

10. Verbindungen im Fertigteilbau, I

Ir. J. STROBAND

10.1 Einführung

Bei monolithischen Rahmentragwerken werden die Knoten im allgemeinen unendlich steif angenommen; die Kräfteverteilung in der Konstruktion wird dann durch die Steifigkeit der Rahmenteile bestimmt.

Bei vorgefertigten Konstruktionen habe die Verformungseigenschaften der Verbindungen einen grossen Einfluss auf die Kräfteverteilung und die Formänderung der Konstruktion, was dann als Folge von Effekten zweiter Ordnung die Kräfteverteilung wieder beeinflusst.

Die aus der Kräfteverteilung folgenden Knotenbelastungen bestimmen die Anforderungen an die Verbindungen.

Verbindungen können nach ihrer Kraftübertragungsweise eingeteilt werden, z.B. in Verbindungen für Normalkraft in eine oder mehrere Hauptrichtungen, in Verbindungen für Biege- und/oder Torsionsmomenten (Bild 10.1). Bei den letztgenannten Verbindungen besteht im allgemeinen ein deutlicher Unterschied zwischen dem Montage- und dem Gebrauchszustand.

Die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Verbindungstypen werden vom

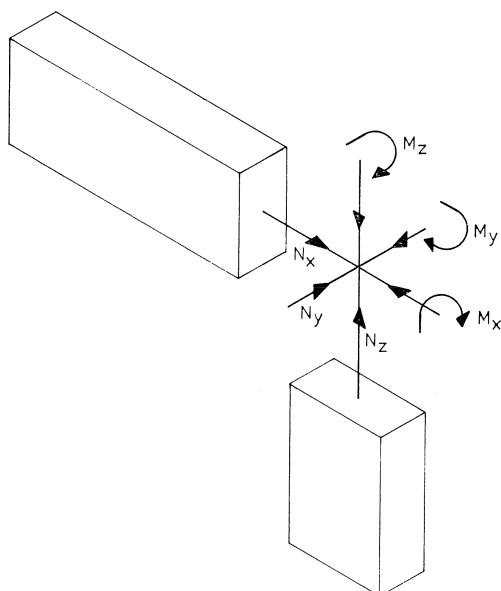


Bild 10.1. Wirksame Kräfte in einer Verbindung.

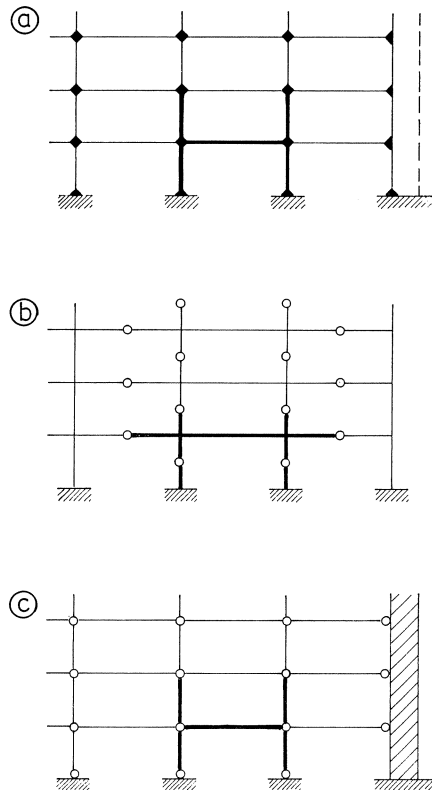


Bild 10.2. Einige statische Systeme.

statischen System der Konstruktion mitbestimmt. Bei einem System mit verschieblichen Knoten wird die Standsicherheit durch biegesteife Verbindungen erzielt (Bild 10.2a). In diesem Fall haben dann Steifigkeit und Tragvermögen der Verbindungen einen grossen Einfluss auf das Tragvermögen der Konstruktion.

Im Montagestadium müssen häufig Massregeln getroffen werden, um die Standsicherheit zu erreichen, bis die Verbindungen selbst tragfähig sind. Solche Verbindungen sind ziemlich kompliziert.

Eine Alternative dazu bieten Π oder H-förmige Rahmen, bei denen die Stösse in der Gegend der Momenten-Nullpunkte angeordnet werden (Bild 10.2b). Die Knoten sind monolithisch, während relativ einfache Verbindungen zwischen den Teilen verwendet werden können.

