel je Rippe und Blechdicken $t \leq 1,0\text{mm}$

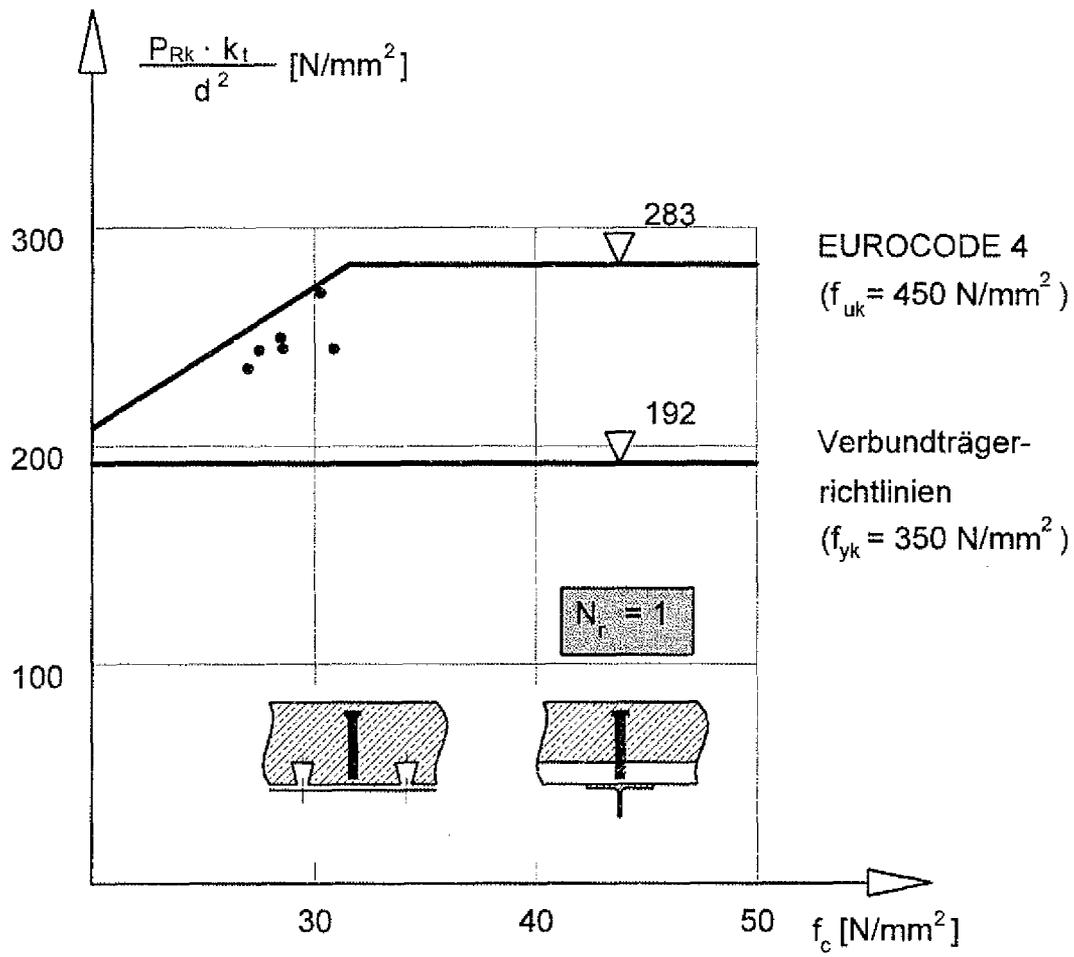


Bild 7 Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach /5/ mit Versuchswerten (durchgeschweißte Dübel, Blechdicke $t = 1,0 \text{ mm}$, $N_r = 1$)

Nr.	Lit.	E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	P_e	P_t	b_0	h_p	k_t	$k_{t,r}$	$P_{t,kt}$	b_i	δ_i
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	-	kN	kN	mm	mm	-	-	kN	-	-
1	5	28700	27,5	463	19	100	1	88,1	93,0	114,5	51	1,51	1,0	93,0	0,947	1,013
2	5	29000	28,6	463	19	100	1	88,4	95,3	114,5	51	1,51	1,0	95,3	0,928	0,992
3	5	29600	30,3	463	19	100	1	97,6	99,1	114,5	51	1,51	1,0	99,1	0,985	1,053
4	5	29000	28,5	463	19	100	1	90,2	95,2	103,5	40	2,71	1,0	95,2	0,947	1,013
5	5	28500	27,0	463	19	100	1	85,1	91,8	103,5	40	2,71	1,0	91,8	0,927	0,991
6	5	29800	30,9	463	19	100	1	88,3	100,5	103,5	40	2,71	1,0	100,5	0,879	0,939

Tabelle 3B: Versuche mit durchgeschweißten Dübeln, ein Dübel je Rippe, Blechdicke $t \leq 1,0$ mm

Nr.	Lit.	Beton		Dübel				Profilblech			
		E_c N/mm ²	f_c N/mm ²	f_u N/mm ²	d mm	h mm	N_r	Profilblech	t mm	b_o mm	h_p mm
1	3	32000	38,3	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
2	3	32000	38,3	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
3	3	31500	36,5	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
4	3	31500	36,5	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
5	3	32200	39,1	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
6	3	32200	39,1	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
7	3	32000	38,3	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
8	3	32000	38,3	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
9	3	31700	37,4	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
10	3	31700	37,4	460	22	100	1	Holorib	0,88	114,0	51
11	5	27900	25,3	463	19	100	1	Cofrastra	0,88	103,5	40
12	5	28200	26,1	463	19	100	1	Cofrastra	0,88	103,5	40
13	5	29200	29,1	463	19	100	1	Cofrastra	0,88	103,5	40
14	5	28600	27,5	463	19	100	1	Superholorib	1,0	114,5	51
15	5	28800	28,0	463	19	100	1	Superholorib	1,0	114,5	51
16	5	29200	29,0	463	19	100	1	Superholorib	1,0	114,5	51

