

Internationales Benchmark: Systemwahl für die Decken und Anwendungen

Dr. Hans-Rudolf Ganz
VSL International AG, Bern, Schweiz

1 Einleitung

Die Vorspannung hat sich weltweit für den Bau von Betonbrücken durchgesetzt. Sie hat es ermöglicht, weit gespannte, schlanke Brückenüberbauten in Beton zu erstellen. Die bekannten Vorteile der Vorspannung lassen sich aber auch im Hochbau äußerst sinnvoll anwenden. Dieser Beitrag versucht, die Vorteile der Vorspannung im Hochbau zu zeigen. Nacheinander werden der typische Bauablauf einer vorgespannten Decke, die eingesetzten Spannsysteme und typische Tragsysteme für verschiedene Gebäudetypen und Anwendungen mit Beispielen präsentiert. Neben Decken werden auch andere Tragelemente von Hochbauten vorgestellt, für welche die Vorspannung sinnvoll eingesetzt werden kann.

Die Anwendung von Vorspannung im Hochbau kann folgende Vorteile bringen:

- 1) Größere Spannweiten der Decken bei schlanker Bauweise:
Dies ermöglicht den Bau von Räumen mit großen, offenen Flächen, die viel Flexibilität in der Nutzung zulassen.
- 2) Die Vorspannung ist speziell interessant für Gebäude mit mittlerem/höherem Ausbau-

standard wie Büros und Hotels. Sie eignet sich für alle Größen und Höhen (Anzahl Stockwerke) von Gebäuden (Bild 1).

- 3) Die Vorspannung ermöglicht den Bau von Parkhäusern und Einkaufszentren mit großem Komfort für die Benutzer (Bild 2).
- 4) Vorgespannte Decken ermöglichen geringeren Materialverbrauch (Beton -20 %, Bewehrung -65 %) und benötigen weniger Arbeit zum Erstellen (-60 %).
- 5) Das Gewicht der Decken wird nach dem Spannen durch die Umlenkkräfte der Spannkabel getragen. Deshalb benötigen vorgespannte Decken weniger Sprüßung (häufig nur 1 Geschoss) und ermöglichen einen früheren Zugang für die nachfolgenden Handwerker.
- 6) Vorgespannte Flachdecken oder Pilzdecken ermöglichen einen vereinfachten Einbau von elektrischen und mechanischen Installationen und der Klimaanlage unter der Decke. Sie ergeben eine minimale Gesamtbauhöhe eines Geschosses (wichtig in Hochhäusern und für Geschosse unter Boden).
- 7) Außerhalb von Europa wird Vorspannung im Hochbau stark angewendet. Dies trifft z. B.

Bild 1: Vorspannung in Bürogebäuden



Chile



Hong Kong



USA



Thailand

Bild 2: Vorspannung für Parkhäuser und Einkaufszentren

für die Länder in Südostasien zu. In den USA, Australien und Chile wird mehr als die Hälfte des gesamten Vorspannverbrauchs im Hochbau eingesetzt.

- 8) Spannkabel bringen zusätzliche Sicherheit und Redundanz für die Decken. Im Falle einer Katastrophe können die Spannkabel bei geeigneter Anordnung ein Hängewerk bilden, das den progressiven Kollaps entweder verzögert oder verhindert.
- 9) Vorspannung lässt sich sehr effizient in andern Tragelementen von Hochbauten einsetzen. Beispiele sind: Abfangdecken und -träger, Bodenplatten und Industrieböden.

2 Typischer Bauablauf einer vorgespannten Decke

Der Bau einer typischen vorgespannten Decke umfasst die folgenden Etappen:

- Spannen der Kabel der fertigen Decke, wenn der Beton 20-25 MPa Würfelfestigkeit erreicht hat.
- Ausfahren der Schalung und Versetzen auf die vorgespannte Decke. Einbau einer minimalen Sprüßung.
- Verlegen der Kabelhalter und unteren Bewehrung, wo erforderlich.
- Verlegen der Kabel und Verankerungen.
- Verlegen der oberen Bewehrung, wo erforderlich.
- Betonieren der Decke oder des Deckenabschnittes.