Ein statisches System mit unverschieblichen Knoten erhält seine Standsicherheit durch ein oder mehrere Steife Kerne oder Windscheiben. Die Verbindungen müssen im Stand sein, mit den als Scheiben wirkenden Decken Horizontalkräfte auf die Kerne zu übertragen. Dies muss nicht nur im normalen Gebrauchsstadium sichergestellt sein, sondern auch bei aussergewöhnlichen Belastungsfällen (wie z.B. bei

Explosionen), um einen Einsturz durch aufeinanderfolgendes Versagen von Einzelbauteilen zu verhindern.

Die für eine richtige Fertigteilkonstruktion nötige Kenntnis der mechanischen Eigenschaften der Verbindungen lässt sich häufig nicht aus den bekannten Eigenschaften der angewandten Baustoffe ableiten. Darum müssen Verbindungen als Ganzes experimentell untersucht werden. Über einige Untersuchungen im Stevinlaboratorium soll im folgenden berichtet werden.

10.2 Stützenstösse

In Bild 10.3 sind drei in den Niederlanden häufig gebrauchte Verbindungsarten wiedergegeben. Sie werden als biege feste Verbindungen zwischen Stützen und Fundamenten angewandt. Die Steckverbindung (1) ist auch zwischen zwei Stützen brauchbar. Während die starre Verbindung in Köcherfundamenten (2) einer Berechnung zugänglich ist, gilt dies nicht für die Steckverbindung und die Verbindung mit stählerner Fussplatte (3). Darum wurden diese experimentell untersucht.

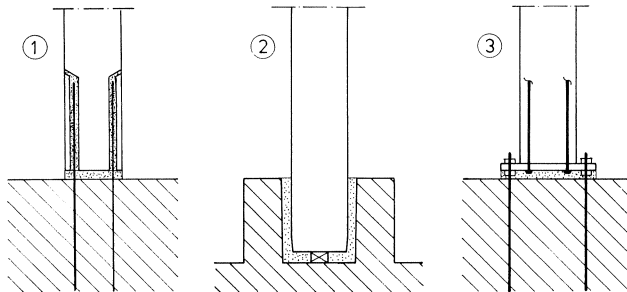


Bild 10.3. Stützenstösse.

10.2.1 Verbindung mittels stählerner Fussplatte

Diese Verbindung wurde im Zusammenhang mit der Standsicherheit eines vorgefertigten Parkhauses (Bild 10.4) untersucht. Die Konstruktion besteht aus exzentrisch

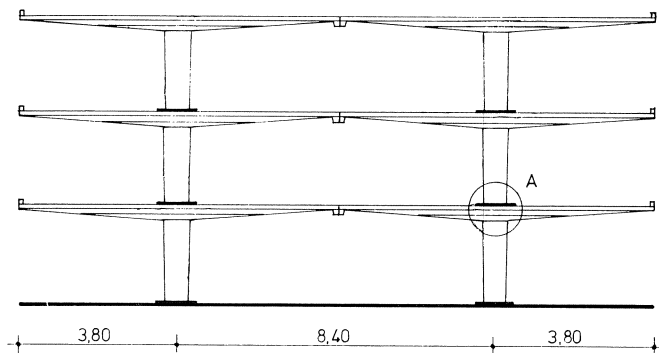


Bild 10.4. Rahmentragwerk.

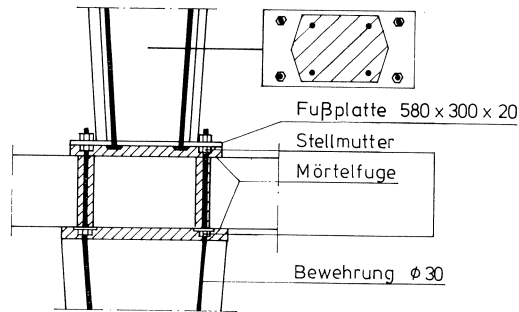


Bild 10.5. Anschlussdetail.

vorgespannten Decken, die zentrisch aufgelagert sind. Das Verbindungsdetail ist in Bild 10.5 wiedergegeben.