Tabelle 4A: Versuche mit vorgelochten Profilblechen und einem Dübel je Rippe

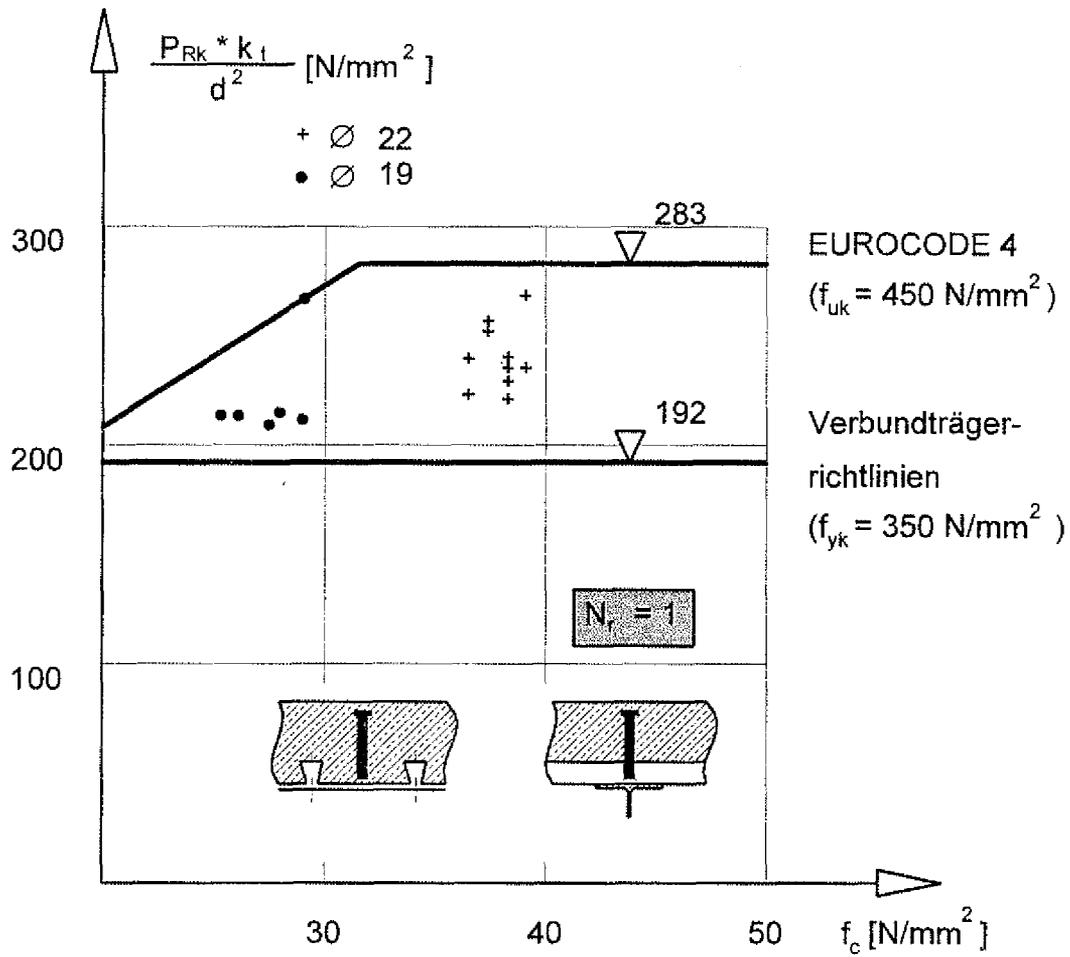


Bild 8 Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach /3/ und /5/ mit Versuchswerten (vorgelochte Profilbleche, $N_r = 1$)

Nr.	Lit.	E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	P_e	P_t	b_0	h_p	k_t	k_{tr}	P_{tkt}	b_i	δ_i
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	-	kN	kN	mm	mm	-	-	kN	-	-
1	3	32000	38,3	460	22	100	1	114,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,815	0,969
2	3	32000	38,3	460	22	100	1	107,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,765	0,909
3	3	31500	36,5	460	22	100	1	108,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,770	0,915
4	3	31500	36,5	460	22	100	1	116,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,830	0,986
5	3	32200	39,1	460	22	100	1	114,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,815	0,969
6	3	32200	39,1	460	22	100	1	130,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,930	1,105
7	3	32000	38,3	460	22	100	1	111,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,794	0,994
8	3	32000	38,3	460	22	100	1	115,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,823	0,978
9	3	31700	37,4	460	22	100	1	122,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,873	1,037
10	3	31700	37,4	460	22	100	1	123,0	139,8	114,0	51	1,5	1,0	139,8	0,880	1,046
11	5	27900	25,3	463	19	100	1	77,1	87,9	103,5	40	2,71	1,0	87,9	0,877	1,042
12	5	28200	26,1	463	19	100	1	77,1	89,8	103,5	40	2,71	1,0	89,8	0,859	1,021
13	5	29200	29,1	463	19	100	1	96,3	96,5	103,5	40	2,71	1,0	96,5	0,990	1,177
14	5	28600	27,5	463	19	100	1	75,5	92,8	114,5	51	1,5	1,0	92,8	0,814	0,967
15	5	28800	28,0	463	19	100	1	77,6	94,0	114,5	51	1,5	1,0	94,0	0,826	0,982
16	5	29200	29,0	463	19	100	1	76,4	96,3	114,5	51	1,5	1,0	96,3	0,793	0,942

Tabelle 4B: Versuche mit vorgelochten Profilblechen und einem Dübel je Rippe

Nr.	Lit.	Beton		Dübel				Profilblech			
		E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	Profilblech	t	b_0	h_p
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm			mm	mm	mm
1	4	31300	35,9	550	22	125	2	Holorib	1,0	114	51
2	4	31300	35,9	550	22	125	2	Holorib	1,0	114	51
3	4	31300	35,9	550	22	125	2	Holorib	1,0	114	51
4	4	30800	34,0	550	22	125	2	Holorib	1,0	114	51
5	4	30800	34,0	550	22	125	2	Holorib	1,0	114	51

