

11. Verbindungen im Fertigteilbau, II

Ir. M. DRAGOSAVIĆ

11.1 Einleitung

In Zusammenarbeit mit einem Studienausschuss der „Stichting Bouwresearch“ (S.B.R. Ausschuss B7), die die Tragfähigkeit verschiedener Verbindungen zwischen vorgefertigten Betonelementen zu studieren hat und der auf Grund der Ergebnisse Empfehlungen machen soll in welcher Weise derartige Verbindungen in der Praxis zu berechnen sind, haben wir beim „Institut TNO für Baumaterialien und Baukonstruktionen“ eine Anzahl von Untersuchungen angestellt. Dazu gehören Untersuchungen der Tragfähigkeit von:

- Mörtelfugen in Stützen
- Schlaufenstößen zwischen Bodenplatten und einbetonierten Ankern.

Die Ergebnisse dieser Forschungen sind bereits in den diesbezüglichen Berichten der „Stichting Bouwresearch“ veröffentlicht worden. Ausserdem wurden die wesentlichsten Schlussfolgerungen auch in die neuen Betonvorschriften aufgenommen.

11.2 Mörtelfugen [11.1], [11.4]

Unter einer Mörtelfuge versteht man hier eine Diskontinuität in einer Stütze oder in einer Wand, die durch eine horizontale Mörtelschicht zwischen vorgefertigten Stützeanteilen gebildet wird (Bild 11.1a). Im Prinzip bildet die Mörtelfuge eine schwache Stelle in der auf Druck oder auf Druck und Biegung belasteten Stütze, da im allgemeinen die Betongüte eines auf der Baustelle eingesetzten Mörtels (f'_m), niedriger ist

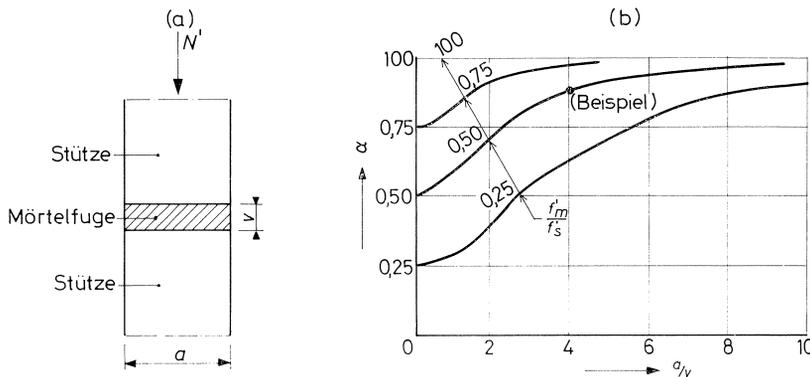


Bild 11.1. Eine Mörtelfuge zwischen vorgefertigten Stützen (a), und die Effectivität α der Verbindung (b).

als die Betongüte der vorgefertigten Teile (f'_s). Die Betongüte der Verbindung (f'_v) wird dadurch:

$$f'_v = \alpha \cdot f'_s$$

wo $\alpha \leq 1,0$ die Effektivität der Mörtelfuge ist.

Die Ergebnisse der ausgeführten Versuche sind zum Teil in einer Graphik dargestellt worden (Bild 11.1b). Daraus ergibt sich:

- Wenn die Betongüte des Mörtels gleich oder höher ist als die Betongüte der Stützteile ($f'_m/f'_s > 1,0$) braucht eine Fuge nicht als eine Schwächung betrachtet zu werden ($\alpha = 1,0$).
- Wenn die Betongüte der Fuge niedriger ist als die der Stützteile ($f'_m/f'_s < 1,0$) dann ist die Tragfähigkeit der Fugenverbindung bedingt durch das Verhältnis der Fugenstärke und der Stützenstärke. Besonders feste Fugen ($a/v < 1,0$) haben eine Tragkraft, die nahezu der Tragkraft des Fugenmörtels gleich ist ($f'_v \simeq f'_m$). Sehr dünne Fugen $a/v > 10$ haben eine Tragkraft, die fast genau so gross ist wie die Tragkraft der Stützteile ($f'_v \simeq f'_s$).

Die Tragkraft der Fugenverbindung ist für mehr praktische Verhältnisse a/v abzuleiten aus der Kurve in der graphischen Darstellung.