Eine vorgespannte Decke inklusive Wände/Stützen wird häufig in 4-5 Tageszyklen erstellt.

Typische Betonier-Etappen liegen im Bereich von 500-1.000 m², können aber je nach Baumethode ein Mehrfaches davon umfassen.

3 Vorspannsysteme

Für Decken im Hochbau stehen heute zwei Typen von Vorspannsystemen zur Verfügung:

- Spannlitzen ohne Verbund: Dies sind einzelne Litzen, die mit Fett und PE-Hülle ab Werk geschützt sind (so genannte Monolititzen) (Bild 3a).
Typische Monolititzen haben 150 mm² Spannstahlquerschnitt und eine Festigkeit von 1.770 MPa oder 1.860 MPa (pro Litze 265 kN oder 279 kN Bruchlast).
- Spannkabel im Verbund: Dies sind häufig vier Litzen, die in ein flaches Hüllrohr verlegt und nach dem Spannen mit Zementmörtel injiziert werden (pro Litze 265 kN oder 279 kN Bruchlast) (Bild 3b).

Der Durchmesser/die Höhe der beiden Kabeltypen ist ähnlich und beträgt 20-25 mm. Dies ermöglicht maximale Exzentrizitäten der Kabel in schlanken Decken.

Für Träger, Abfangdecken und Bodenplatten werden Mehrlitzen-Spannglieder mit Verbund wie im Brückenbau üblich eingesetzt (Bild 4). Die Anzahl der Litzen pro Kabel ist frei wählbar. Häufig werden aber 7, 12 oder 19 Litzen zu 265/279 kN verwendet.

An Arbeitsfugen werden die Kabel mit speziellen Kupplungen verbunden oder die Kabel über die Fugen überlappt. Kupplungen sind jedoch teure Komponenten und sollten aus wirtschaftlichen Gründen sparsam eingesetzt werden.

Bild 3: Vorspannsysteme für Decken

a) Vorspannsystem ohne Verbund 0,6“
(Monolitzen-Spannverfahren)



b) Vorspannsystem mit Verbund in flachen Hüllrohren mit bis zu 4 Litzen 0,6“

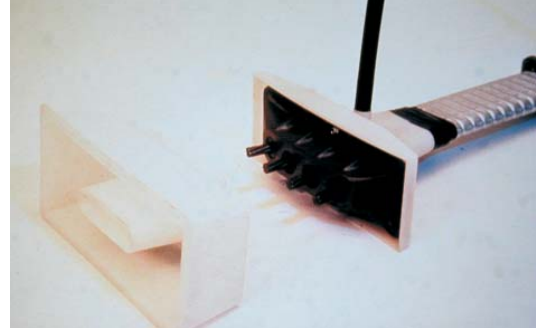


Bild 4: Brückenspannglieder im Verbund und Träger, Abfangdecken und Bodenplatten

a) VSL CS 2000 System (Kunststoff-Hüllrohr)



b) VSL EC System (Wellblech-Hüllrohr)



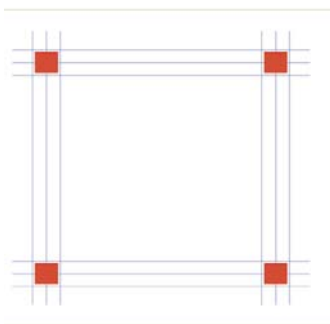
Falls die Fuge längere Zeit offen bleiben soll (Abklingen von Langzeitverformungen), sind auch ca. 1 m breite Streifen in schlaff bewehrtem Beton möglich.

Die Kabel werden nach statischen Erfordernissen in der Decke verteilt. In der Praxis hat sich

bewährt, 50 % oder mehr der Kabel in den Stützenachsen zu konzentrieren. Besonders einfach für das Verlegen ist die Anordnung „Case 2“ in Bild 5, in der alle Kabel einer Tragrichtung in den Stützenachsen und die Querkabel ungefähr verteilt angeordnet sind.

