



Vorspannung im Hochbau

Planungs- und Ausführungserfahrungen im In- und Ausland



Inhaltsverzeichnis

- 1. Einleitung**
- 2. Normen und ihre Konsequenzen**
- 3. Einsatzgebiet Flachdecken**
- 4. Fallbeispiele**



Inhaltsverzeichnis

- 1. Einleitung**
- 2. Normen und ihre Konsequenzen**
- 3. Einsatzgebiet Flachdecken**
- 4. Fallbeispiele**



1. Einleitung

Unsere Erfahrungen im In- und Ausland in Bezug auf das Thema Vorspannung im Hochbau sind sehr unterschiedlich.

Die Unterschiede sind vermutlich kulturell bedingt. Dies macht sich vor allem in den Normen und deren Anwendung sowie im Vorhandensein von Prüfinstanzen bemerkbar.

Generell kann festgestellt werden, dass die mannigfaltigen Vorteile der Vorspannung im Hochbau, vor allem im Ausland (D, F), immer noch relativ wenig genutzt werden.

Gründe:

- Komplikationen im Bauablauf (Spannstufen, Injektion etc.)
- Einsatz von speziellen Spannfirmen
- Etwas aufwendigere statische Berechnung (nicht unbedingt notwendig)
- Vor allem aber: «user-unfriendly» Normen
- Im Ausland (D, F): Prüfsingenieure



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
- 2. Normen und ihre Konsequenzen**
3. Einsatzgebiet Flachdecken
4. Fallbeispiele

In den unten aufgeführten Ländern waren und sind zurzeit (**fett**) folgende Normen in Gebrauch / in Kraft, in welchen vorgespannte Tragwerke im Hochbau geregelt sind:

- | | |
|---------------|---|
| - Schweiz | SIA 162 (1989)
SIA 262 (2003) |
| - Deutschland | DIN 4227-1 (1979/1988)
ENV 1992-1-1 (1994)
DIN 1045-1 (2002/2005/2008) |
| - Frankreich | BPEL (1991/1999)
EN 1992-1-1 (ab 2012 mit Übergangszeit) |
| - Europa | ENV 1992-1-1 (1994)
EN 1992-1-1 seit 2004 |



2.2 Die prinzipiellen Unterschiede

In der Folge werden die prinzipiellen Unterschiede in Bezug auf den Einsatz der Vorspannung im Hochbau angegeben:

- Schweiz

SIA 162 und SIA 262

«teilweise Vorspannung» zugelassen

- Ursprünglich wurde nur der Nachweise auf Tragsicherheit erbracht
- Ausgleich von ca. 2/3 der ständigen Lasten, zentrische Druckspannung von ca. 1 N/mm²
- In der SIA 262 sind die Grenzen gegeben durch die Bewehrungsüberdeckung je nach Expositionsklasse und die Spannungsbegrenzung je nach Anforderungen an die Rissbildung
- Kriterium der Dekompression zur Wahrung der Dauerhaftigkeit wird nicht verwendet



- Schweiz

**Begrenzung der Stahlspannungen des
Spannstahls:**

Während des Spannens:

$$\sigma_{p,\max} = \mathbf{0.75} f_{pk} \quad (f_{pk} = \text{Zugfestigkeit})$$

Unmittelbar nach dem Spannen:

$$\sigma_p \leq \mathbf{0.70} f_{pk}$$

Beispiel: bei Spannstahl 1860:

$$\sigma_{p,\max} = \mathbf{1395 \text{ N/mm}^2} \text{ und } \sigma_p \leq \mathbf{1302 \text{ N/mm}^2}$$

Das sind **+ 36.3 %** zu DIN 4277 (!)



– Deutschland **DIN 4277**

Begrenzung der Stahlspannungen des Spannstahls:

Während des Spannens:

$$\sigma_{p,\max} \leq \mathbf{0.55} \beta_z \quad (\beta_z = \text{Zugfestigkeit})$$

Beispiel: bei Spannstahl 1770:

$$\sigma_{p,\max} \leq \mathbf{973.5 \text{ N/mm}^2}$$

Beispiel: äquivalent bei Spannstahl 1860:

$$\sigma_{p,\max} \leq \mathbf{1023 \text{ N/mm}^2}$$

Das sind – **26.6 %** zu SIA (!)