Zum Beispiel: Ist das Verhältnis der Betongüte der Fuge und des Stützteils $f'_m/f'_s = 0,5$ und ist $a/v = 4$, dann gilt für die Fugenverbindung $f'_v = \alpha \cdot f'_s = 0,85f'_s$. In einer praktischen Berechnung lauten die Betongüten der Fuge und der Stützteile in den diesbezüglichen Berechnungswerten (bez. f'_{md} und f'_{sd}). Für die Fugenverbindung gilt dann laut derselben graphischen Darstellung:

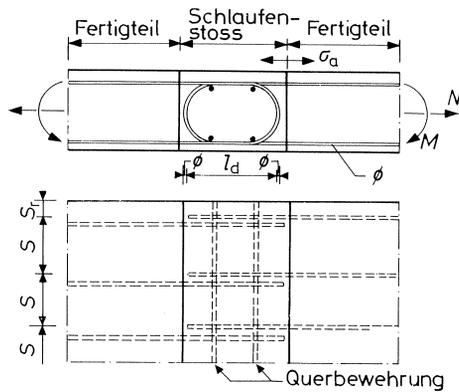
$$f'_{vd} = \alpha f'_{sd}$$

Wichtig ist zu erwähnen, dass die Betongüte des Fugenmörtels f'_{md} durch die Sorgfalt und Kontrolle der Herstellung der Fuge beeinflusst wird.

11.3 Schlaufenstösse [11.2], [11.4]

Vorgefertigte Decken im Wohnungsbau und im Verwaltungsbau können mit einander mit Hilfe eines Schlaufenstosses verbunden werden (Bild 11.2). Diese Stösse werden durch rundgebogene Deckenbewehrung oder durch eine zusätzliche Bewehrung gebildet. Die Verbindung kommt nach dem Erhärten des Fugenbetons zustande, der auf der Baustelle verarbeitet wird. Die Verbindung muss imstande sein, etwaige horizontale Zugkräfte zwischen den Deckenelementen aufzunehmen und nach dem austreifenden Kern (oder Kernen) abzuleiten. Die Verbindung ist jedoch reizvoller, wenn sie imstande ist, auch Biegemomente zu tragen. Also erhält man Verbindungen, die hauptsächlich auf Biegung belastet werden, die jedoch auch Zugkräften widerstehen können.

Um derartige Verbindungen zu berechnen, ist eine zuverlässige Berechnungsmethode notwendig. Dazu hat IBBC zahlreiche Versuche ausgeführt. Bis jetzt ist nur



$A_a = \frac{\pi}{4} \phi^2$ = der Querschnitt eines einzigen Stabes
 A_{ad} = der Querschnitt der gesamten Querbewehrung.

Bild 11.2. Ein Schlaufenstoss zwischen zwei vorgefertigten Deckenplatten.

über die Ergebnisse der auf Biegung beanspruchten Schlaufen berichtet worden. Auf Grund dieser Ergebnisse und ähnlicher Untersuchungen von Kordina und Timm in Deutschland haben wir ableiten können, dass eine auf Biegung belastete Probe bricht, wenn die Stahlspannung in den gezogenen Schlaufenstäben den Wert $\sigma_{a_{\max}}$ erreicht, dabei ist

$$\sigma_{a_{\max}} = 230 \left(0,7 + 0,03 \frac{l_d}{\phi} \right) \left(1 + 0,25 \frac{A_{ad}}{A_a} \right) f_b \cdot \alpha$$

Mit anderen Worten: die Biegefestigkeit eines Schlaufenstosses ist zu erhöhen durch Verringerung des Stabdurchmessers ϕ (es sind dann jedoch mehr Schlaufen notwendig, um das gleiche Biegemoment tragen zu können), durch Vergrößerung der Schlaufenlänge l_d , durch Benutzung einer Querbewehrung A_{ad} und durch Erhöhung der Betongüte des Fugenbetons (Zugfestigkeit f_b).