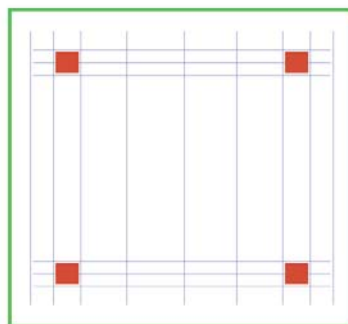
Bild 5: Typische Kabelanordnung NB: Case 2 gilt auch für Träger und Platte.

CASE 1



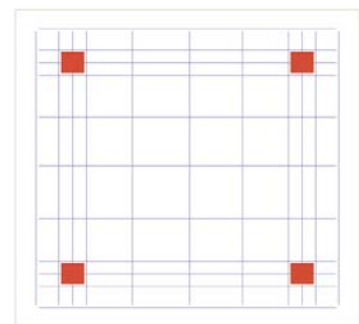
Two-way banded

CASE 2



One-way banded
One-way distributed

CASE 3



Two-way distributed

Nachträgliche Durchbrüche und Öffnungen in vorgespannten Decken sind möglich. Kleine Öffnungen legt man zwischen die Kabel. Bei großen Öffnungen müssen Kabel durchgetrennt werden. Falls die Kabel im Verbund sind, können sie einfach durchgetrennt werden. Sie sind über Verbund hinter dem Schnitt wieder voll verankert. Für Kabel ohne Verbund müssen die Kabel freigelegt, kontrolliert entspannt, mit neuen Verankerungen am Schnitt wieder verankert und neu gespannt werden.

70-80 % der Kosten fallen für nicht tragende Elemente wie Fassaden, Innenausbau, mechanische/elektrische Installationen etc an. Eine optimale Wahl ist deshalb häufig eine Decke mit flacher Untersicht (Flachdecke, Pilzdecke). Dies ergibt nicht den minimalen Materialverbrauch, bringt aber Ersparnisse bei der Gebäudehöhe (Fassade), beim Einbau von Leitungen unter der Decke und Vorteile in der Nutzung.

4 Typische Deckensysteme

4.1 Büros, Hotels

In Bürogebäuden beträgt der Anteil des Rohbaus an den Gesamtkosten nur ca. 20-30 %. Die Decken verursachen mit 30-40 % einen wesentlichen Teil der Rohbaukosten. Jedoch

- Flachdecke: Typische Abmessungen und Lastbereiche für vorgespannte Flachdecken sind in Bild 6 dargestellt.
- Pilzdecken: Pilzdecken ermöglichen größere Spannweiten als Flachdecken bei gleichem Betonvolumen. Die Anordnung der Pilze bringt keine wesentlichen Nachteile für Schalung und Bauablauf. Typische Abmessungen und Lastbereiche sind in Bild 7 dargestellt.

Bild 6: Typisches Tragsystem: Flachdecke

Typischer Spannweitenbereich: 7-10 m
 Typischer Lastbereich (ohne Decke): 2-7 kN/m²
 Typische Spannweite/Deckenstärke: 35-45