→ Dieses Kriterium machte die Vorspannung mit Litzenkabeln völlig unwirtschaftlich.



– Deutschland

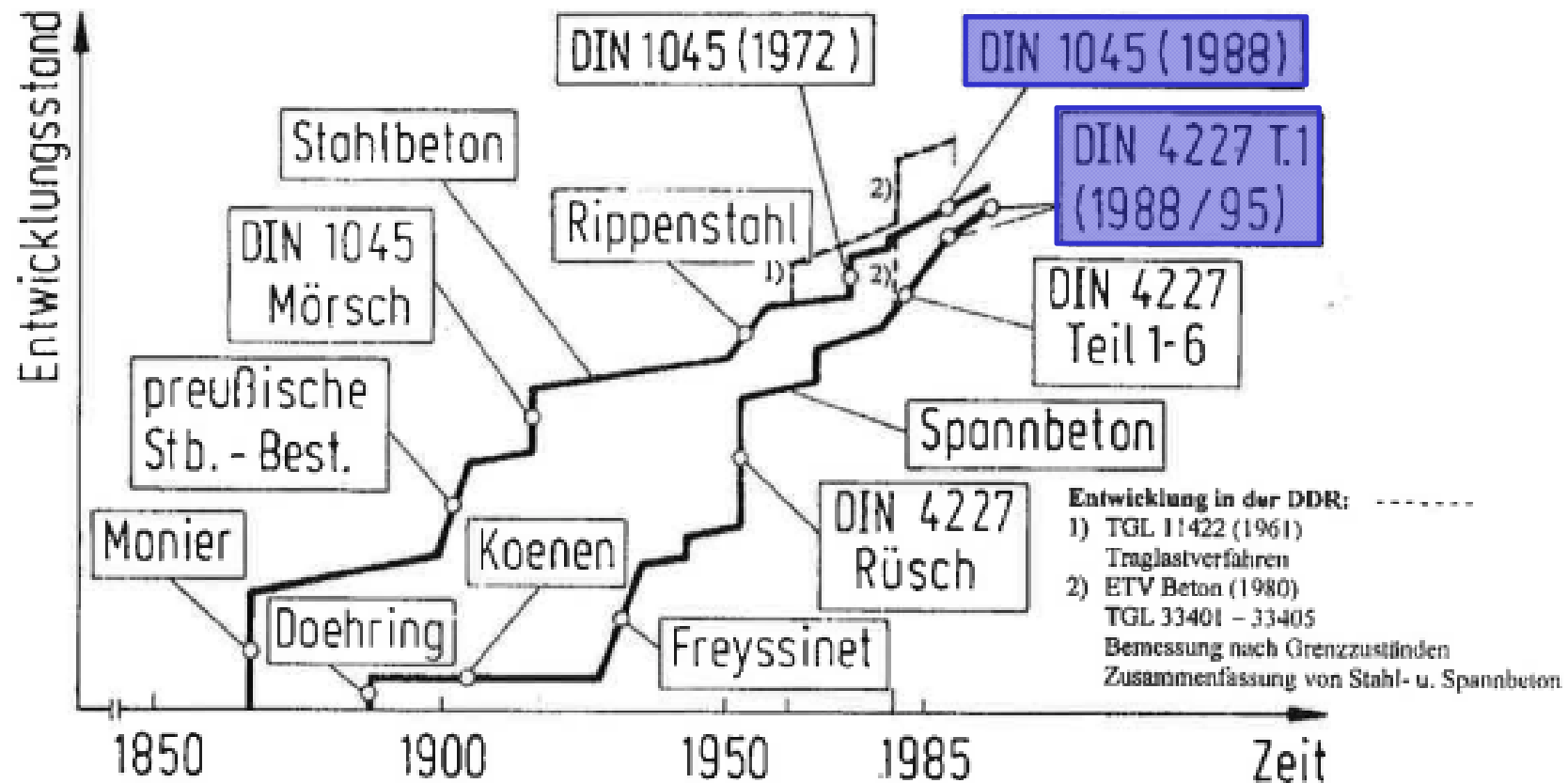


Bild 1 Entwicklung der deutschen Stahlbetonnormung



– **Deutschland Zulassung im Einzelfall «bbv» System:**

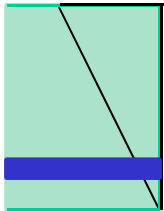
$$\sigma_{p,max} \leq 0.55 \beta_z = 973.5 \text{ N/mm}^2 \text{ (1998)}$$

