

# „Vorgespannte Flachdecken mit Vorspannung ohne Verbund – freie Spanngliedlage“ Kosten – Nutzen: Der Vergleich macht Sie sicher

DI Erich Hasitzka

Porr Technics & Services GmbH & CoKG

## 1 Einleitung

Die Vorspanntechnik – im Allgemeinen – hat mit ca. Mitte der 50er-Jahre eine beachtliche Entwicklung im Ingenieurbau ausgelöst. Weit gespannte Konstruktionen im Brückenbau und kühne architektonische Lösungen mit weitgehend stützenfreier Raumgestaltung im Hochbau bis hin zur Sicherung von geologisch instabilen Formationen mit korrosionsgeschützten Spanngliedern als Anwendung im Tiefbau sind als Ergebnis dieser Entwicklung anzusehen.

Bei globaler Betrachtung der Vorspanntechnik ist erstaunlicherweise festzustellen, dass die Inanspruchnahme der Anwendungsmöglichkeiten je nach Kontinent und Land sehr unterschiedlich ausgeformt ist. In Nordamerika und Asien werden bedeutend mehr Projekte mit Vorspannung ausgeführt als in Europa. In Europa wiederum gibt es zum Beispiel einen deutlichen Entwicklungsunterschied in der Anwendung zwischen der Schweiz und Österreich. Und selbst österreichweit ist ein auffälliges West-Ost-Gefälle zu verzeichnen.

Dieser Umstand lässt den Schluss zu, dass die Vorteile der Vorspanntechnik, insbesondere im Hochbau, mit der Entwicklung der Flachdecken ohne Verbund – freie Spanngliedlage – noch nicht voll ausgenutzt sind.

## 2 Übersicht Flachdeckensysteme

Um die wirtschaftlichen Aspekte der Vorspannung im Hochbau beleuchten zu können, müssen die konstruktiven Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Deckensysteme in einem groben Überblick betrachtet werden.

Die „handelsübliche“ Stahlbetondecke im Hochbau wird bei einer durchschnittlichen Belastung von ca. 5-7 kN/m<sup>2</sup> mit einer Konstruktionsstärke von ca. 25 cm Beton und einer Spannweite von ca. 6-7 m verwendet. Dieses Rastermaß der

Geschossdecken leitet sich im Wesentlichen aus den darunter liegenden Parkgeschossen einer Tiefgarage ab. Der Herstellungstakt für ein Geschoss wird mit einer Gesamtgröße von ca. 1.500 m<sup>2</sup> in einem Stück ausgeführt.

Zur weiteren Rationalisierung der Bauweise werden Stahlbetonfertigteile mit einer Stärke von 6-10 cm je nach Ausbildung der Unterstellung als verlorene Schalung eingesetzt. Diese Bauweise eignet sich sehr gut für einen Stützenraster von ca. 7 m und kann zur Beschleunigung des Bauablaufs herangezogen werden. Die Anwendbarkeit ist bei Decken mit etwas schwierigerem Grundriss nicht mehr gegeben. In diesem Fall muss die Deckenuntersicht aus einer Kombination von orthogonal verlegten Fertigteilen und schiefwinkliger örtlicher Schalung hergestellt werden. Durch diesen Systemwechsel ist die Grenze der Wirtschaftlichkeit gegenüber der „handelsüblichen“ Stahlbetondecke sehr bald erreicht.

Als eine Weiterentwicklung der Fertigteile als verlorene Schalung sind die vorgespannten Hohldeckeln zu sehen. Diese Konstruktion vereinigt den Gedanken einer wirtschaftlichen Produktion eines Deckenelements mit dem wirtschaftlich bedeutenden Faktor einer beschleunigten Herstellung im Bauablauf. Dadurch wird die Bauzeit nochmals verkürzt und die Vorhaltekosten für die Baustelleneinrichtung, Hebezeuge und Bauaufsicht können optimiert werden. Aus technischer Sicht muss angeführt werden, dass bei diesem System trotz ausgezeichnetem Verhältnis von Eigengewicht zu Tragvermögen und schneller Verlegung die Problematik mit den Fugen und mit der Einleitung der Stützen ausschlaggebend für ein Ortbetonsystem sein kann.

Abhängig von der Grundrissform und der Stützweite kann der Einsatz einer vorgespannten Flachdecke eine echte Alternative zu den oben angeführten Baumethoden sein. Besonders bei erdbebengefährdeten Gebäuden ist die richtige Systemwahl zwischen massiver

Stahlbetondecke und einer leichteren vorge-spannten Flachdecke für die Gesamtkonzeption des Gebäudes und der Gründung entscheidend, da die Beschleunigung aus dem Erdbeben über die Masse der Decken in den Kernen und Aussteifungsrahmen bis in die Gründung abgeleitet werden muss.

Der kostenmäßige Unterschied zwischen Vorspannung mit und ohne Verbund ist aus der Sicht der Wirtschaftlichkeit fast zu vernachlässigen.

