

Die Vorspannung im Hochbau: eine Herausforderung für die Zukunft

Autor(en): **Friedrich, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 44

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77978>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Vorspannung im Hochbau

Eine Herausforderung für die Zukunft

Die Vorspanntechnik hat in der Vergangenheit ihre grossen Erfolge mit dem Brückenbau erzielt. Zukünftig dürfte die Vorspannung im Hochbau eine stärkere Rolle übernehmen und interessante Aufgaben bereithalten. Mit der nachfolgenden Übersicht sollen Anregungen vermittelt werden, die Vorspannung flexibel und ideenreich zu nutzen und innerhalb dieses zukunftsreichen Gebiets vermehrt einzusetzen.

Schwerpunkte der Vorspanntechnik und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten

Die Geschichte der Vorspanntechnik und deren weltweite Verbreitung ist auf das engste mit dem Stahl- bzw. Spann-

VON THOMAS FRIEDRICH,
ZÜRICH

betonbrückenbau verknüpft. Die spektakulären Erfolge im Brückenbau innerhalb der letzten 40 Jahre sind mehrheitlich auf die Vorspanntechnik zurückzuführen. Über neuere Entwicklungen in der Vorspanntechnik zu berichten, bedeutet immer auch über den Brückenbau zu sprechen. Einzig die Ankertechnik und die Vorfabrikation konnten einige wenige Prozente des gesamten Vorspannvolumens für sich reklamieren. Aufgrund dieser auf ein einziges Anwendungsgebiet bezogenen Betrachtungsweise wurde der Vorspannung zwangsläufig das Image einer speziellen Technik verliehen, die für den alltäglichen Gebrauch weniger geeignet erscheint. Das führt auch zwangsläufig dazu, dass sich innerhalb der Planenden und Ausführenden zwei Gruppen etablierten. Diese Entwicklung lässt sich anhand der Ausbildung an den Hochschulen und anhand der Normenentwicklung belegen. Damit musste der unspektakuläre, allgemeine Hochbau von einer Durchdringung mit der Vorspanntechnik geradezu verschont bleiben. Erst neuere Betrachtungsweisen betreffend den integralen Baustoff «Structural Concrete» [1] ermöglichen eine kombinierte Verwendung von schlaffem und vorgespanntem Stahl ohne Restriktionen. Liberalere Normen [2] haben diese Entwicklung durch Einführung der teilweisen Vorspannung bereits in früheren Jahren in die Wege geleitet. Damit lassen sich die Vorzüge der Vorspannung (Beeinflussung des Tragverhaltens, Verformungsreduktion, Rissebegrenzung) in Kom-

bination mit der schlaffen Bewehrung für jegliches Stahlbetontragelement ausnutzen. Die nachfolgende Beschreibung der Möglichkeiten, Vorspannung für einzelne Tragelemente des Hochbaus einzusetzen, möchte einen Anstoss in diese Richtung geben, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Aus der täglichen Praxis eines mehrheitlich mit der Vorspannung im Hochbau befassten Büros werden anhand von ausgeführten oder im Bau befindlichen Objekten einige Anregungen vermittelt. Die Darstellung in Bild 1 gibt eine Übersicht über diejenigen Bauelemente eines typischen Hochbaus, für die eine vorgespannte Ausführung sinnvoll erscheint.

Vorgespannte Flachdecken

Das im Hochbau am häufigsten vorgespannte Tragelement ist die Flachdecke. Die Bauweise hat sich zuerst in den USA ab 1955, anschliessend in Australien und in neuerer Zeit in einzelnen Ländern von Europa durchgesetzt. Die verschiedenen Möglichkeiten, die Vorspannkabel anzuordnen und die sinnvolle Kombination mit einer schlaffen Bewehrung eröffneten der Bauweise ein weites Spektrum. Dazu zählen die mittleren bis grossen Spannweiten mit geringen bis hohen Nutzlasten. Je nach Anforderung lässt sich die Decke mit einem Pilzkopf verstärken oder sie wird als Grosskassettendecke ausgeführt. Das Konzept der teilweisen Vorspannung erlaubt in der Regel, die Kabel aufgrund von Gebrauchstauglichkeitskriterien zu dimensionieren und den erforderlichen Widerstand mit Spann- und Schlaffstahl abzudecken. Um ein ausgewogenes Verhältnis von vorgespannter zu schlaffer Bewehrung zu erreichen, stehen dem Tragwerksplaner zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Er kann sich einerseits für eine Vorspannung mit oder ohne Verbund entscheiden und andererseits die Anordnung der Kabel variieren. Zur Wahl steht die Anordnung ausschliesslich im Stütz-

streifen, verteilt im Feld oder eine Kombination davon. Diese Palette von Möglichkeiten gestattet, immer eine passende Variante für das jeweilige Bauobjekt zu finden. Mit der nachfolgenden Beschreibung zweier Objekte wird nur ein kleiner Ausschnitt dieser Vielfalt angedeutet.