$$\sigma_{p,max} \leq 0.70 \beta_z = 1239.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (2000)}$$

$$\sigma_{p,max} \leq 0.77 \beta_z = 1350.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (2005)}$$



– Deutschland **DIN 1045-1**



Kriterium: keine Dekompression am Querschnittsrand

Dekompression = Grenzzustand, bei dem der Betonquerschnitt unter der massgebenden Einwirkungskombination gerade noch vollständig unter Druckspannungen steht.

Beispiel:

Umweltklasse XC2 → Anforderungsklasse C →
Dekompression unter quasi ständiger Lastfallkombination

Umweltklasse XC1 → Anforderungsklasse D →
kein Nachweis der Dekompression erforderlich.

→ Dank diesem Kriterium ist die Vorspannung bei Hochbaudecken wieder wirtschaftlichen geworden.



- Deutschland **DIN 1045-1**

Begrenzung der Stahlspannungen des Spannstahls:

Während des Spannens:

$$\sigma_{0,\max} \leq 0.80 f_{pk} \text{ oder } \leq 0.90 / 0.95 f_{p0.1k}$$

(f_{pk} = Zugfestigkeit; $f_{p0.1k}$ = Fließgrenze)

Unmittelbar nach dem Spannen:

$$\sigma_{m0,\max} \leq 0.75 f_{pk} \text{ und } \leq 0.85 f_{p0.1k}$$

Beispiel: bei Spannstahl 1860:

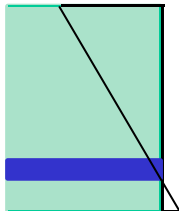
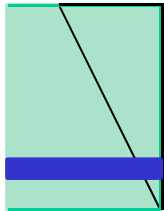
$$\sigma_{0,\max} = 1440 \text{ N/mm}^2 \text{ und } \sigma_{m0,\max} = 1360 \text{ N/mm}^2$$

Das sind **+3.2 %** zu **SIA 262** und **+ 40.7 %** zu **DIN 4277**



– Frankreich

BPEL



Dekompression

- keine Dekompression bis Aussenkante Hüllrohr bei Bauteilklassen II und III
- keine Dekompression bis Aussenkante Betonquerschnitt bei Bauteilklasse I (höchste Klasse)

- Nachweis der Dekompression bei Bauteilklasse II und III unter quasi ständiger Lastfallkombination
- Nachweis der Dekompression bei Bauteilklasse II unter häufiger Lastfallkombination
- Nachweis der Dekompression bei Bauteilklasse I für alle Lastfallkombinationen

- Dieses Kriterium macht die Vorspannung bei Hochbaudecken völlig unwirtschaftlich.



– Frankreich **BPEL**

Begrenzung der Stahlspannungen des Spannstahls:

Während des Spannens:

$$\sigma_{o,max} \leq 0.80 f_{tk} + \text{weitere Kriterien}$$

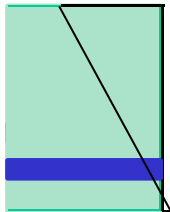
Beispiel: bei Spannstahl 1860:

$$\sigma_{o,max} = 1488 \text{ N/mm}^2$$



– Europa

EN 1992-1-1



Dekompression

- keine Dekompression 25 mm vom Hüllrohr weg entfernt !
- Nachweis der Dekompression bei Expositionsklasse $\geq$ XC2 unter quasi ständiger Lastfallkombination.