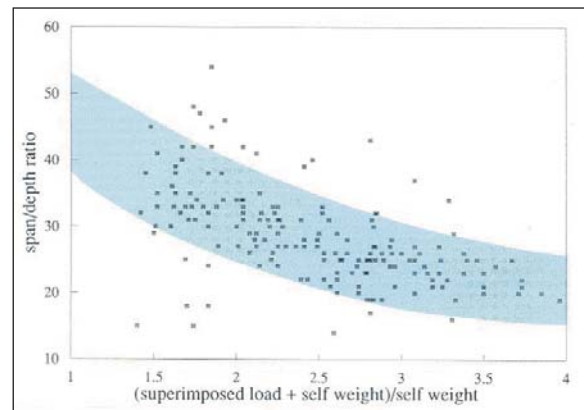
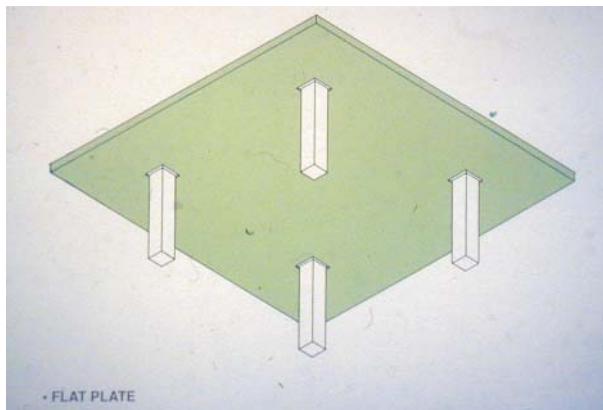
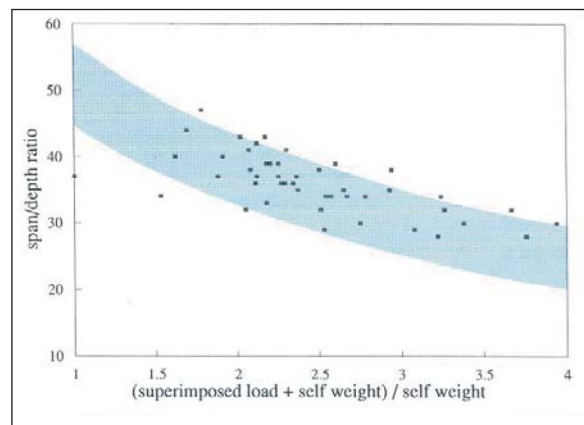
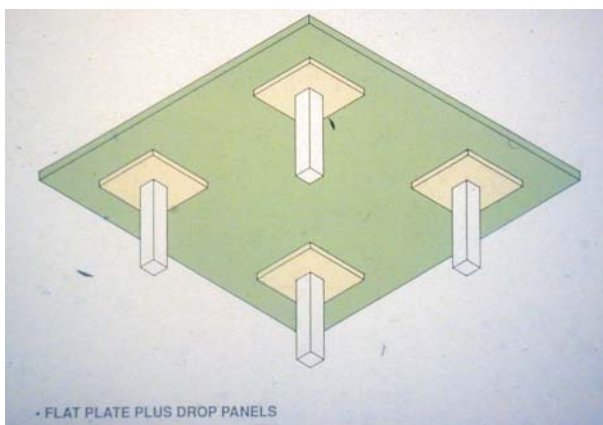


Bild 7: Typisches Tragsystem: Pilzdecken

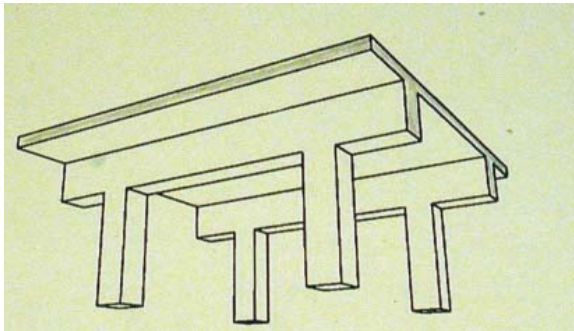
Typischer Spannweitenbereich : 8-13 m
 Typischer Lastbereich (ohne Decke): 2-10 kN/m²
 Typische Spannweite/Deckenstärke: 35-50



- Träger und Platte: Falls noch größere Spannweiten erforderlich werden, sind Träger erforderlich. Typische Abmessungen und Lastbereiche sind in Bild 8 dargestellt. Eine gründliche Planung des Versetzens der Schalungen ist hier wesentlich.

Bild 8: Tragsystem für extra lange Spannweiten: Träger und Platte

Typischer Spannweitenbereich Träger: 12-20 m
 Typischer Spannweitenbereich Platte: 4-7 m
 Typischer Lastbereich (ohne Decke): 2-10 kN/m²
 Typische Spannweite/Trägerstärke: 25-35
 Typische Spannweite/Plattenstärke: 35-45



4.2 Parkhäuser

Bei Parkhäusern ist der Anteil des Rohbaus an den Gesamtkosten höher als bei Büros. Für Parkhäuser über Boden beträgt er ca. 60 %, für unterirdische Parkhäuser ca. 50 %.