Elf Versuche wurden durchgeführt. Dabei lag das Hauptinteresse bei dem Kräfte-spiel und dem Verformungsverhalten der Verbindung in Abhängigkeit von der Normalkraft in der Stütze. Auch wurde der Einfluss der Fugenfüllung und der Steifigkeit der Fussplatten untersucht. Die Versuchskörper wurden mit einer zentrischen Normalkraft belastet, dann wurde bei gleichbleibender Normalkraft ein Moment von zunehmender Grösse aufgebracht bis zum Bruch. Das Moment wurde durch eine Horizontalkraft am Stützenkopf erzeugt (Bild 10.6).

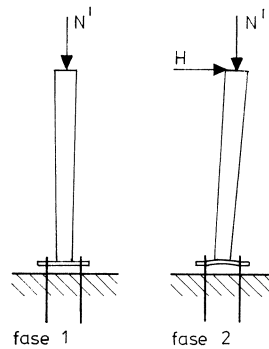


Bild 10.6. Belastung der Versuchskörper.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung sind: die Tragfähigkeit der Verbindung wird durch die Stärke der Ankerstäbe und das FlieBmoment der stählernen Fussplatte bestimmt; bei ausreichender Stärke der Ankerstäbe versagt die Verbindung dadurch, dass die Fussplatte im Schnitt a seitlich an den Muttern (Bild 10.7) über die ganze Breite plastisch wird:

$$M_{v.p.} = \frac{b \cdot t^2 \cdot \sigma_e}{4}$$

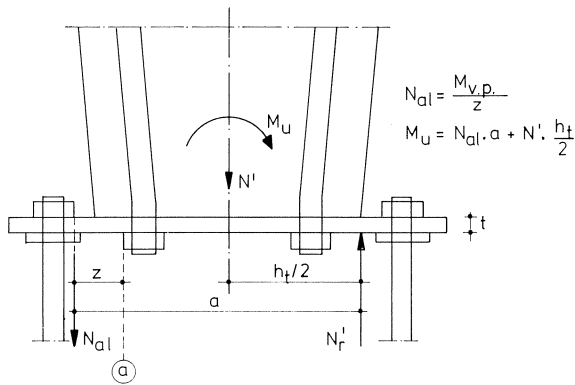


Bild 10.7. Kräfteverteilung im Bruchstadium.

Aus dem Versuch hat sich ergeben, dass die Ankerkraft N_{a1} in dem Bruchstadium seitlich an den Muttern angreift, während angenommen werden kann, dass die Druckresultante N_r' unter der Fussplatte an der Seite der Stütze angreift. Die Grösse der Ankerkraft folgt aus dem Gleichgewicht in Schnitt a. Bei der Berechnung der Ankerstäbe muss mit dem Biegemoment infolge der exzentrischen Belastung gerechnet werden. Das Bruchmoment folgt aus dem Gleichgewicht (Bild 10.7). Die Steifigkeit der Verbindung wird hauptsächlich durch die Steifigkeit der Fussplatte bestimmt (Bild 10.8). Im Gebrauchsstadium hat das Schwinden des Fugenmörtels jedoch einen wesentlichen Einfluss. Auf Grund der Ergebnisse dieser Untersuchungen wurde eine Berechnungsmethode für das Verformungsverhalten der Verbindung aufgestellt [10.1].

In einer zweiten Versuchsserie wurde der Stützenkopf untersucht, wobei das Zusammenwirken von Stützen und Deckenplatte in wahrer Grösse geprüft wurde. Mit Hilfe der Ergebnisse der beiden Untersuchungen konnte die Konstruktion so schematisiert werden (Bild 10.9), dass eine Standsicherheitsberechnung durchgeführt werden konnte [10.2].

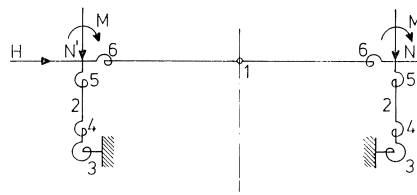
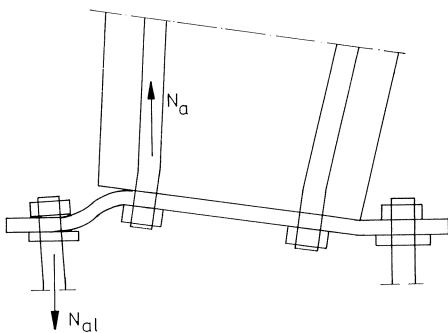


Bild 10.8. Verformung der Stahlplatte.