Begrenzung der Stahlspannungen des Spannstahls:

Während des Spannens:

$$\sigma_{o,max} \leq 0.80 f_{pk} \text{ oder } \leq 0.90 f_{p0.1k}$$

Unmittelbar nach dem Spannen:

$$\sigma_{pmo} \leq 0.75 f_{pk} \text{ und } \leq 0.85 f_{p0.1k}$$

Beispiel: bei Spannstahl 1860:

$$\sigma_{o,max} = 1440 \text{ N/mm}^2 \text{ und } \sigma_{pmo} = 1360 \text{ N/mm}^2$$



2.3 Direkter Vergleich DIN 4227 zu EC2 (ENV 1992-1-1)

Der EC2 eröffnete europaweit die Möglichkeit, ähnliche Berechnungsverfahren (z.B. plastische Berechnungsmethoden), wie sie auch die SIA 162 seit 1989 kannte, anzuwenden.

Die Bemessungsregeln des EC2 erlaubten unter anderem eine bessere Ausnutzbarkeit der Materialien (Beton, Betonstahl, Vorspannstahl). Die führte unweigerlich zu höheren Querschnittswiderständen.

Schliesslich konnten die «Sicherheitsreserven» anhand der Teilsicherheitsbeiwerte des EC2 gegenüber dem globalen Sicherheitsbeiwert nach DIN 4227 verkleinert werden.



2.4 Fazit

Die strengen Normen und Ausführungsbestimmungen wurden primär für den Brückenbau aufgestellt. Für den Hochbau könnten prinzipiell viele der zahlreichen Nachweise entfallen. In der Schweiz ist dies im Allgemeinen möglich, da die Planer von den Normen abweichen können, wenn sie dafür die Verantwortung tragen. Im Ausland, wo Normen oft Gesetzeskraft haben, sind Vereinfachungen oft nur möglich, wenn die Prüforgane dem zustimmen. In Deutschland müssen Prüfsingenieure eine spezielle Zulassung für die Prüfung von Spannbeton haben.

Dies führte unter anderem dazu, dass Decken im Hochbau in Deutschland und Frankreich in den seltensten Fällen vorgespannt wurden.

Alle Bauwerke, welche von unserem Büro in Deutschland oder Frankreich realisiert werden konnten, beruhen darauf, dass die Prüfinstanzen offen genug waren, um die Nachweise nach dem EC2 oder den SIA-Normen zu akzeptieren und die teilweise Vorspannung zuliessen.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Normen und ihre Konsequenzen
- 3. Einsatzgebiet Flachdecken**
4. Beispiele



3. Einsatzgebiet Flachdecken

Flachdecken sind wohl das Hauptanwendungsgebiet der Vorspannung im Hochbau.

Die potentiellen Vorteile sind:

- Geringere Plattendicken als bei Stahlbeton (bei gleichen Lasten)
- Grössere Spannweiten möglich (bei gleichen Plattenstärken)
- Rissebeschränkung
- Geringere Durchbiegungen (bei gleichen Plattenstärken)
- Vermeidung von Dilatationsfugen
- Erhöhung des Durchstanzwiderstandes



Bei Flachdecken eignete sich besonders die früher so benannte teilweise Vorspannung (dieser Begriff existiert in den derzeitigen Normen nicht mehr), bei welcher ein beträchtlicher Teil der Querschnittszugkräfte durch schlaaffe Bewehrung abgedeckt wird (kleine λ - Werte).

$$\lambda = A_p \times f_{pd} / (A_s \times f_{sd} + A_p \times f_{pd})$$

Für Werte $\lambda < \mathbf{0.5 \text{ bis } 0.6}$ kann die Decke wie Stahlbeton berechnet werden, also ohne Berücksichtigung des durch die Vorspannung erzeugten Eigenspannungszustands. Die Vorspannung geht lediglich durch die höhere Zugfestigkeit des Spannstahls in die Berechnung ein. Diese Vereinfachung war vor allem vor dem Computerzeitalter sehr nützlich, da die statische Berechnung somit deutlich vereinfacht werden konnte.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Normen und ihre Konsequenzen
3. Einsatzgebiet Flachdecken
4. Fallbeispiele