Gewerbehaus Grindel

Das Büro- und Gewerbehaus Grindel wird multifunktional genutzt. Die unteren beiden Geschosse werden als Parking (Nutzlast $q = 2.5$ [KN/m²]), die nächsten beiden als Lager ($q = 15.0$ [KN/m²]) und die restlichen drei Geschosse als Büro ($q = 5.0$ [KN/m²]) genutzt. Die Abmessungen des Baukörpers betragen 89.60×37.10 [m] bei einem Stützenraster von 7.50×8.00 [m] [3]. Alle Decken wurden mit Monolitzen ohne Verbund vorgespannt. Die Kabel wurden ausschliesslich in den Stützstreifen angeordnet. Die Anzahl der Kabel wurden so dimensioniert, dass unter ständigen Lasten kurz- und langfristig keine Durchbiegungen zu erwarten sind. Die zusätzliche schlaffe Bewehrung dient sowohl der Rissebeschränkung, als auch dem Biege- und Durchstanzwiderstand. Bei den gering belasteten Decken war die geforderte Minimalbewehrung bereits vollumfänglich ausreichend (Bild 2). Die Untergeschosse stehen vollständig im Grundwasser, weshalb man sich entschloss, nicht nur die Bodenplatte, sondern auch die Wände horizontal vorzuspannen. Infolge wechselnder und teilweise hoher Lasteinwirkungen wurde die auf Pfählen aufliegende Bodenplatte mit Verbundkabeln vorgespannt. Wenige Monolitzenkabel in den Wänden erzeugen bereits die gewünschte zentrische Druckspannung von $\sigma_c = 1.0$ [N/mm²].

Überbauung Gutenberg

Das Projekt stellte hohe Anforderungen an die Planung und die Ausführung. Aufgrund der vielfältigen Restriktionen wurde eine nicht alltägliche Vorspannanordnung gewählt. Hohe Einzel- und Linienlasten aus bis zu sechs Obergeschossen waren mit einer Flachdecke abzufangen. Weitere Randbedingungen, wie die unzugänglichen Deckenränder, Deckenabsätze und diverse grössere und kleinere Aussparungen erlaubten keinen geraden Kabelverlauf. Zudem waren die unregelmässig über das Stützenraster verteilten einzelnen Lasten mit Vorspannkabeln abzufangen und auf direkten Wege in die Stützenköpfe zu leiten. Das führt schluss-

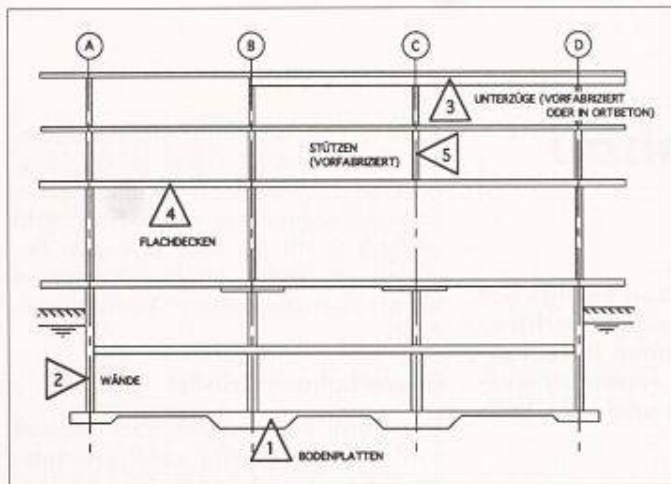


Bild 1. Vorspannte Bauelemente des Hochbaus

endlich zu einer konzentrierten Kabelanordnung, die sich im Grundriss an den Lastangriffs- und den Stützpunkten orientiert, den übrigen Hindernissen ausweicht und in den vorhandenen Aussparungen abgespannt wurde (Bild 3). Aufgrund der hohen Beanspruchungen wurden Verbundkabel mit einer Kraft von $P_0 = 990$ [kN] gewählt. Die im Grund- und Aufriss gekrümmte Kabelführung belegt die Flexibilität einer Vorspannung im Hochbau (Bild 4).