Bild 10.9. Schematisierung der Konstruktion.

10.2.2 Steckverbindung (Übergreifungsstoss)

Diese in den Niederlanden vielfältig angewandte biegesteife Stützenverbindung (Bild 10.10a) zeigt, was die Durchbildung und Kraftübertragung betrifft, eine gute Übereinstimmung mit einem monolithischen Stützenanschluss. Im Stützenfuss sind dafür Aussparungen angebracht für die Aufnahme von Bewehrungsstäben, die aus dem Fundament oder der darunter stehenden Stütze herausragen. Die Aussparungen werden durch gewellte Metallhüllröhre geformt oder mit Hilfe von Gewindestangen erzeugt. Die Verbindung wird durch vollgiessen oder injizieren der Aussparungen und der Fuge tragfähig. Beim Anschluss an Fundamente wird auch eine umgekehrte Variante angewandt (Bild 10.10b), wo die Aussparungen vor der Montage mit Mörtel gefüllt werden.

In der statischen Berechnung werden diese Verbindungen im Hinblick auf Verformung und Tragfähigkeit einer monolithischen Verbindung gleichgestellt. Um die Annahmen nachzuprüfen, wurden im Stevin-Laboratorium Untersuchungen durchgeführt.

Die Untersuchungen umfassten 16 Prüfkörper, die aus einem eingespannten Fussstück und einer darauf gestellten Stütze bestanden (Bild 10.11). Zum Vergleich wurden auch drei monolithische Stützen untersucht. Beim Versuch wurde erst schrittweise eine zentrische Normalkraft N^1 aufgebracht; dann wurde bei gleichbleibender Normalkraft ebenfalls schrittweise eine Horizontalkraft H angebracht, bis die maxi-

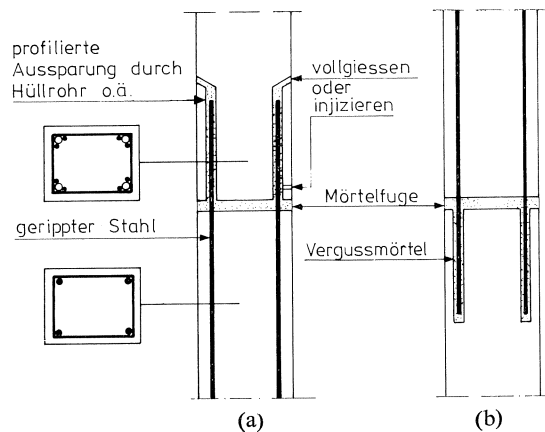


Bild 10.10. Steckverbindung (Übergreifungsstoss).

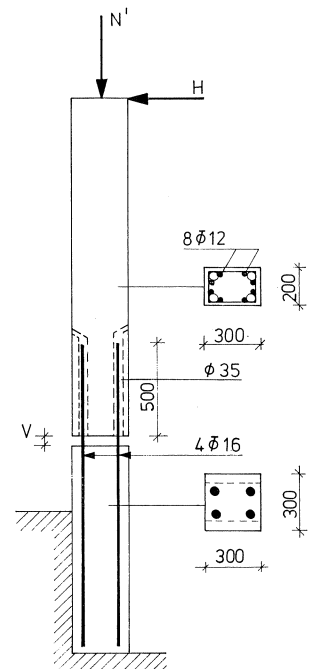


Bild 10.11. Versuchskörper.

male Tragkraft der Stütze erreicht war. Der Einfluss folgender Parameter wurde untersucht:

- Grösse der Normalkraft N^1 (200 und 1000 kN);
- Fugendicke v (5, 30 und 80 mm);
- Qualität des Fugenmörtels ($f'_{cm} = 14$ und 40 N/mm^2);
- Bewehrung im Stützenfuss;
- Grad der Fugenfüllung.

Die Übergreifungslänge der Bewehrung wurde nicht variiert. Auf Grund von Ergebnissen früherer Versuche [10.4] konnte angenommen werden, dass die Verankerung eines injizierten Stabes der eines einbetonierten Stabes gleichwertig ist, wenn die Güte des Injektionsmörtels gleich gut ist wie der Beton und die Aussparung vollständig gefüllt ist. Die Übergreifungslänge kann dann entsprechend den Vorschriften bestimmt werden.