Für Parkhäuser über Boden sind die Decken das weitaus wichtigste Element und kosten ca. 2/3 des Rohbaus. Deshalb bieten sich hier Tragsysteme an, die den Materialverbrauch minimieren. Es sind dies entweder schmale/hohe

oder breite/flache Träger mit Platte. Typische Abmessungen und Lastbereiche sind in den Bildern 9 und 10 dargestellt.

Für unterirdische Parkhäuser kosten die Decken inklusive Bodenplatte immer noch ca. 50 % des Rohbaus. Die Kosten für Aushub und Schlitzwand können aber dazu führen, eine geringere Bauhöhe der Decke zu wählen, als hinsichtlich des Materialverbrauches optimal wäre.

4.3 Einkaufszentren

Einkaufszentren sind primär für die Nutzung optimiert. Häufig werden deshalb Flachdecken, Pilzdecken und breite, flache Träger mit Platte gewählt.

4.4 Bemessung der Decken

Die Berechnung der Decken erfolgt häufig an „Stellvertretenden Rahmen“ mit Berücksichti-

Bild 9: Tragsystem: Schmale Träger und Platte

Typischer Spannweitenbereich Träger: 12-20 m
 Typischer Spannweitenbereich Platte: 5-8 m
 Typische Spannweite/Trägerstärke: 18-24
 Typische Spannweite/Plattenstärke: 40-45
 Typische Breite der Träger: 0,4-0,5 m

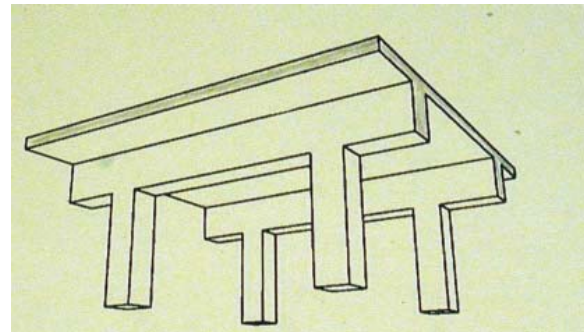
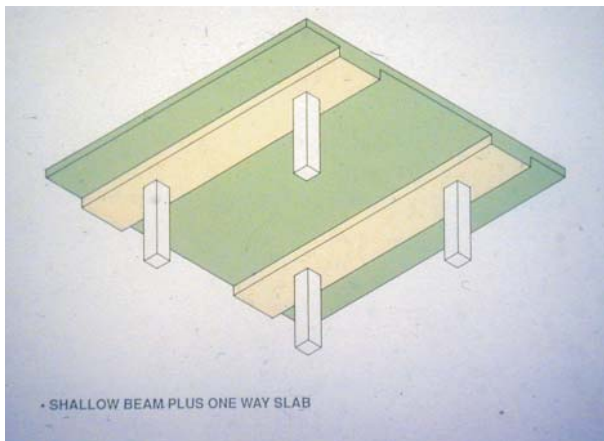
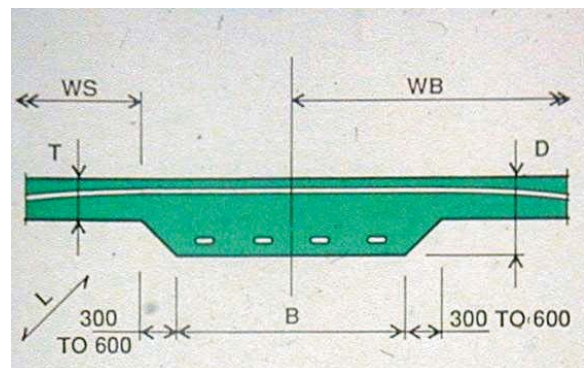