Vorgespannte Flachfundationen

Die Vorspannung von flachfundierten Bodenplatten ist bereits weniger verbreitet. Insbesondere bei dieser dem Tragprinzip der Flachdecken ähnlichen Bauweise lassen sich mit der Vorspannung enorme Vorteile erzielen. Die Umlenkräfte der Kabel wirken den konzentrierten Einzellasten entgegen,

entlasten die lokale Durchstanzbeanspruchung und sorgen für eine gleichmässige Bodenpressung. Ähnlich wie bei der Flachdecke kann durch punkto- oder linienförmige Verstärkungen der entsprechenden Beanspruchung begegnet werden. Oftmals bietet sich bei unterschiedlichem Stützenraster die Anordnung eines verstärkten Riegels über die kurze Spannweite an. Höhe und Breite des Riegels werden aufgrund der Durchstanzbeanspruchung respektive der zulässigen Bodenpressung bestimmt. In der Regel werden nur die Riegel vorgespannt, während die übrige, zumeist dünne Bodenplatte schlaff bewehrt ist. Bodenplatten werden oftmals auch aus Dichtigkeitsgründen vorgespannt. Eine leichte zentrische Vorspannung von in der Regel 1.0 bis 2.0 [N/mm²] sorgt bereits für rissarme Konstruktionen. In Kombination mit der Platte sind die angrenzenden Wände ebenfalls mittels Spannkabel unter zentrischen Druck zu setzen.