Das wichtigste Ergebnis der Untersuchung ist, dass die Steckverbindung bei Verwendung eines guten Mörtels (f'_b , Mörtel $\approx f'_b$, Beton) und einer Fugendicke $v < 1/7b$ in Bezug auf Tragfähigkeit und Steifigkeit einem monolithischen Anschluss gleichkommt. Vollständige Fugenfüllung ist jedoch dabei Voraussetzung. Wegen der Spaltzugspannungen im Überlappungsbereich muss eine zusätzliche Bügelbewehrung angebracht werden. Im Fuss der Stütze müssen die Querspannungen zufolge der Querverformung des Fugenmörtels durch eine Netzbewehrung aufgenommen werden. Nähere Empfehlungen über die Bewehrungsführung werden in [10.3] gegeben.

10.3 Verbindungen zwischen Balken und Stützen

Biegesteife Verbindungen zwischen Balken und Stützen können vielfach erst Momente übertragen, wenn der Fugenmörtel erhärtet ist. Für die Standsicherheit der Konstruktion direkt nach der Montage sind Hilfsabstützungen notwendig. Auch ist das Montagetempo vom Wetter abhängig. Eine Lösung dieser Probleme gibt die Anwendung „trockener“ Verbindungen, die sofort nach der Montage biegesteif sind. Vielfach sind dies Verbindungen zwischen einbetonierten Stahlteilen, die mittels Bolzen oder Zusammenschweissen miteinander verbunden werden. Eine in den Niederlanden entwickelte Variante ist die sogenannte „Snijpen“-Verbindung, mit der Mass-toleranzen besonders leicht aufgefangen werden können.

Das Prinzip der „Snijpen“-Verbindung (Einpressbolzenverbindung) ist in Bild 10.12 wiedergegeben. In eines von den beiden anzuschliessenden Teilen werden einfache Stahlplatten einbetoniert, in das andere Teil Doppelplatten mit der halben Dicke und einem solchen Abstand, dass bei der Montage die Einzelplatte mit dem nötigen Spiel dazwischen passt. Die Platten sind mit schrägen Langlöchern versehen, die bei der Montage senkrecht zu einander zu stehen kommen. Durch die so entstehende, gemeinsame quadratische Öffnung werden längsgeriffelte stählerne Bolzen hydraulisch eingepresst. Dabei schneiden sich die gehärteten Rippen der Bolzen in die Laschen