4.1 UBS (vormals SBV) Gartenstrasse 9, Basel

BAUJAHR: 1972 - 1974



Bild 1. Rohbau Bürogebäude Schweizerischer Bankverein

GEBÄUDEABMESSUNGEN:

75.0 m x 42.5 m (Obergeschosse)
95.0 m x 68.0 m (Untergeschosse)
5 Untergeschosse
1 Erdgeschoss
5 Obergeschosse

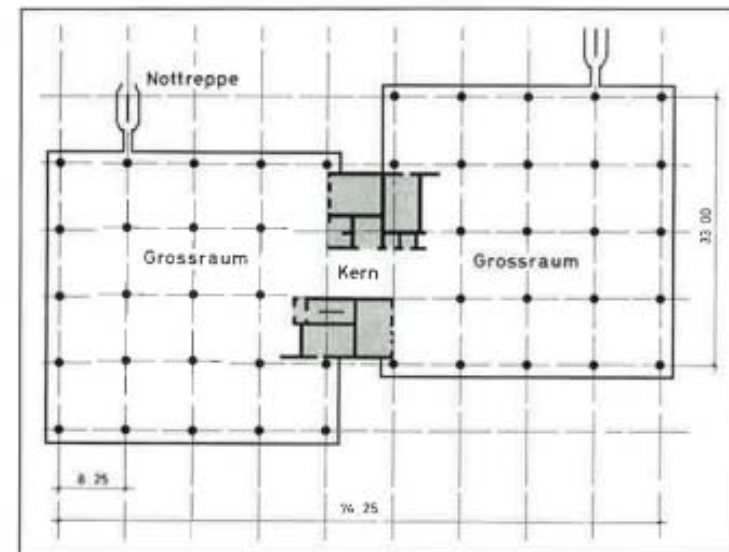


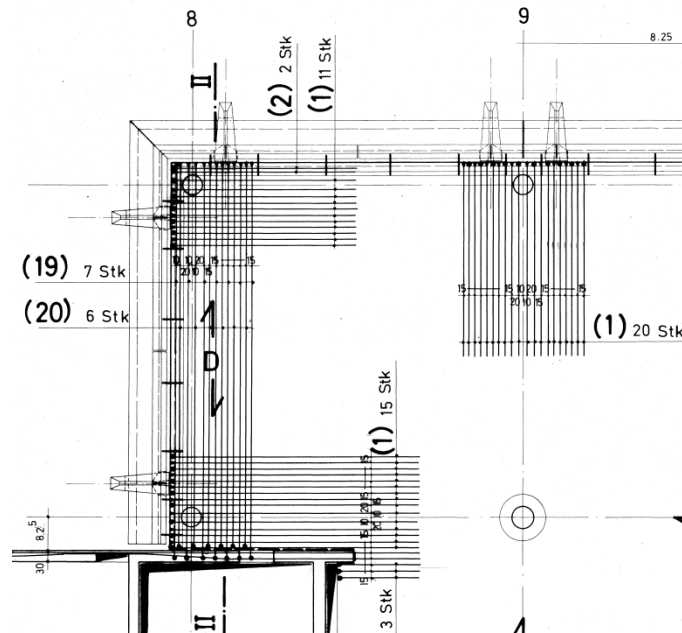
Bild 2. SBV, Grundriss Obergeschoss

SPANNWEITEN:

8.25 m x 8.25 m

4.1 UBS (vormals SBV) Gartenstrasse 9, Basel

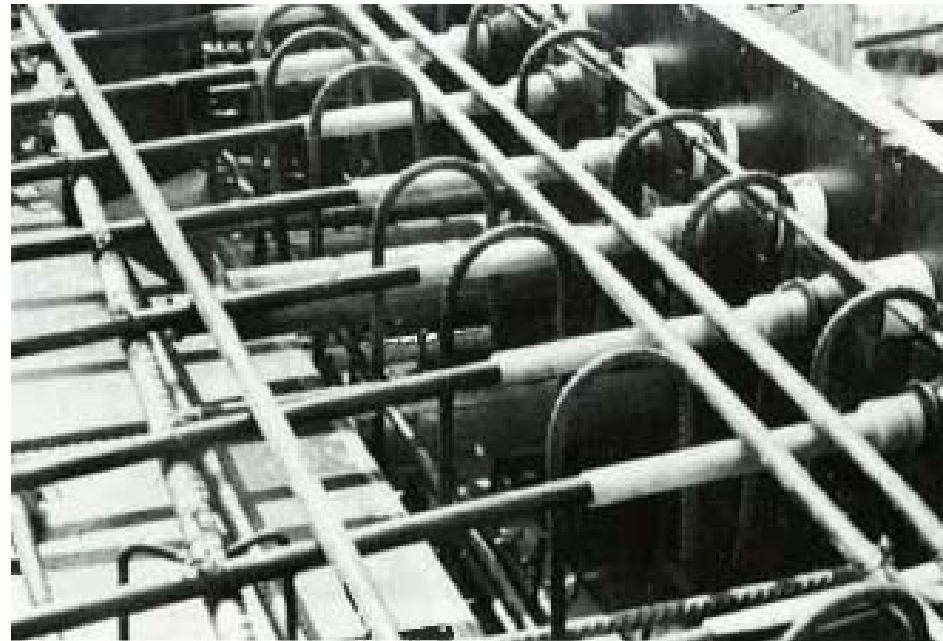
Anordnung im Grundriss



VORSPANNUNG:

Gefettete Monolitzen
20 Stück pro Gurtstreifen
Breite der vorgespannten Zone ca. 2.15 m !

Verankerungsbereich



VORTEILE:

Fugenlose Bauweise
Kürzere Ausschulfristen

4.1 UBS Gartenstrasse 9, Basel

UMBAU: 2009 - 2011



NACHTEILE DER VORSPANNUNG MIT GEFETTETEN MONOLITZEN:

Grosse Fläche durch Vorspannung beansprucht
Totaler Ausfall bei lokaler Beschädigung



4.2 Tchibo, Hamburg (D)

BAUJAHR: 1974



VORSPANNUNG:

Erster Einsatz von Vorspannung mit Litzenkabeln im Verbund in Deutschland

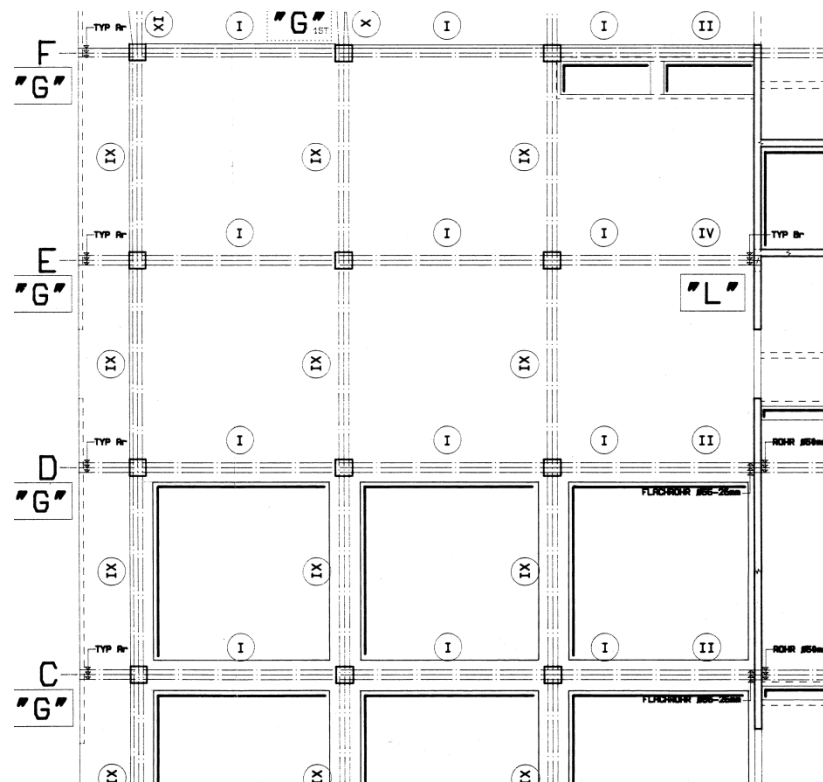
Anordnung in den Gurtstreifen

Teilweise Vorspannung, entgegen den damaligen DIN-Normen, dank grosser Überzeugungsarbeit beim Prüfenieur