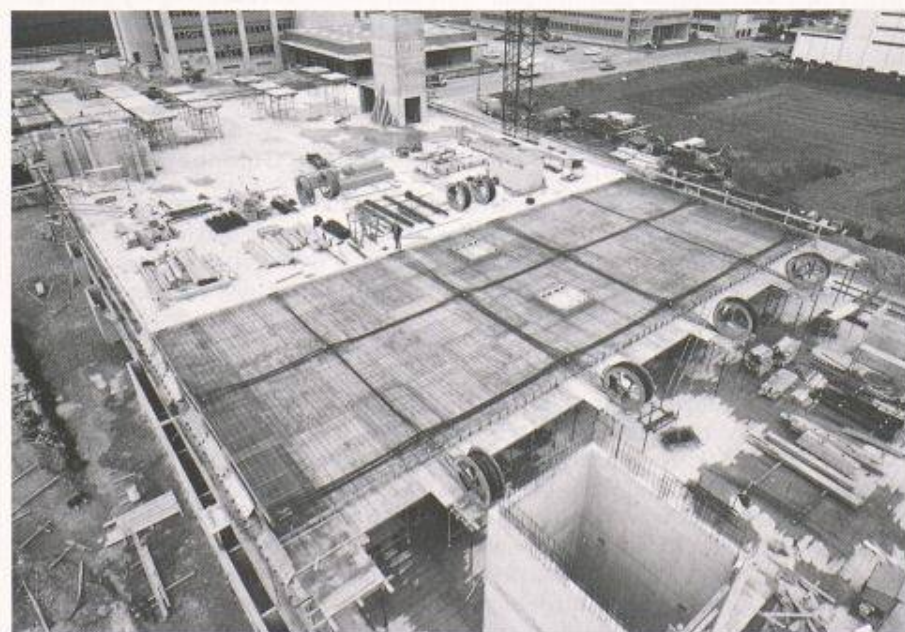


Bild 2. Vorgespannte Flachdecke

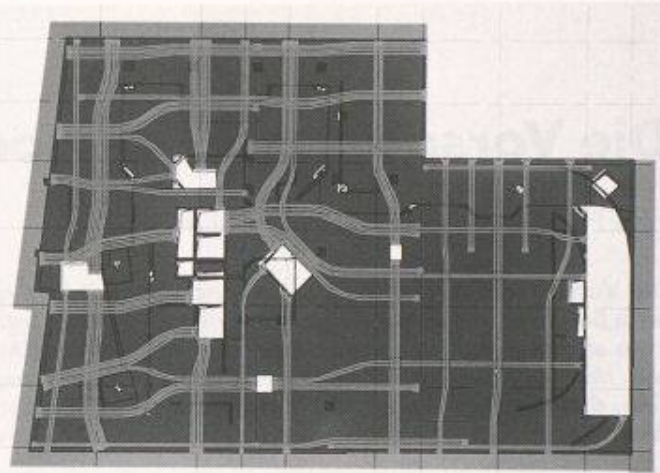


Bild 3. Anordnung der Vorspannung

Gewerbezentrum Fegi

Das sechsgeschossige Gebäude mit einer Grundfläche von 75.0 x 58.0 [m] wird als Lager und Büro genutzt. Das Stützenraster beträgt 11.50 x 8.40 [m]. Hohe Stützenlasten von bis zu 15 000 [kN] waren auf einen tragfähigen Baugrund abzutragen. Zur Abtragung der hohen Einzellasten wurden über die kurze Spannweite durchlaufende Riegel herangezogen. Die Riegel weisen eine Höhe von 1.40 [m] und aufgrund der guten Bodenverhältnisse eine geringe Breite von 3.0 bis 4.15 [m] auf (Bild 5). Die übrige Bodenplatte hat eine Stärke von 0.25 [m] und ist mit einer Mindestbewehrung von insgesamt 0.6% des Betonquerschnitts versehen. Die Vorspannkraft von total $P_0 = 11120$ [kN] wird von insgesamt 8 Kabeln aufgebracht.

Gewerbehaus Mettlenbach

Die Abmessungen des viergeschossigen Gebäudes betragen 24.0 x 27.0 [m] bei einem Stützenraster von 8.0 x 5.4 [m]. Die Untergeschosse dieses Baues wurden 4.0 [m] tief in das Grundwasser hineingesetzt. Die Bodenverhältnisse erlaubten eine Gründung als Flachfundation. Zur Gewährleistung der Dichtigkeit war ausschliesslich eine rissarme Betonkonstruktion ohne Aussenisolation vorgesehen. Diese Forderung liess sich am besten mit einer Vorspannung der Bodenplatte und der angrenzenden Aussenwände erreichen. Eine aufgrund der Dichtigkeit geforderte zentrische Druckspannung von $\sigma_c > 1.0$ [N/mm²] lässt sich mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand am besten mit einer schlanken Konstruktionshöhe erzielen. Dem entgegen läuft die Forderung nach einer ausreichenden Bauteildicke im Bereich der hohen Beanspruchungen. Um beide Aspekte bestmöglich zu berücksichtigen, wurde im vorliegenden Fall eine 0.40 [m] dicke Bodenplatte unterhalb der Stützen auf einem Be-



Bild 4. Vorgespannte Abfangdecke

reich von 3.60 x 3.60 [m] um 0.30 [m] verstärkt.

Die in den Stützstreifen angeordnete Vorspannung besteht aus Monoliten ohne Verbund (Bild 6). Im Bereich der Bodenvertiefung wird die maximale Exzentrizität ausgenutzt, um den hohen konzentrierten Beanspruchungen aus Stützenlasten entgegenzuwirken. Innerhalb der übrigen Deckenbereiche wurden die Kabel zentrisch angeordnet, um der wechselnden Beanspruchung aus Nutzlast einerseits und Wasserdruck andererseits optimal zu entsprechen.

Vorgespannte Unterzüge

Unterzüge innerhalb der Hochbaukonstruktion werden nur dann vorgespannt, wenn sie entweder eine grosse Spannweite oder hohe Lasten (in der Regel Abfanglasten) aufweisen. Neuer Möglichkeiten für die Vorspannung eröffnen sich in Kombination mit der Vorfabrikation. Einzelne Träger werden im Werk produziert, auf der Baustelle versetzt, und mit Hilfe von Durchschubkabeln zu einem monolithischen Durchlaufsystem zusammengespannt. Die Kontaktstellen der Träger werden im allgemeinen mit Ortbeton geschlossen. Gegenüber der herkömmlichen Vorfabrikation werden auf diese Weise monolithische Tragsysteme erzeugt, womit sich die Materialien besser ausnutzen lassen und Konstruktionshöhe eingespart wird. Damit werden die versetzbaren Bauelemente schlanker und weisen ein geringes Gewicht auf. Diese Bauweise wird mit Vorzug für weitgespannte Deckenkonstruktionen ($l > 16.0$ [m]) eingesetzt, wo Flachdecken aufgrund ihres Gewichtes unwirtschaftlich werden. Das System von Haupt- und Nebenunterzüge trägt sich selbst während der Montage und bietet Unterstützung für die dazwischenliegende Deckenplatte, sei es in Form von temporärer oder integrierter Schalung.