Tabelle 5 A: Versuche mit vorgelochten Blechen und zwei Dübeln je Rippe

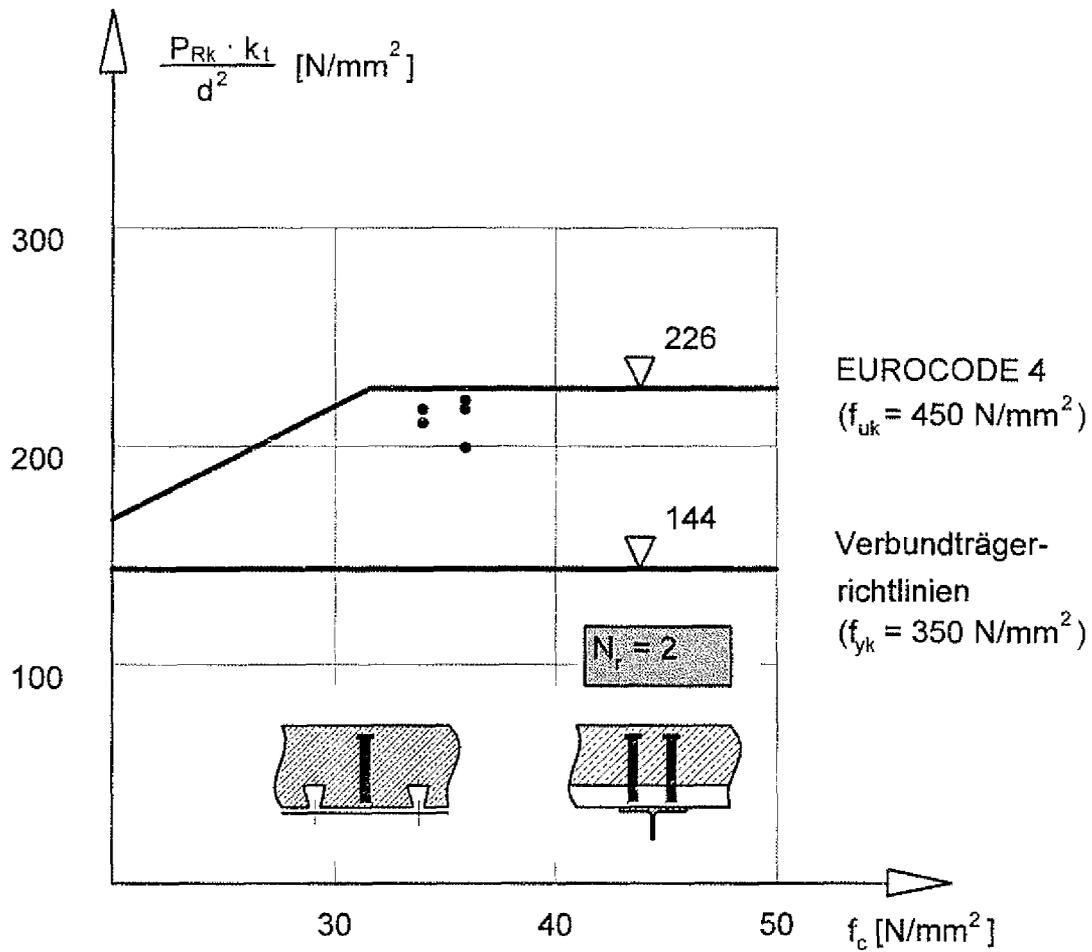


Bild 9 Vergleich der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nach /4/ mit Versuchswerten (vorgelochte Profilbleche, $N_r = 2$)

Nr.	Lit.	E_c	f_c	f_u	d	h	N_r	P_e	P_t	b_0	h_p	k_t	$k_{t,r}$	$P_{t,kt}$	b_i	δ_i
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm		kN	kN	mm	mm			kN		
1	4	31300	35,9	550	22	125	2	107,0	149,0	114	51	1,6	0,8	119,2	0,898	1,022
2	4	31300	35,9	550	22	125	2	96,5	149,0	114	51	1,6	0,8	119,2	0,810	0,922
3	4	31300	35,9	550	22	125	2	106,0	149,0	114	51	1,6	0,8	119,2	0,889	1,012
4	4	30800	34,0	550	22	125	2	102,0	144,0	114	51	1,6	0,8	115,2	0,885	1,007
5	4	30800	34,0	550	22	125	2	105,0	144,0	114	51	1,6	0,8	115,2	0,911	1,037

Tabelle 5B: Versuche mit vorgelochten Blechen und zwei Dübeln je Rippe

2.4 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

In der auf Seite 26 dargestellten Tabelle 6 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung entsprechend Abschnitt 2.1 zusammengestellt. Die Bilder 10 bis 14 zeigen nochmals einen Vergleich der Regelungen nach Eurocode 4 bzw. nach den Verbundträgerrichtlinien mit den Versuchsergebnissen und den in Tabelle 6 ermittelten charakteristischen Tragfähigkeiten unter Berücksichtigung des oberen Grenzwertes für den Abminderungsfaktor k_t . Diese Werte sind in den Bildern als strichlierte Kurven angegeben.