Bild 10: Tragsystem: Breite flache Träger und Platte



Typischer Spannweitenbereich Träger : 10-20 m
 Typischer Spannweitenbereich Platte : 5-8 m
 Typische Spannweite/Trägerstärke L/D: 25-30
 Typische Spannweite/Plattenstärke WS/T: 35-45
 Typische Breite der Träger WB/B: 5-6



gung der Stützen oder vermehrt auch mit Finiten Elementen. Die Bemessung erfolgt primär für Biegung und Durchstanzen. Im Gebrauch werden die Zugspannungen im Beton und die Durchbiegungen limitiert. Dies ergibt eine vernünftige Größe der Vorspannung. Die schlaife Bewehrung ergibt sich aus dem Nachweis der Tragsicherheit als erforderliche Ergänzung des vorhandenen Vorspannstahls und der erforderlichen konstruktiven Ausbildung von Deckendetails. Das Resultat einer optimalen Dimensionierung sind schlanke Decken mit wenig schlaffer Bewehrung. In gewissen Bereichen der Decke (z. B. Innenfelder) wird oft gar keine untere Bewehrung verlegt.

5 Abfangdecken und Träger

5.1 Tragsystem

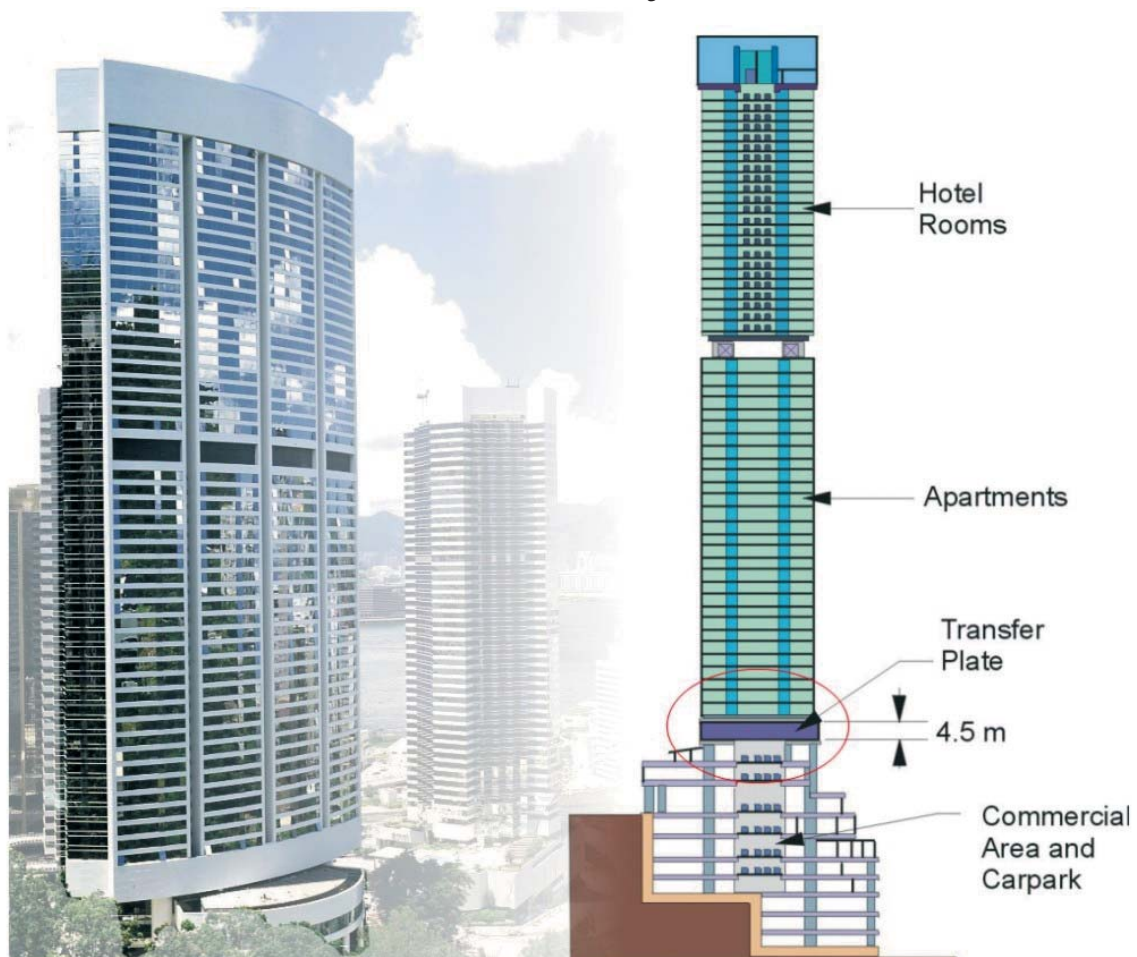
Abfangdecken und Träger ermöglichen, die Anordnung von Stützen und Wänden über die Gebäudehöhe zu ändern. Dies ist häufig erfor-