Vorgespannte Unterzüge Druckzentrum Bucher

Eine bestehende Baulücke mit polygonalem Grundriss war mit einer Deckenkonstruktion zu schliessen. Für die bis zu 28.5 [m] grosse Spannweite war eine Unterzugsstruktur vorgesehen (Bild 7). Um die Durchfahrt zu gewährleisten und um einen raschen Baufortschritt zu erzielen, wurden die Träger teilweise vorgefertigt. Für die Montage auf der Baustelle wurde einseitig ein provisorisches Auflager erstellt und der restliche Trägerteil in Ortbeton ergänzt. Mit dem Spannen der Durchschubkabel werden beide Bauteile zug- und druckfest miteinander verbunden und wirken im Endzustand als Durchlaufsystem. Der Querschnitt des Fertigteils bildet zugleich das Auflager für die temporäre Schalung der ebenfalls in Ortbeton erstellten Deckenplatte (Bild 8).

Wände

Wände werden vielfach vorgespannt, um eine rissearme Konstruktion zu gewährleisten. Dies betrifft die Wände von Untergeschossen, die im Grundwasser stehen und diejenigen von Flüssigkeitsbehältern. In Kombination mit der vorgespannten Bodenplatte ist es sinnvoll, die Wände in horizontaler Richtung ebenfalls mit einer gleichgrossen Druckspannung zu beaufschlagen. Der Bauablauf und die Spannreihenfolge der einzelnen Bauteile ist dabei aufeinander abzustimmen. Für in vertikaler Richtung gering belastete Wände (z.B. bei oben offenen Behältern) kann es aus Gründen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit erforderlich sein, auch in vertikaler Richtung vorzuspannen. In tragenden Wandscheiben dient die Vorspannung dazu, den vielfach durch Öffnungen gestörten Kraftfluss zu beeinflussen. Weiterhin lassen sich mit dem Einbau von