In einer praktischen Berechnung kann man für die Betonzugfestigkeit nur den diesbezüglichen Rechenwert f_{bd} in Rechnung bringen. Häufig ist es auch erforderlich, dass $\sigma_{a_{\max}} > f_a$, damit die Verbindung völlig ausgenutzt wird. Die diesbezügliche Berechnungsformel für die Schlaufenverbindung lautet dadurch in den neuen Betonvorschriften:

$$A_{ad} \geq A_a \left(\frac{f_a}{f_{bd}} \frac{1}{\alpha \left(40 + 1,6 \frac{l_d}{\phi} \right)} - 4 \right)$$

Der Gültigkeit dieser Formel sind jedoch einige Beschränkungen gesetzt worden. Folgende Forderungen müssen erfüllt werden:

$$l_d \geq 10 \phi$$

$$s_r \geq 10 \phi$$

Auch Randentfernungen $5 \varnothing < s_r < 10 \varnothing$ sind erlaubt. Die Tragfähigkeit der Aussenschlaufen wird dadurch jedoch mit einem Faktor α reduziert:

$$\alpha = \left(0,5 + 0,05 \frac{s_r}{\varnothing} \right) \leq 1,0$$

Eine zusätzliche Querbewehrung ist dann jedoch notwendig, damit die Aussenschlaufen mit $s_r < 10 \varnothing$ eine gleiche Festigkeit haben wie die anderen Schlaufen, die weiter von dem Rand entfernt sind.

Die Untersuchung nach der Tragfähigkeit der Schlaufenverbindung wird zur Zeit fortgesetzt mit Versuchen auf Zugkraft. Definitive Schlussfolgerungen gibt es noch nicht; es lässt sich jedoch voraussehen, dass für Zugbeanspruchung eine Formel abzuleiten ist, die der Biegungsformel ähnlich ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind nicht ohne weiteres auf etwaige Schlaufenverbindungen zwischen Trägern und Stützen anwendbar, da die gegenseitige Entfernung und die Seitendeckung der Schlaufen in diesem Falle wesentlich kleiner ist als in Bodenplatten.

11.4 Aus dem Beton herausstehende Anker [11.3], [11.4]

Stahlstäbe können aus Beton herausstehen um daran Konstruktionen zu befestigen. Die Stäbe werden dadurch erheblich auf Schub beansprucht. Ein Beispiel derartiger Anker ist in Bild 11.3a gegeben.

In Beton gilt als Bruchkriterium der Bewehrung nur die Festigkeit und die Verankerung der Stäbe auf Zug. Für Anker, die auf Schub und Normalkraft belastet werden, sollen als Bruchkriterien betrachtet werden:

- Stahlbruch durch Schubkraft und Normalkraft
- Verlust der Verankerung als Folge der Normal(zug)kraft
- Spalten des Betons als Folge der Schub- und der Normalkraft
- Zu grosse Verformungen senkrecht auf den Anker, durch örtlich zertrümmern des Betons als Folge der Schubkraft.

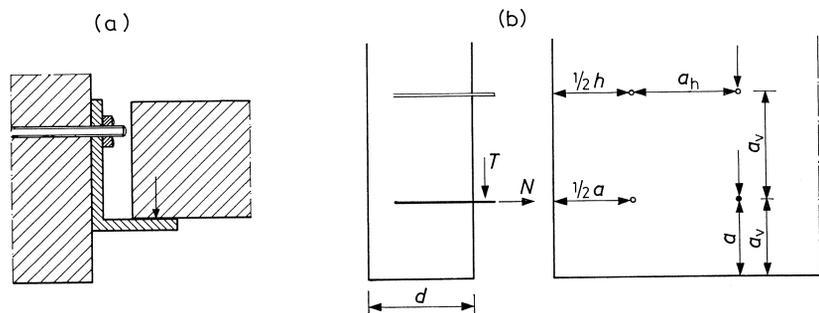


Bild 11.3. Ein Beispiel (a) und das Prinzipschema (b) eines aus dem Beton herausstehenden Ankers, der auf Schub belastet wird.

Die Verankerung gegen das Herausziehen des Stabes als Folge der in dem Stab auftretenden Zugkraft, haben wir als genügend bekannt angenommen. Verankerungslängen, die für normale Bewehrung vorgeschrieben sind, werden gefordert. Selbstverständlich ist die Länge gering, wenn eine Zugkraft fehlt. Daher ist $l_d \geq 10 \varnothing$ gefordert worden.

Die sonstigen Kriterien, besonders das Spalten des Betons, haben wir ausführlich am Versuchen getestet, wobei immer nur ein einziger Anker verwendet war.