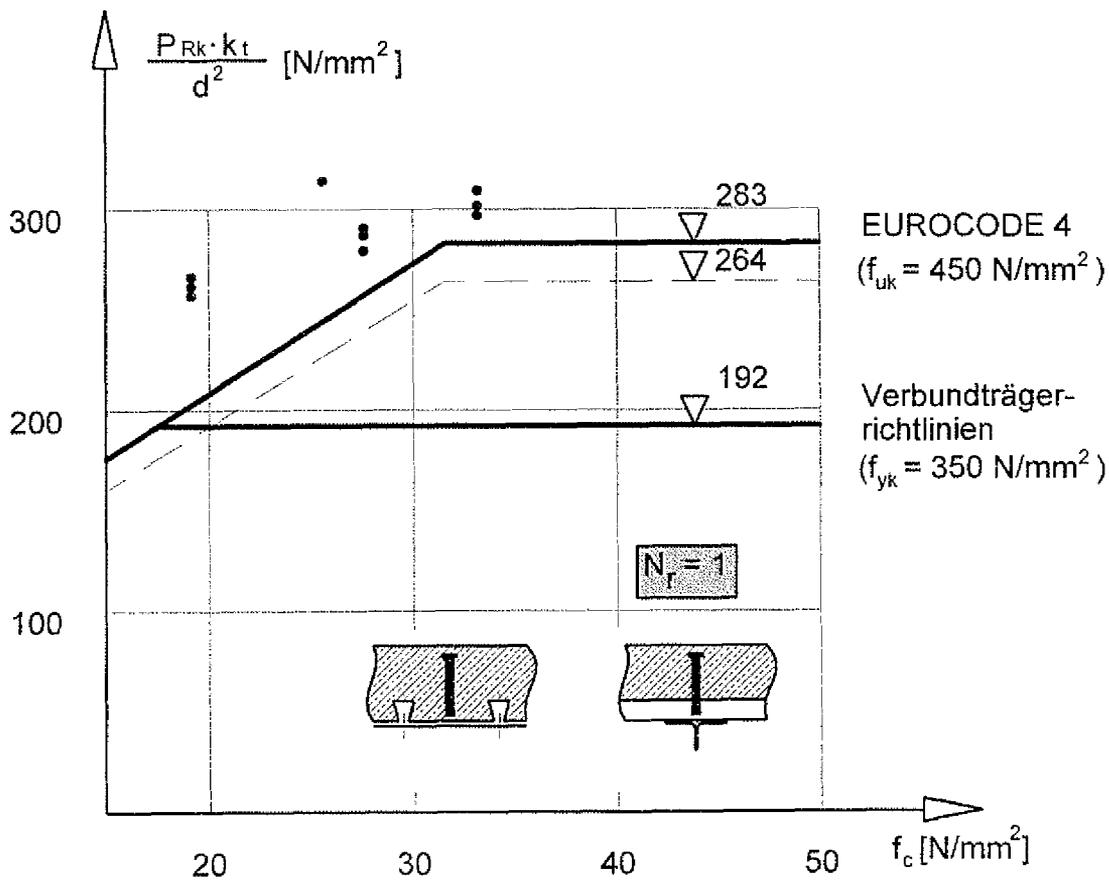


Bild 10 Vergleich der Versuchswerte mit dem charakteristischen Werten für durchgeschweißte Dübel, $N_t = 1$ und $t = 1,2$ mm

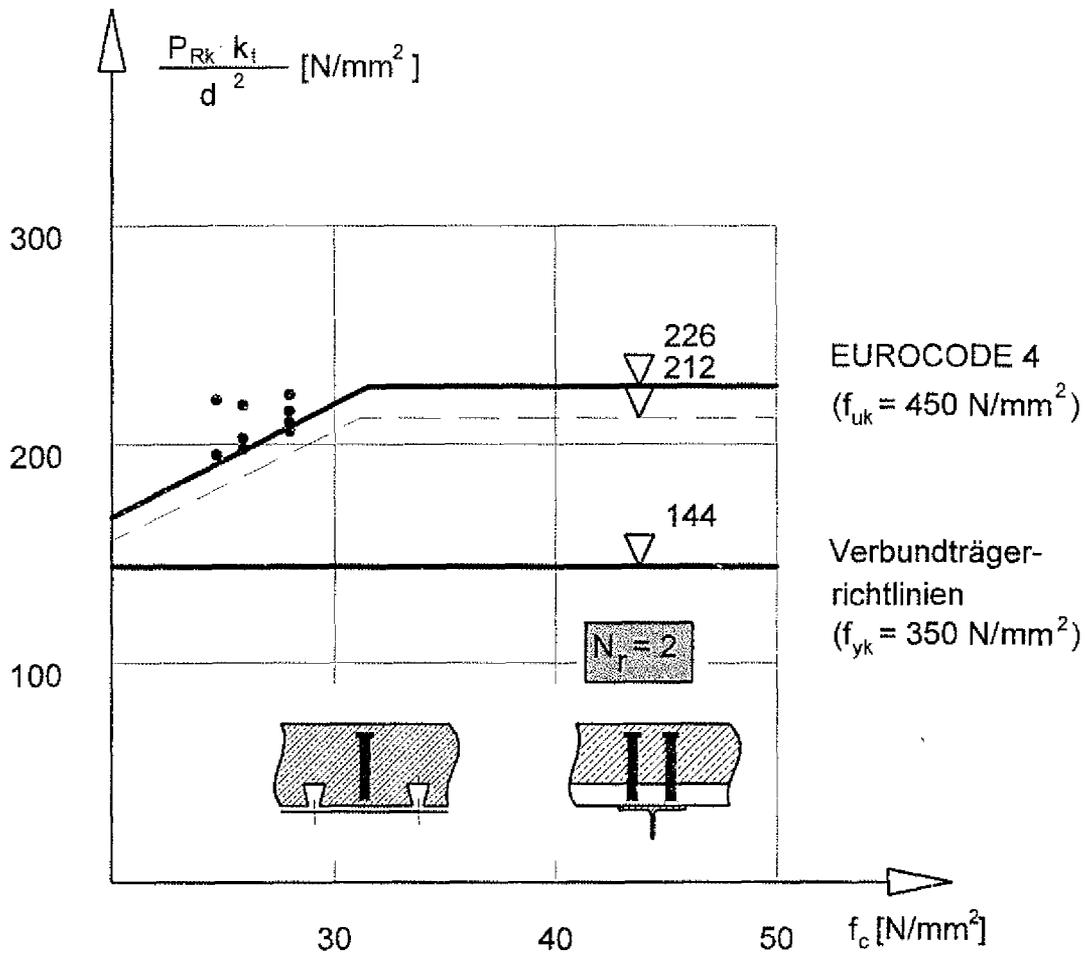


Bild 11

Vergleich der Versuchswerte mit dem charakteristischen Wert für durchgeschweißte Dübel, $N_f = 2$ und $t = 1,2$ mm

	durchgeschweißte Dübel			vorgelochte Profilbleche	
	Blechdicke $t = 1,2$ mm Dübelanzahl $N_r = 1$	Blechdicke $t = 1,2$ mm Dübelanzahl $N_r = 2$	Blechdicke $t \leq 1,0$ mm Dübelanzahl $N_r = 1$	Dübelanzahl $N_r = 1$	Dübelanzahl $N_r = 2$
Mittelwert \bar{b}	1,157	1,0427	0,935	0,841	0,879
Standardabweichung s_b	0,100	0,0493	0,0373	0,0592	0,045
Anzahl der Versuche	10	9	6	16	5
Fraktalfaktor	2,10	2,14	2,33	1,98	2,46
5% Fraktile	0,933	0,937	0,857	0,747	0,786
oberer Grenzwert des Abminderungsfaktors k_t	0,933	$0,8 \cdot 0,937 = 0,75$	0,857	0,747	$0,8 \cdot 0,786 = 0,629$