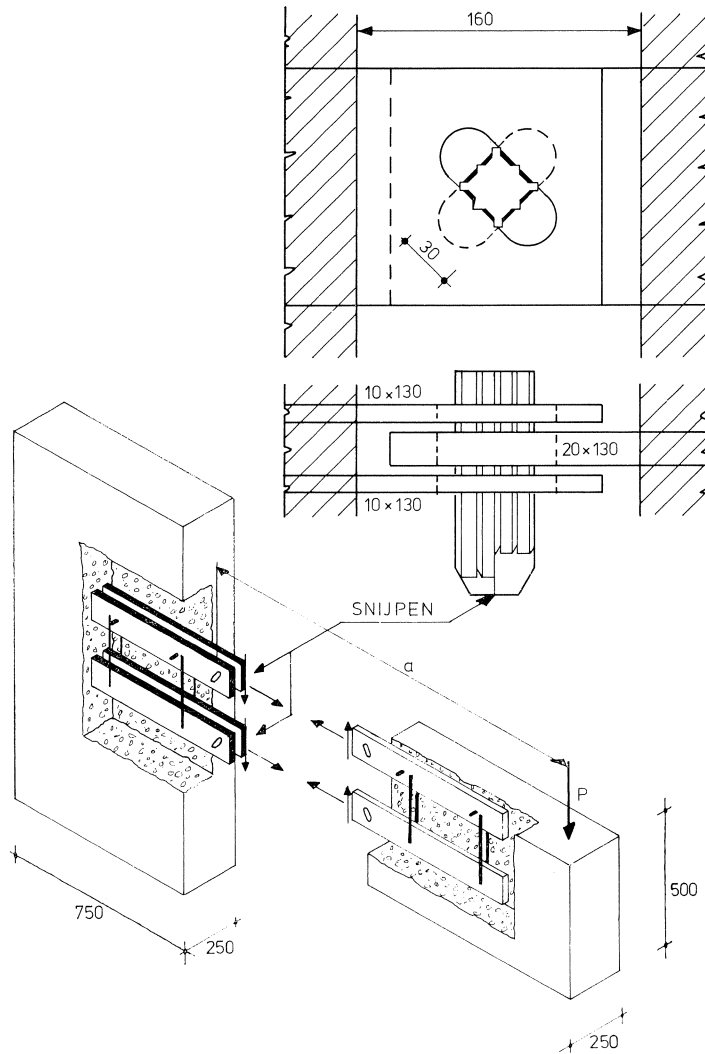


Bild 10.12. Verbindung mit Einpressbolzen (Snijpen).

ein, wodurch eine steife Verbindung entsteht. Nachher wird in einer hierfür günstigen Zeit die Fuge vollbetoniert.

Im Stevin-Laboratorium werden einige Versuche durchgeführt [10.5]. Die wichtigsten Versuchsergebnisse werden im folgenden wiedergegeben.

Die Aneinanderfügung von Stahlplatten mit Hilfe eines Einpressbolzens ergibt eine zähe Verbindung mit grosser Verformungskapazität. Das Verformungsverhalten, schematisch in Bild 10.13 wiedergeben, wird hauptsächlich durch das Material hinter dem Bolzen bestimmt. Die Tragfähigkeit der Verbindung ist abhängig von der Stahlgüte der Platten; bei den gewählten Plattenabmessungen wurde kein Bruch der

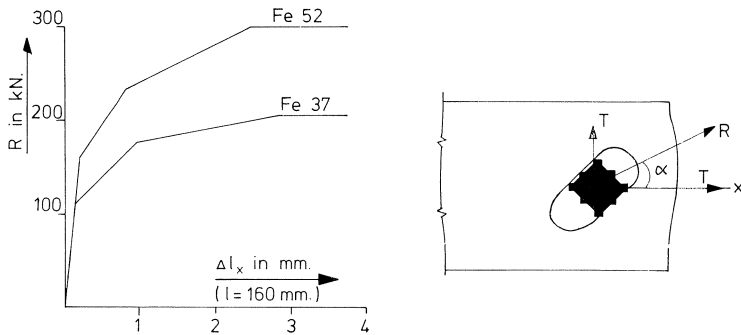


Bild 10.13. Verformungsverhalten einer Einzelverbindung, schematisch.

Bolzen und kein Abscheren der Rippen festgestellt. Die Richtung der Beanspruchung hat nur geringen Einfluss: wenn α von 0 bis 45° zunimmt, nimmt die Tragfähigkeit geringfügig zu.

Die „Snijpen“-verbindung ist sofort mit dem Eindrücken der Bolzen in der Lage, Querkräfte und Momente zu übertragen. Die Tragfähigkeit wird bei guter konstruktiver Durchbildung von der Kopplung in der Zugzone bestimmt. Nachträgliches Vollbetonieren der Fuge erhöht die Steifigkeit der Verbindung noch beträchtlich. Die Ursachen davon sind:

- Die Tragfähigkeit der Einpressbolzenverbindung in der Zugzone nimmt um ungefähr 50% zu, dadurch dass der Fugenmörtel die Langlöcher und den Zwischenraum zwischen den Stahlplatten ausfüllt.
- In der Druckzone werden die Kräfte vollständig durch den Beton übertragen, wodurch der innere Hebelsarm beträchtlich zunimmt ($z_2 > z_1$ – Bild 10.14).
- Der Beton überträgt einen Teil der Querkraft, was die Belastung der Stahlverbindungen günstig beeinflusst. Beim Versuch betrug der Anteil der Betondruckzone ca 40%.

Bei Dauerbeanspruchung soll der günstige Einfluss der Fugenfüllung zufolge Kriechen des Betons wohl abnehmen.