Aus den Ergebnissen der gebrochenen Anker haben wir ableiten können, dass Bruch statt fand, als die Belastung (T, N) ungefähr den folgenden Wert erreichte

$$\sqrt{N^2 + 1,6T^2} = A_a \cdot f_{ar}$$

In den Betonvorschriften ist vorgeschlagen worden:

$$\sqrt{N_d^2 + 2T_d^2} \leq A_a \cdot f_{ad}$$

(T_d und N_d sind die Rechenwerte der Belastung, A_a ist der Querschnitt des Ankers, f_{ar} ist die Bruchfestigkeit und f_{ad} ist der Rechenwert der Zugfestigkeit des Ankers).

Die Ergebnisse der Experimente, wobei das Spalten des Betons massgebend war für den Bruch, haben gezeigt, dass die Spaltkraft proportional der Betonzugfestigkeit ist. Von den Abmessungen des Betonelements spielt nur die Stärke (d) eine Rolle, wenn die Entfernung bis zum freien Rand gross ist, und die Entfernung a bis zum Rand unter dem Anker oder $a/2$ bis zum Rand den Anker entlang nur, wenn die Entfernung a gering ist (Bild 11.3b). Dies wird zum Ausdruck gebracht in der Formel:

$$\sqrt{N^2 + T^2} = 1,8d^2f_b \cdot \frac{a^2}{a^2 + d^2}$$

die annäherungsweise das Spalten des Beton andeutet.

Wird die Betonzugfestigkeit durch den diesbezüglichen Rechenwert f_{ba} ersetzt, dann wird die Berechnungsformel eines Ankers gegen Spalten erhalten.

Solche Formel gilt aber nur für einen einzigen Anker oder für Anker, die weit von einander entfernt sind. Häufig werden jedoch verschiedene Anker zusammen genommen, um eine Belastung zu tragen. In dem diesbezüglichen Bericht ist auf Grund einer Schematisierung der Kraftwirkung angedeutet, wie man die obenerwähnte Formel interpretieren muss, wenn die Anker sich gegenseitig beeinflussen können. Ein späteres Studium, den neuen Betonvorschriften vorangehend, ergab eine etwas veränderte Interpretation: diese lief darauf hinaus, dass man für diejenigen Anker, die in der Richtung der Schubkraft untereinander liegen, die Entfernung eines Ankers bis zum nächst darunterliegenden Anker betrachten soll als die Entfernung bis zum freien Betonrand ($a_v = a$). Genau so soll man die halbe Entfernung bis zum nächsten daneben liegenden Anker betrachten als die Entfernung des freien Seitenrandes ($a_h = a$).

Um schliesslich den Einfluss von sowohl a_v als a_h zu berechnen, ist in den Betonvorschriften vorgeschlagen worden:

$$\sqrt{N_d^2 + T_d^2} \leq 1,8d^2f_{bd} \cdot \frac{a_h^2a_v^2}{a_h^2a_v^2 + a_h^2d^2 + a_v^2d^2}$$

An jeden einzelnen Anker kann nur die auf diese Weise berechnete Tragfähigkeit zuerkannt werden.

Als Verformungskriterium haben wir vorgeschlagen:

$$\delta = 0,1 \varnothing$$

Es hat sich gezeigt, dass die Forderung erfüllt wird wenn:

$$T_{0,1} = 3,5 \varnothing^2 f'_b$$

In den Betonvorschriften ist gefordert:

$$T_{0,1} \leq 4 \varnothing^2 f'_{bd}$$

11.5 Schlussbemerkung

In dieser kurzen Aufzählung war es nicht möglich, alle Aspekte der Verbindungen, die während der Versuche hervor getreten sind, zu beschreiben. Nähere Einzelheiten sind für diejenigen, die daran interessiert sind, den diesbezüglichen Berichten zu entnehmen. Die wesentlichsten Folgerungen und Formeln sind in den neuen Betonvorschriften [11.4] demnächst vorzufinden.

Literatur

- 11.1 Mortelvoegen in de montagebouw. Rapport TNO-SBR nr. 34, Samsom Uitg. Alphen a/d Rijn – Brussel, 1973.
- 11.2 Loop connections between precast concrete components loaded in bending. Heron (1975) no. 3 (Ausgabe IBBC-TNO).
- 11.3 Uit beton stekende ankers. Rapport TNO-SBR nr. 29, Samsom Uitg. Alphen a/d Rijn – Brussel, 1971.
- 11.4 Voorschriften Beton VB 1974: Deel C – Vooraf vervaardigd beton (NEN 3863). Nederlands Normalisatie Instituut.