Tabelle 6: statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

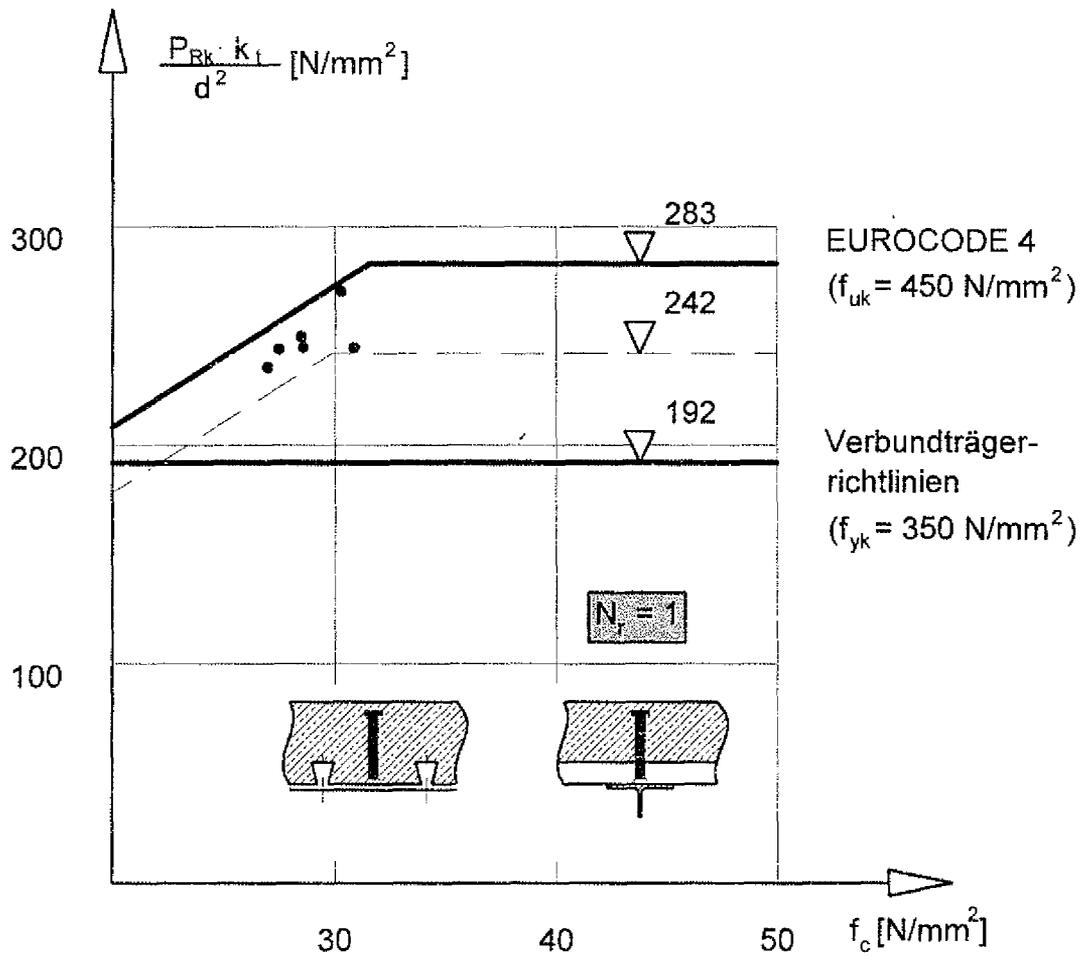


Bild 12

Vergleich der Versuchswerte mit dem charakteristischen Wert für durchgeschweißte Dübel, $N_f = 1$ und $t \leq 1,0$ mm