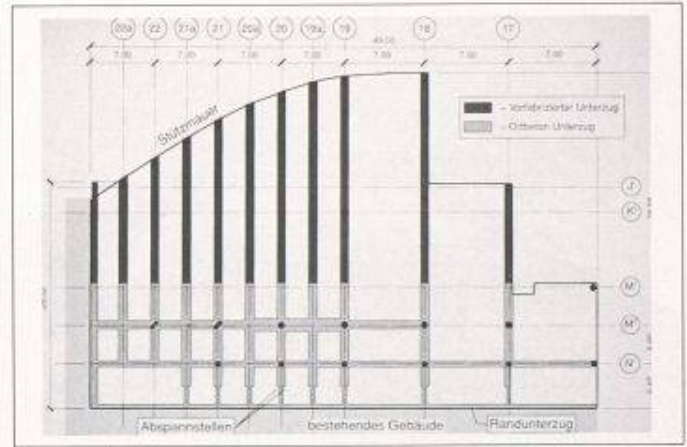


Bild 7. Übersicht und Anordnung der Fertigteilträger

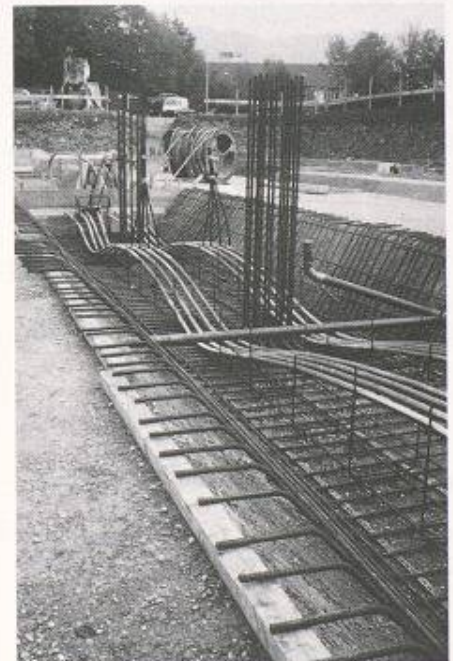


Bild 5. Vorgespannter Fundamentstreifen



Bild 6. Vorgespannte Fundamentplatte

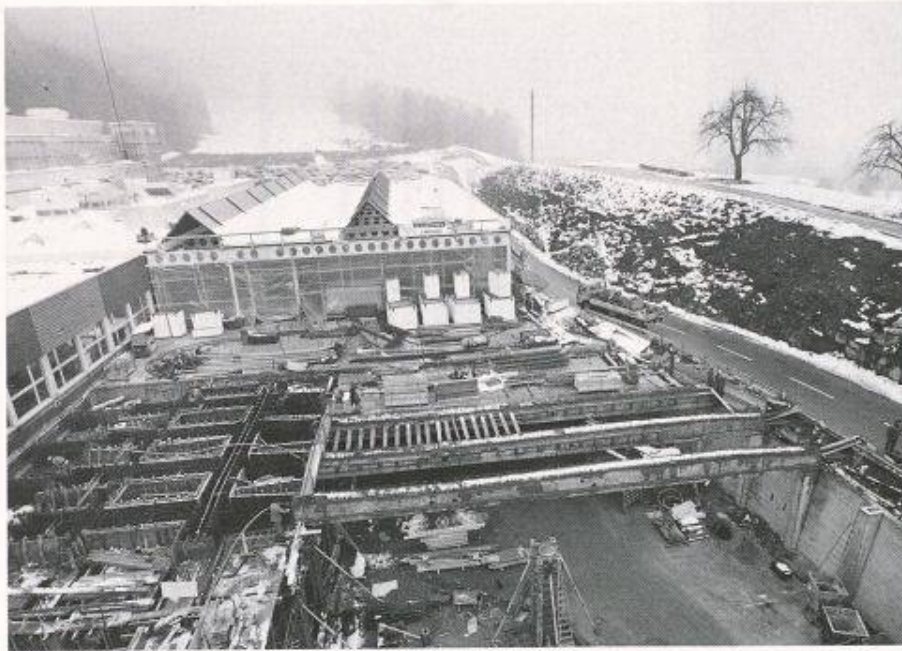


Bild 8. Baustelle mit bereits versetzten Fertigteilträgern

Vorspannkabeln Bewehrungskonzentrationen vermeiden, und die vielfältigen Krafteinleitungs- und Verankerungsprobleme konstruktiv gut lösen.

Wasserbehälter Gutenberg

Aufgrund der Anforderungen an die Dichtigkeit, hat man sich entschieden, Bodenplatte, Wände und die Deckenplatte des rechteckigen Behälters vorzuspannen (Bild 9). Die Wände wurden horizontal und vertikal vorgespannt. Die horizontal in der Wand und die in der Bodenplatte im Bereich des Wandfusses konzentriert angeordneten Kabel werden gleichzeitig gespannt, um dem unterschiedlichen Schwindverhalten entgegenzuwirken. Die vertikalen Wandkabel erfüllen dank ihrer schlaufenförmigen Verankerung innerhalb der Bodenplatte mehrere Aufgaben. Sie beeinflussen die Dichtigkeit der Arbeitsfuge am Wandfuss. Ihr Beitrag zum Biegezugwiderstand reduziert die an dieser hoch beanspruchten Stelle übliche Bewehrungskonzentration. Die überlappend angeordneten Schlaufenkabel erzeugen ausserdem eine horizontale Kraft, die das unterschiedliche Verformungsverhalten von Wand und Bodenplatte ausgleicht (Bild 10).

Literatur

- [1] IABSE Colloquium Structural Concrete, Stuttgart 1991, IABSE Reports Volume 62
- [2] SIA-Norm 162, Ausgabe 1968
- [3] FIP Handbook on Practical Design, Thomas Telford Limited, London 1990

Fassadenwand PTT Chur

Die tragende Fassadenwand überbrückt eine 11.29 [m] breite Durchfahrt und übernimmt die Lasten aus zwei Stockwerken. Die über zwei Geschosse reichende Wand ist gleichmässig mit Fensteröffnungen durchsetzt. Der dadurch gestörte Kraftfluss erzeugt hohe Beanspruchungskonzentrationen zwischen den Öffnungen. Durch die aktive Vorspannkraft werden die maximalen Beanspruchungen reduziert und umgelagert. Die hohen Zugkräfte in den Brüstungen werden mit den Vorspannkabeln abgedeckt (Bild 11). Die Verformungen werden reduziert und beanspruchen die empfindliche Keramikfassade nicht.

Rahmen und Stützen

Stützen verfügen als Druckelemente im allgemeinen über einen höheren Biegezugwiderstand und bedürfen in der Regel keiner Vorspannung. In vereinzelt Fällen vermag eine leichte Vorspannung dennoch gute Dienste zu leisten. Im Fall der Hängestützen liefert die Vorspannung einerseits die nötige Zugkraft und erhöht mit der vollständigen Überdrückung des Betonquerschnitts die Steifigkeit des Zugelements. Das kommt dem Verformungsverhalten der angehängten Bauteile zugute. Geschosshöhe, vorfabrizierte Betonstützen von Skelettbauten lassen sich zur Aufnahme von Horizontalkräften mittels der Vorspannung über mehrere Geschosse biegesteif miteinander verbinden. Die durch Normalkraft und hohe Biegeanteile beanspruchten Stiele von Rahmentragwerken werden mit der