derlich, wenn verschiedene Nutzungen über die Gebäudehöhe erwünscht sind (Bild 11). Abfangdecken und Träger müssen sehr hohe Lasten abtragen. Ein großer Teil der Lasten ist permanent. Vorspannung ist vor allem sinnvoll, um die Langzeitverformungen zu kontrollieren.

Abfangdecken werden häufig als massive Platten ausgebildet, mit Plattenstärken, die mehrere Meter erreichen können. Sie haben hohe Bewehrungsgehalte mit durchgehender Bewehrung entlang aller Oberflächen und Ränder. Sie haben meist auch Schubbewehrung über die gesamte Plattenfläche.

Diese massiven Decken werden häufig in 2-3 Lagen erstellt, und zwar mit Dicken von 1,0-1,5 m pro Lage. Die unterste Lage wird auf Schalung/Gerüst eingebaut und vorgespannt. Diese Lage dient danach als Schalung und Gerüst für die nachfolgenden Lagen. Dies ermöglicht signifikante Einsparungen bei Schalung und Gerüst.

Bild 11: Abfangdecken in Gebäuden mit Mehrfach-Nutzung



5.2 Bemessung

Die Berechnung von Abfangdecken erfolgt häufig mit Finiten Elementen. Die Bemessung hat spezielle Effekte dicker Platten zu berücksichtigen wie:

- Bemessung für Hauptschub
- Effekt des Schubes auf Biegung (Versatzmaß)
- Drillmomente

Im Gebrauchszustand werden die Betonzugspannungen und die Durchbiegungen limitiert. Dies ergibt ein Maß für die Vorspannung. Der Nachweis der Tragsicherheit ergibt die erforderliche schlaffe Bewehrung. Falls der Gehalt der schlaffen Bewehrung hoch ist, wird ein Teil davon sinnvollerweise durch zusätzliche Vorspannung ersetzt. Dies vereinfacht den Bauvorgang. Die Effekte des verzögerten Aufbringens der Lasten sind zu beachten.

6 Bodenplatten

6.1 Tragsystem

Vorgespannte Bodenplatten eignen sich ausgezeichnet zum Abtragen von Lasten in relativ weichen Untergrund und für Gebäude, die im Grundwasser stehen (dichte Wanne). Häufig

werden vorgespannte Bodenplatten als massive Platten, Platten mit Verstärkungen unter Stützen („Pilz“) oder mit Trägern an der Unterseite ausgebildet (Bild 12). Die Vorspannung vereinfacht die Ausführung (Bewehrungsgehalt, Betonabmessungen) und verbessert die Gebrauchstauglichkeit (Dichtigkeit) der Platte. Vorgespannte Platten wurden schon als Variante zur doppelten Wanne ohne spezielle Abdichtung erfolgreich eingesetzt.

6.2 Bemessung

Die Berechnung von Bodenplatten erfolgt häufig mit Finiten Elementen (Platte auf elastischer Bettung). Die Bemessung erfolgt speziell für Durchstanzen und Biegung. Dabei sind die Effekte des verzögerten Aufbringens der Lasten speziell zu beachten. Die Bemessung im Gebrauchszustand (limitierte Zugspannungen, Dichtigkeit) ergibt ein sinnvolles Maß für die Vorspannung.