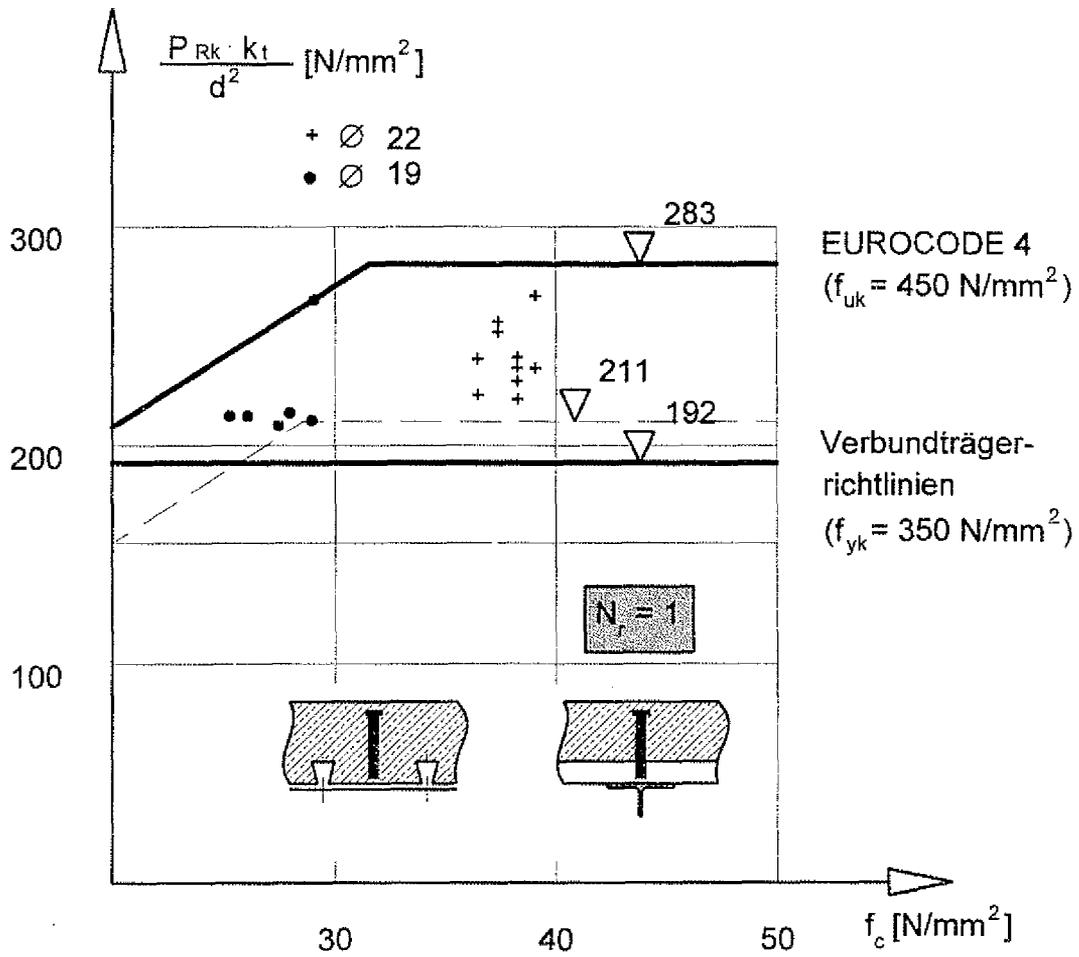


Bild 13

Vergleich der Versuchswerte mit dem charakteristischen Wert für vorgelochte Bleche und $N_r = 1$

3.0 Regelungen für das Nationale Anwendungsdokument zu Eurocode 4

3.1 Bemessungsvorschlag

Die statistische Auswertung nach Abschnitt 2.4 verdeutlicht, daß bei der Festlegung der oberen Grenzwerte für den Abminderungsfaktor k_t nach Gleichung 1 zwischen durchgeschweißten und vorgelochten Profilblechen unterschieden werden muß. Bei den durchgeschweißten Blechen ist ferner der Einfluß der Blechdicke des Profilbleches zu berücksichtigen. Mit den Werten nach Tabelle 6 ergeben sich die in Tabelle 7 zusammengestellten oberen Grenzwerte für den Abminderungsfaktor $k_{t, \text{grenz}}$.

Für durchgeschweißte Dübel mit Blechdicken $t \leq 1,0$ mm und zwei Dübeln je Rippe liegen keine Versuchsergebnisse vor. Der obere Grenzwert kann näherungsweise aus den Versuchsergebnissen mit Blechdicken $t = 1,2$ mm ermittelt werden. Mit den Werten nach Abschnitt 2 folgt dann für $N_r = 2$ und $t = 1,0$ mm:

$$k_t = \frac{k_t(N_r=2, t=1.2)}{k_t(N_r=1, t=1.2)} \cdot k_t(N_r=1, t=1.0) = \frac{0,8 \cdot 0,9375}{0,933} \cdot 0,85 = 0,683 \approx 0,7$$

Für das nationale Anwendungsdokument zu Eurocode 4 erhält man dann den folgenden Bemessungsvorschlag für die Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln in den Rippen von senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen:

$$P_{Rd} = k_t \cdot P_{Rk} \frac{1}{\gamma_v} \quad k_t = \frac{0,7}{\sqrt{N_r}} \cdot \frac{b_o}{h_p} \left[\frac{h}{h_p} - 1 \right] \leq k_{t, \text{grenz}} \quad (14)$$

Es bedeuten:

- P_{Rk} charakteristischer Wert der Tragfähigkeit für Dübel in Vollbetonplatten nach Gl. 15 bzw. 16, wobei für die Zugfestigkeit des Bolzenmaterials maximal 450 N/mm^2 angesetzt werden darf.
- N_r Anzahl der Dübel je Rippenzelle mit $N_r \leq 2$
- h_p Rippenhöhe ≤ 85 mm
- b_o Rippenbreite nach Bild 2 mit $b_o \geq h_p \geq 50$ mm
- $h-h_p$ Einbindetiefe $\geq 2 d$ (d -Dübeldurchmesser)
- $k_{t, \text{grenz}}$ oberer Grenzwert für den Abminderungsfaktor k_t nach Tabelle 7

Für die Bezugswerte der Vollbetonplatte gilt :

$$P_{Rk} = 0,29 \cdot d^2 \cdot \alpha \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \quad (15)$$

$$P_{Rk} = 0,8 \cdot f_{uk} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (16)$$