4.3 Novartis, Ramses (WSJ-25), Basel

BAUJAHR: 1987 - 1988



Anordnung im Grundriss

GEBÄUDEABMESSUNGEN:

2 Untergeschosse
8 Obergeschosse
16'000 m² Geschossfläche
145 X 50 m

VORGABEN BAUHERRSCHAFT:

Tragwerk möglichst anpassungsfähig an die sich stetig verändernden Produktionsanlagen.
Um- respektive Neuinstallationen sollten möglichst einfach ausführbar sein.

TRAGWERKSKONZEPT:

Im Gurtstreifen, vorgespannte Flachdecken mit Litzenkabeln im Verbund.
Spannweiten 7.50 m, Deckenstärke 28 cm

VORTEIL:

Gegenüber Fertigteillösung ca. 15 % günstiger



4.4 Novartis, Bau 303, Stein

BAUJAHR: 1992 - 1994



GEBÄUDEABMESSUNGEN:

145 X 50 m

VORGABEN BAUHERRSCHAFT:

Rissefreie und unterhaltsarme Konstruktion
Hohe Flexibilität bezüglich Aussparungen während rollender
Planung sowie nach Erstellen des Gebäudes

TRAGWERKSKONZEPT:

Fugenlose Flachdecken ohne Deckenverstärkungen (Pilze,
Unterzüge)

VORSPANNUNG:

Vorspannung im Verbund mit in den Gurtstreifen angeordneten
Litzen-Flachkabeln





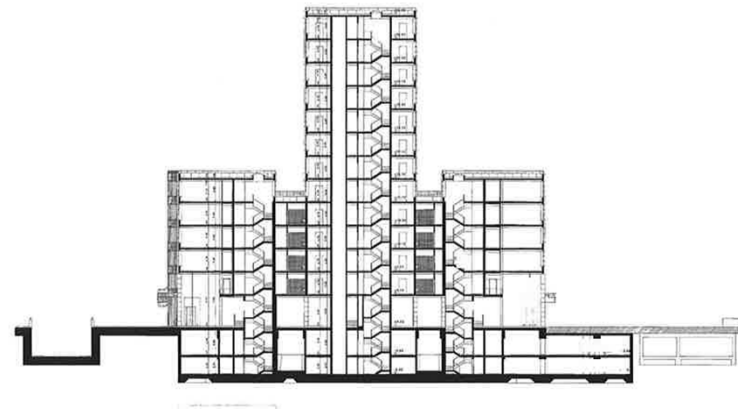
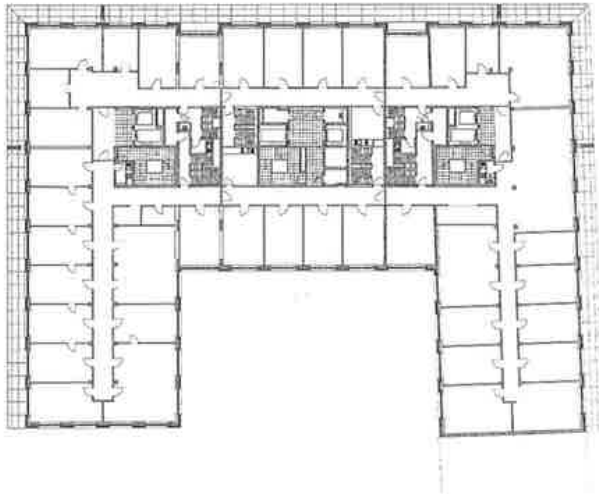
4.5 IDUNA, Mannheim (D)

BAUJAHR: 1992 - 1993





4.5 IDUNA, Mannheim (D)



ABMESSUNGEN:

2 Gebäude, 2 Untergeschosse, 5-10 Obergeschosse
Spannweiten 7.20 m, Deckenstärke 20 cm



4.5 IDUNA, Mannheim (D)



VORSPANNUNG:

Teilweise Vorspannung
Gurtstreifenvorspannung mit 5 x 4 Litzen-Flachkabel je
Gurtstreifen

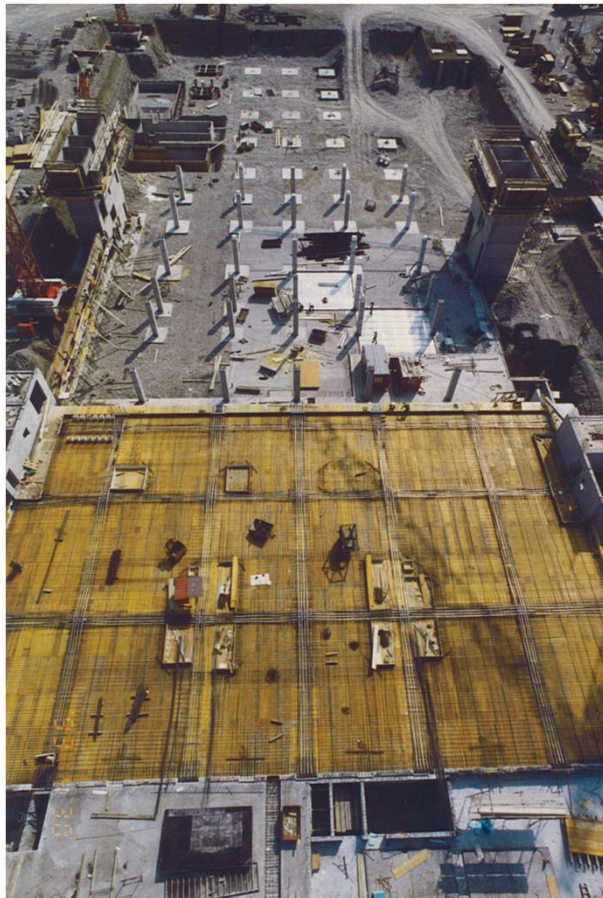
VORTEILE:

Durch den Einsatz der Vorspannung konnten folgende Einsparungen erzielt werden:

- Eliminierung der Unterzüge
- Keine Wasserhaltung, da durch die kleineren Konstruktionshöhen die Bodenplatte nicht mehr im Grundwasser lag
- Einfachere Hausinstallation
- Kürzere Bauzeit (Ausschalen nach 3 Tagen)

4.6 Tiefgarage Bahnhofsvorplatz, Mannheim (D)

BAUJAHR: 1993 - 1994



ABMESSUNGEN:

177 m x 50 m
Spannweiten 7.50 m
Deckenstärke 40 cm
Erdaufschüttung 60 cm
Nutzlast SLW 60



VORSPANNUNG:

Gurtstreifenvorspannung mit 5 x 4 Litzen-Flachkabel je Gurtstreifen

VORTEILE:

Durch den Einsatz der Vorspannung konnte die Bauhöhe reduziert und auf sämtliche Fugen verzichtet werden.

4.7 Allianz-Arena, Parkdeck, München (D)

BAUJAHR: 2002 - 2003



HAUPTABMESSUNGEN:

Geschossflächen: 300'000 m²

Anzahl Geschosse: 4

Anzahl Parkplätze: 10'000

Länge: 500 m

Breite: 150 m



VORSPANNUNG:

Gurtstreifenvorspannung, 4 Litzen Flachkabel

VORTEILE:

Bauwerk mit nur 2 Dilatationsfugen. Die Geschossdecken wurden in Abschnitten von 150 m Länge und 150 m Breite fugenlos hergestellt.



4.8 Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg (F)

BAUJAHR: 2002 - 2005



BAUWERKSABMESSUNGEN:

2 x 80 m x 180 m
2 Untergeschosse
5 Obergeschosse

BAUWEISE:

Fugenlose, vorgespannte Deckensysteme
Schalung der Deckenplatten mittels Filigranplatten

VORSPANNUNG:

Erster Einsatz von Vorspannung im Verbund in Frankreich
4 und 5 Litzen Flachkabel