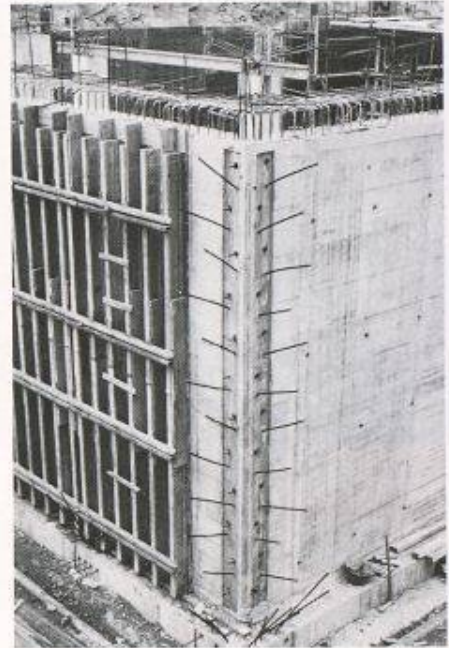


Bild 9. Vorgespannte Bauelemente eines Wasserbehälters

Anordnung einer Vorspannung entlastet. Bereits die Vorspannung der Riegel bewirkt eine Momentenreduktion der Stiele durch Umlagerung. Der erforderliche Biegezugwiderstand der Stiele kann dann mit einer leichten Vorspannung erfüllt werden.

Rahmenkonstruktion PTT Chiasso (Bauprojekt)

Die Einfahrt im Erdgeschoss muss über die volle Breite von 31.28 [m] stützenfrei bleiben (Bild 12). Die Lasten der darüber liegenden Geschosse waren aufzuhängen, und über die in der Fassade integrierte Rahmenkonstruktion in den Baugrund abzuleiten. Die als Zugelemente wirkenden Betonstützen erhalten eine Vorspannung, die den Betonquerschnitt unter allen Lastkombinationen konstant überdrückt. Die Konstruktionshöhe des Riegels umfasst die gesamte Stockwerkshöhe des letzten Geschosses. Die parabelförmig geführten einzelnen Kabeleinheiten von $P_0 = 4600$ [KN] nehmen die angehängten Lasten auf und leiten sie zu den Stielen. Diese wiederum sind mit einer leichten, vertikalen Vorspannung versehen.

Lagerhaus GZ Süd

Bedingt durch den An- und Abtransport von Gütern war im Erdgeschoss eine gedeckte, 5.0 [m] tiefe Verladerrampe vorgesehen. Entlang der Fassadenflucht waren keine Stützen erwünscht. Der über der Rampe liegende Bereich der übrigen Decken musste jedoch als Lagerraum genutzt werden (Bild 13). Die entlang von drei Gebäudekanten vorhandene Deckenauskra-