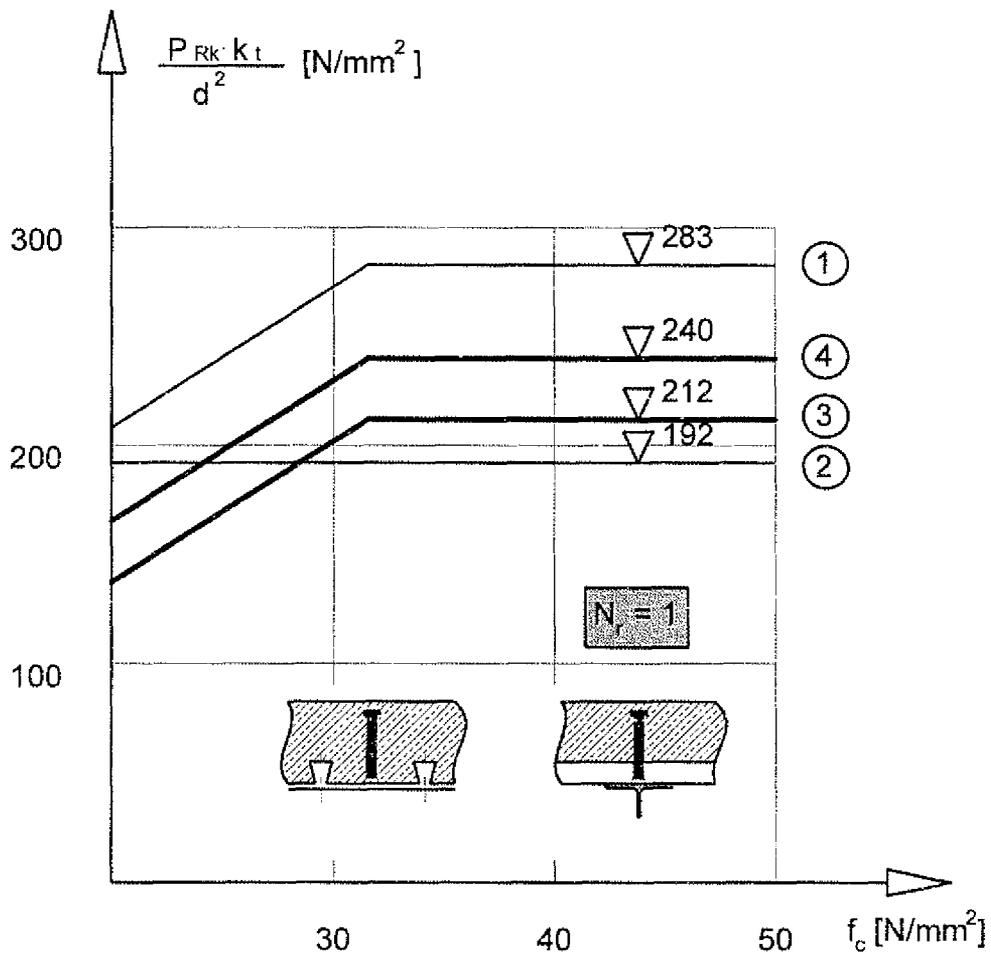
- d - Schaftdurchmesser des Dübels mit $\varnothing \leq 20$ mm bei durchgeschweißten Dübeln und $\varnothing \leq 22$ mm bei Verwendung von vorgelochten Profilblechen
- h - Dübelhöhe mit $h \geq 3 d$
- f_{uk} - charakteristische Zugfestigkeit des Bolzenmaterials, die maximal mit 450 N/mm^2 angesetzt werden darf
- f_{ck} - charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
- $E_{c,m}$ - Elastizitätsmodul des Betons
- α - Faktor zur Erfassung des Einflusses der Dübelhöhe
 $\alpha = 0,2 [(h/d) + 1]$ für $3,0 \leq h/d < 4,0$
 $\alpha = 1,0$ für $h/d \geq 4$

Anzahl der Dübel je Rippe	durchgeschweißte Dübel, Blechdicke $t = 1,2\text{mm}$	durchgeschweißte Dübel, Blechdicke $t \leq 1,0 \text{ mm}$	vorgelochte Profilbleche
$N_r = 1$	0,90	0,85	0,75
$N_r = 2$	0,75	0,70	0,60

Tabelle 7 obere Grenzwerte für den Abminderungsfaktor $k_{t, \text{grenz}}$

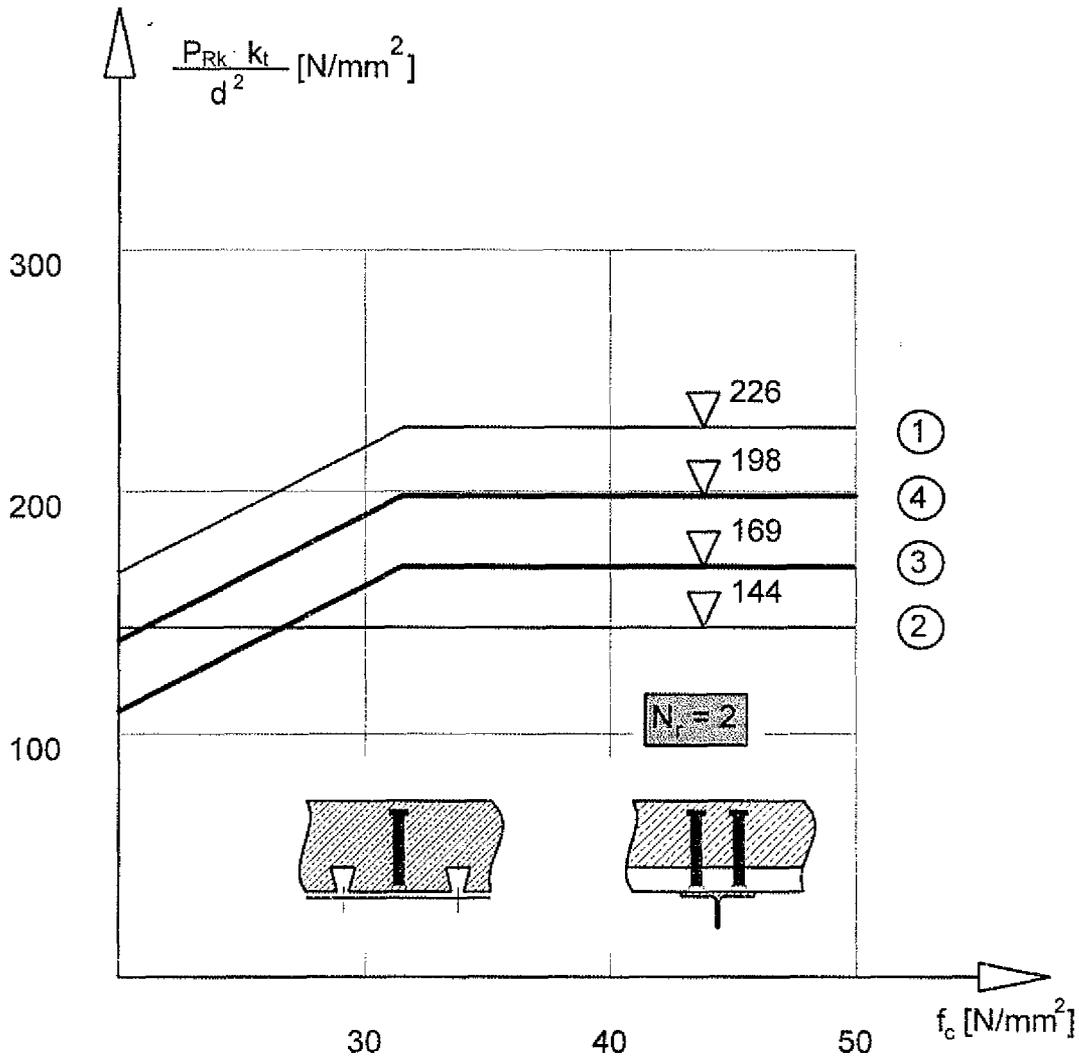
3.2 Vergleich des Bemessungsvorschlages mit den Regelungen nach EC4 und nach den Verbundträgerrichtlinien

In den nachfolgenden Bildern 15 und 16 ist der Bemessungsvorschlag nach Abschnitt 3.1 dargestellt. Man erkennt im Vergleich mit den Regelungen des EC4 und denen der Verbundträgerrichtlinien, daß für die in Deutschland verwendeten vorgelochten Profilbleche sowie für durchgeschweißte Dübel mit Blechdicken $t \leq 1,0 \text{ mm}$ eine deutliche Abminderung der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit erforderlich ist.