7 Industrieböden

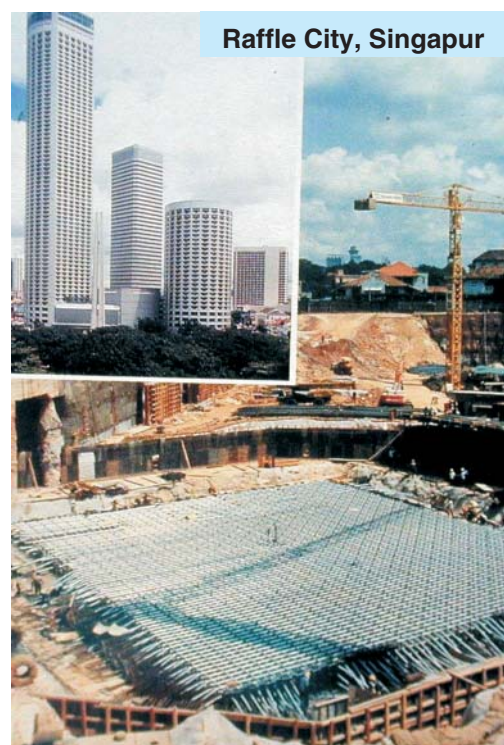
7.1 Tragsystem

Industrieböden sind üblicherweise dünne Platten, die direkt auf dem Boden aufliegen. Sie werden speziell verwendet für Container Terminals, Lagerhäuser und Verteilerzentren

Bild 12: Vorgespannte Bodenplatten für Lastabtragung in weichen Untergrund und Dichtigkeit im Grundwasser



Lagerhaus, Schweiz



Raffle City, Singapur



Australien



Australien

Bild 13: Vorgespannte Industrieböden für Container Terminals und Verteilerzentren

(Bild 13). Diese Böden werden mit Lastwagen und Hubstaplern etc. befahren. Nicht vorgespannte Böden haben zahlreiche Fugen, um die Zwängungen aus behinderter Verformung infolge Reibung auf dem Boden zu limitieren. Diese Fugen altern schnell unter den Verkehrslasten und resultieren in hohen Unterhaltskosten. Vorgespannte Industrieböden haben keine bzw. wenige Fugen. Dies erhöht die Nutzungssicherheit und Dauerhaftigkeit der Böden und resultiert in stark reduzierten Unterhaltskosten. Die Wirtschaftlichkeit von vorgespannten Industrieböden soll deshalb über die gesamte Lebensdauer abgeschätzt werden (life cycle costing).

Vorgespannte Industrieböden haben eine orthogonale, zentrische Vorspannung (Bild 14). Die Böden haben mit Ausnahme des Bereichs entlang der Ränder keine schlaaffe Bewehrung. Sie liegen auf Plastikfolien, um die Reibung zum Boden zu minimieren. Sie sind entweder fugenlos oder haben wenige, aber gut ausgebildete Dehnfugen. Konstruktive Details und Ausführung der Betonarbeiten sind wichtig, um Risse in den ersten Stunden nach dem Betonieren zu vermeiden. Die Vorspannung wird möglichst früh aufgebracht (partielles Spannen nach 12 h).

7.2 Bemessung

Die Berechnung von Industrieböden erfolgt mit Tabellen oder Finiten Elementen für Platten auf elastischer Bettung. Die Bemessung erfolgt hauptsächlich für Biegung und limitiert die Zugspannungen im Beton. Dabei sind die Zwängungen aus behinderter Verformung (Reibung auf Boden) und aus Temperaturdifferenzen zu berücksichtigen. Dies ergibt die erforderliche Vorspannung.



Bild 14: Vorgespannte Industrieböden erfordern gute konstruktive Details.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlung

Die Vorspannung im Hochbau ist weltweit stark verbreitet und hat sich bewährt. Nebst den Decken bieten sich zahlreiche andere Elemente im Hochbau zum Vorspannen an. Europa liegt im Vergleich zu den USA, Ländern in Südostasien und Australien im Einsatz von Vorspannung im Hochbau weit zurück.

Vorgespannte Decken und andere Elemente bieten noch ein großes Potenzial für Europa, um Nutzungskomfort, Wirtschaftlichkeit, Baufortschritt, Dauerhaftigkeit und Ästhetik von Hochbauten zu verbessern.

9 Literatur

„Post-Tensioning in Buildings“, VSL Technical Report, VSL International Ltd., Bern, Switzerland, 1992.