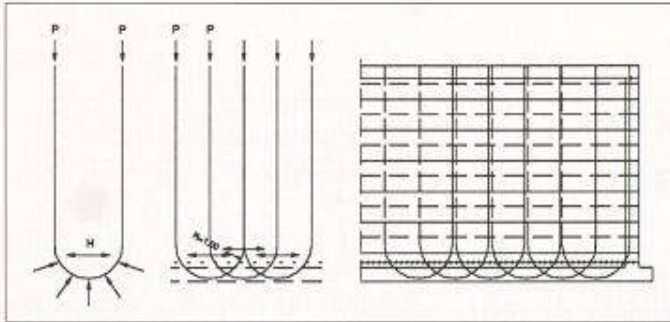


Bild 10. Vertikale Wandvorspannung mit Schlaufenverankerung

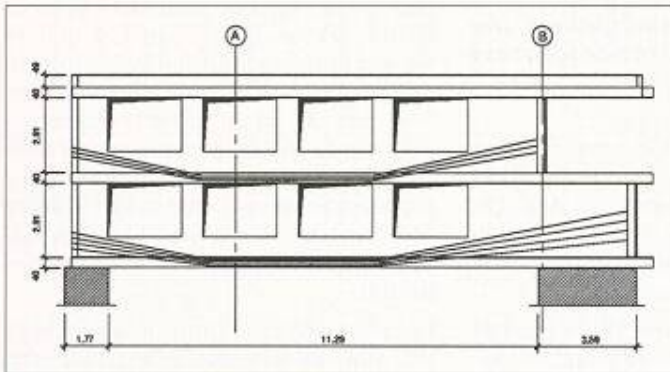


Bild 11. Wandscheibe mit Öffnungen und der entsprechenden Kabelanordnung

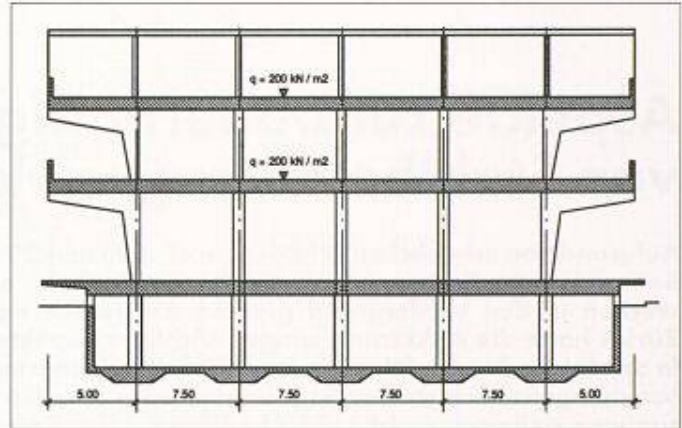
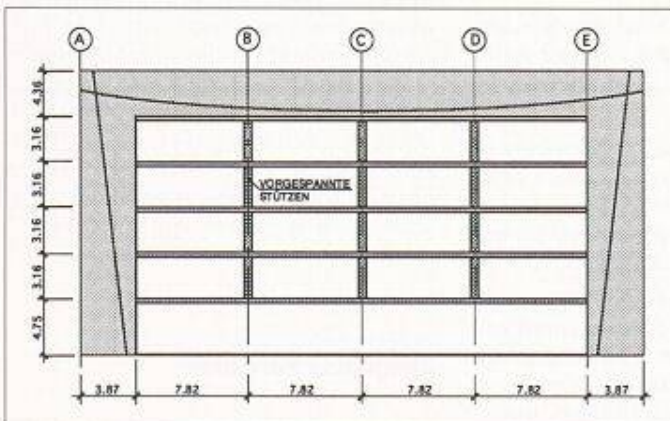


Bild 13. Gebäude mit allseits auskragenden Flachdecken



Bild 14. Vorgespannte Winkelstützen zur Unterstützung der Auskragung

Bild 12. Vorgespannter Rahmen und Stützen

gung von 5.0 [m] liess sich bei der geforderten Nutzlast von $q = 20.0$ [KN/m²] ohne entsprechende stützende Elemente nicht realisieren. Im Einklang mit dem vorhandenen Stützenraster von 7.50×7.50 [m] wurden die Randstützen als Winkelstützen ausgebildet, die mit ihrer Auskragung die übrigen Deckenteile aufnehmen. Die Konstruktionsstärken der eigentlichen Stütze und ihrer mit der Decke verbundenen Auskragung wurden entsprechend der Momentenbeanspruchung angepasst (Bild 14). Die in den Stützstreifen der übrigen Decke verlaufenden verbundlosen Vorspannkabel werden über die Randstütze hinweg bis zum Deckenrand geführt. Infolge der hohen Beanspruchung wurden über der Stütze und der Auskragung zusätzliche Verbundkabel eingelegt. Die Stütze selbst ist aus Gründen

des Bauablaufs nicht vorgespannt. Um die Decke über dem Erdgeschoss nicht zusätzlich mit Einzellasten aus den oberen Geschossen zu belasten, ist jede Decke für sich auf auskragenden Stützen aufgelagert.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwendung der Vorspannung ist und bleibt eine faszinierende Aufgabe. Der Brückenbau hat dies in der Vergangenheit gezeigt, und die Entwicklungen im Hochbau stehen erst am Anfang. Das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten im Hochbau erscheint gross. Die sich bietende Vielfalt verlangt Kreativität und Flexibilität von den Planenden und Ausführenden. Gefordert ist ein virtuoser Umgang mit der

Vorspanntechnik, um deren optimale Verwendung innerhalb der einzelnen Bauelemente des Hochbaus zu gewährleisten. Die von den internationalen Fachverbänden proklamierte gesamtheitliche Betrachtungsweise, umschrieben mit dem Begriff des «Structural concrete», eröffnet der Vorspannung im Hochbau eine ungeahnte Perspektive. Darin liegt die Herausforderung und zugleich die Chance für ideenreiche Ingenieure und Unternehmer.

Adresse des Verfassers: Th. Friedrich, Dipl.-Ing., Domostatik AG, Riesbachstr. 57, 8034 Zürich.