- ① Eurocode 4 ($f_{uk} = 450 \text{ N/mm}^2$)
- ② Verbundträgerrichtlinie $f_{yk} = 350 \text{ N/mm}^2$
- ③ Bemessungsvorschlag für vorgelochte Profilbleche
- ④ Bemessungsvorschlag für durchgeschweißte Dübel und $t_{Bl} \leq 1,0 \text{ mm}$

Bild 15 Vergleich der Bemessungsvorschläge mit den Regelungen nach Eurocode 4 und nach den Verbundträgerrichtlinien für $N_r = 1$



- ① Eurocode 4 ($f_{uk} = 450 \text{ N/mm}^2$)
- ② Verbundträgerrichtlinie $f_{yk} = 350 \text{ N/mm}^2$
- ③ Bemessungsvorschlag für vorgelochte Profilbleche
- ④ Bemessungsvorschlag für durchgeschweißte Dübel und $t_{Bl} \leq 1,0 \text{ mm}$

Bild 16 Vergleich der Bemessungsvorschläges mit den Regelungen nach Eurocode 4 und nach den Verbundträgerrichtlinien für $N_f = 2$

4.0 Zusammenfassung

Verbundträger mit Gurten aus senkrecht zum Träger verlaufenden Profilblechen werden in Deutschland im allgemeinen mit vorgelochten Profilblechen ausgeführt, die auf der Baustelle über die werkseitig aufgeschweißten Kopfbolzendübel gestülpt werden. Bei Industriebauwerken werden dabei überwiegend Kopfbolzendübel mit Durchmessern von 22 mm verwendet. Die Regelungen des Eurocode 4 Teil 1-1 gelten jedoch nur für durchgeschweißte Kopfbolzen mit Durchmessern kleiner als 20 mm, bei denen das Profilblech im Gegensatz zu vorgelochten Blechen zusätzlich infolge der Lochleibungstragfähigkeit des Bleches zur Aufnahme der Längsschubkraft beiträgt. In anderen Fällen ist nach EC4 Teil 1-1 die Grenzscherkraft des Dübels durch Versuche nachzuweisen. Dieser Nachweis kann durch die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführte Auswertung nationaler und internationaler Versuchsergebnisse für die zuvor genannten in Deutschland gebräuchlichen Fälle als erbracht angesehen werden.

Die Auswertung zeigte außerdem, daß bei durchgeschweißten Kopfbolzendübeln mit dünnen Profilblechen ($t \leq 1,0$ mm) und gleichzeitig kleinen Rippenschlankheiten die Regelung nach EC4 Teil 1-1 zu günstige Ergebnisse liefert (siehe Bild 12) und im Hinblick auf die derzeit gültigen Regelungen in den "Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern" die deutschen Sicherheitsanforderungen nicht erfüllt.

Die Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln bei Verwendung von Profilblechen wird im EC4 Teil 1-1 durch Abminderung der Dübeltragfähigkeit für Vollbetonplatten mit einem Reduktionsfaktor k_t bestimmt. Für die Anwendung des EC4 Teil 1-1 in Deutschland wird aus vorgenannten Gründen empfohlen, diese Abminderungsfaktoren in der gemäß Tabelle 7 ergänzten und modifizierten Form in die Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1994 Teil 1-1 aufzunehmen.

5.0 Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, daß das im Eurocode 4 verwendete Ingenieurmodell, bei dem die Tragfähigkeit von Dübeln in Kombination mit Profilblechen durch Reduktion der Dübeltragfähigkeit der Vollbetonplatte ermittelt wird, das reale Tragverhalten nur unzureichend beschreibt. Während der ENV-Phase des Eurocode 4 sollte daher versucht werden, die Rechenmodelle des Eurocode 4 so weiter zu entwickeln, daß sich mit abnehmender Rippenschlankheit unter Berücksichtigung der Lochleibungstragfähigkeit des Profilbleches bei durchgeschweißten Dübeln ein stetiger Übergang zu den Regelungen für die Vollbetonplatte ergibt.

6.0 Literatur

- /1/ Eurocode 4 Teil 1-1, Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton
- /2/ Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern
- /3/ Bode,H., Künzel,R.: Steifigkeit und Verformbarkeit von Verbundmitteln im Hochbau, International Symposium, Composite Steel Concrete Structures, Vol. I, Bratislava 132/1987
- /4/ Roik,K.,Hanswille,G.: Gutachten für die HOLORIB - GmbH zur Frage der Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln bei gestoßenen Profilblechen, Bochum 1988
- /5/ Bode,H., Künzel,R.: Zur Anwendung der Durchschweißtechnik im Verbundbau, Forschungsbericht 2/1991, Universität Kaiserslautern
- /6/ Johnson R.P., Mottram ,J.T.:Push Tests on studs welded through profiled steel sheeting, University of Warwick, Research Report CE 27, 1989
- /7/ Johnson R.P., Mottram ,J.T.:Push Tests on studs welded through profiled steel sheeting, University of Warwick, Research Report CE 25, 1989
- /8/ Eurocode 3 Teil 1-1, Annex Z
- /9/ Biljlaard,F.S.K., Sedlacek,G., Stark,J.W.B.: Procedure for the determination of design Resistance from tests, TNO - Report BI -87- 112, 1988
- /10/ Roik, K., Hanswille,G., Lanna,O.: Hintergrundbericht zu Eurocode 4, Minister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau , Bericht RS II 1-674102-8630, Bochum 1988