Bei der konstruktiven Durchbildung der Verbindung muss dafür Sorge getragen werden, dass das Fliessen der Zuglaschen das Versagen der Verbindung einleitet. Dann besitzt die Verbindung auch eine grosse Rotationskapazität. Übrige mögliche Versagensarten müssen unbedingt vermieden werden, als da sind (Bild 10.14):

- a. Ausspalten der oberen Platte aus dem Balkenkopf. Dies kann verhindert werden durch Anbinden der oberen Platten an die untere Platte und durch zusätzliche Bügel und Schlaufen.
- b. Herausziehen der oberen Platte aus dem Balken oder der Stütze. Eine gute Verankerung der Stahlplatten wird durch Stabdübel in den Platten und/oder angeschweisste Ankerschlaufen erzielt.
- c. Keilförmiges Ausbrechen des Balkenkopfs. Bei genügender Bügel- und Seiten-

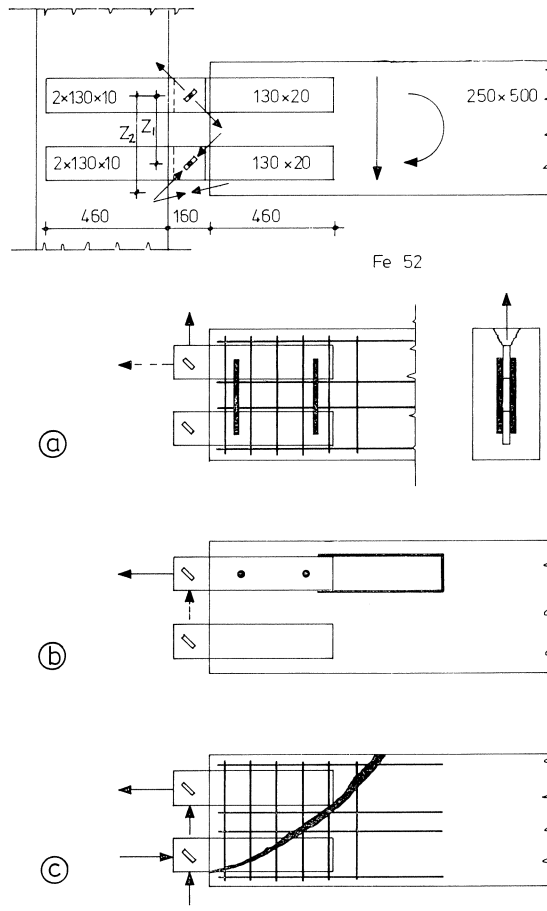


Bild 10.14. Versagensarten.

bewehrung sollte diese Erscheinung nicht auftreten. Gleichzeitig wird hiermit ein besser verteiltes Rissbild erreicht.

Aus den Versuchen lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die „Snijpen“-Verbindung als biegesteife Verbindung geeignet ist.

Neben diesen im Stevin-Laboratorium durchgeführten Untersuchungen auf dem Gebiet der Fertigteilverbindungen wurden noch Verbindungen zwischen Wänden und Decken im Grosstafelbau untersucht, worauf hier nicht weiter eingegangen werden soll. Einzelheiten dazu werden in einem Stevin-Rapport mitgeteilt und in Kurzfassung in der Zeitschrift Cement veröffentlicht. [10.6]

Literatur

- 10.1 CHRISTIAANSE, A. E., ROODEN, R. J. W. M. VAN und VRANDE, L. W. J. M. VAN DER: Het gedrag van stalen voetplaatverbindingen. Cement (1972) nr. 7, S. 288–292 und Stevin rapport 5-74-4, maart 1974.
- 10.2 CHRISTIAANSE, A. E., PETERSE, J. J. A. und VLASMAN, G. A.: De invloed van de verschillende onderdelen en verbindingen op de stabiliteit van een prefab constructie. Cement (1973) nr. 9, S. 403–406.
- 10.3 STROBAND, J. und TACK, P. J.: Kolomvoetverbinding met geïnjecteerde stekeinden. Cement (1973) nr. 12, S. 558–560 und Stevin rapport 5-74-3, maart 1974.
- 10.4 STROBAND, J.: Verankering van geïnjecteerde staven. Cement (1974) nr. 8, S. 338–340.
- 10.5 STROBAND, J., BRUIJN, F. und WILDSCHUT, A. L. S.: Snijpenverbinding tussen kolommen en balken in geprefabriceerde constructies. Cement (1976) nr. 2, S. 90–91.
- 10.6 PAUW, A., STROBAND, J. und SMINK, L.M.G: Wand-vloerverbinding tussen geprefabriceerde elementen. Cement (1976) nr. 5, S. 207-208.