Der Arbeitsschritt durch das Verpressen mit Verbund ist zwar aufwändig, dafür ist das Investment auf der Materialseite bei der Vorspannung ohne Verbund – bei gleichzeitig erhöhtem Korrosionsschutz – größer. Eine entscheidende Entwicklung für die Wirtschaftlichkeit der Vorspannung ohne Verbund stellt die freie Spanngliedlage dar. Sie erspart mühsame Arbeitsschritte und vereinfacht den Arbeitsablauf bedeutend. Darüber hinaus ist man durch den Entfall der Injektion von der Jahreszeit unabhängig.

*Bild 1: Einkaufszentrum, Eurospar Salzburg*



*Bild 2:  
Fa. Würth, Innsbruck*



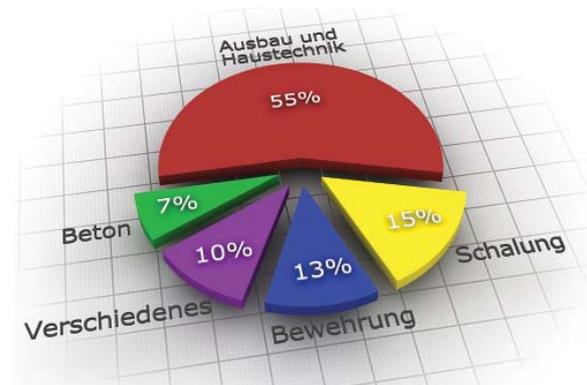
*Bild 3:  
Fa. Ikea, Innsbruck*



### 3 Kosten-Nutzen-Vergleich

Die Kosten für die Errichtung von Hochbauten setzen sich im Wesentlichen aus folgenden Schwerpunkten zusammen:

*Bild 4:*



Diese Kostenaufteilung kann natürlich je nach Bauvorhaben eine beachtliche Streubreite aufweisen. Bei der oben angeführten Auflistung ist hervorzuheben, dass die Kosten für die Ausrüstung und Haustechnik schon alleine aufgrund der steigenden Energiepreise immer wichtiger werden. Zu den Aktivitäten Schalung, Bewehrung und Beton ist anzumerken, dass nur durch die optimale Organisation eines Bauvorhabens in den Bereichen Beton, Schalung und Rüstung eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit erreichbar ist. Diese optimale Organisation beginnt bereits in der Planungsphase und sollte die ersten Überlegungen zur Kosten-Nutzen-Frage einer Bauweise einbinden.

Um die Systementscheidung aus dem Nutzen bei der Auswahl eines Flachdeckensystems in Ziffern fassen zu können, haben wir uns ein unserer Erfahrung nach geeignetes System (Spannweite ca. 8 m), das an der Grenze Vorspannung zu schlaffer Bewehrung liegt, analysiert. Dabei sind folgende Annahmen und Richtwerte in den Kosten-Nutzen-Vergleich eingeflossen.

**Statische Annahmen:**

System B

Flachdecke Stützenraster 8/8 m, Betonierabschnitte 48/48 m

Belastung aus Ausbau  $g_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Verkehrslast  $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$

System (3):

Vorspannung ohne Verbund/freie Spanngliedlage + schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 22 \text{ cm}$ , zulässige Verformung eingehalten.

System (1):

Schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 22 \text{ cm}$ , zulässige Verformungen überschritten!

System (2):

Schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 30 \text{ cm}$ , zulässige Verformung in Ordnung.

System (4):

Schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 20 \text{ cm}$ , zusätzliche Unterzüge 30/30 cm in den Achsen.

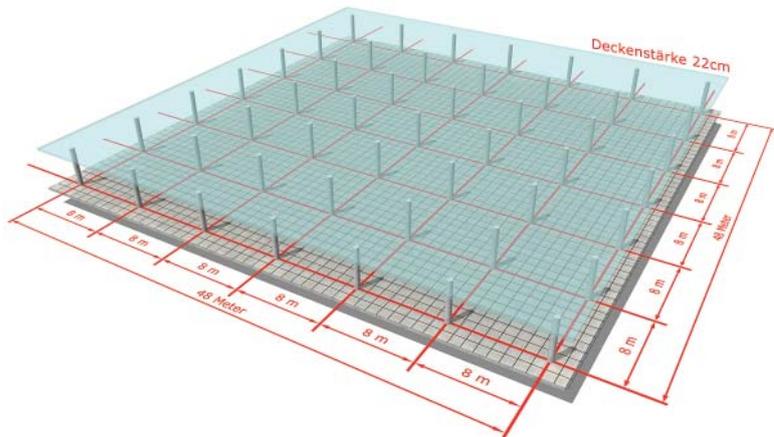


Bild 5: Raster 8 m

System C

Flachdecke Stützenraster 10/10 m, Betonierabschnitte 50/50 m

Belastung aus Ausbau  $g_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Verkehrslast  $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$

System (3):

Vorspannung ohne Verbund/freie Spanngliedlage + schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 30 \text{ cm}$ , zulässige Verformung eingehalten.

System (1):

Schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 30 \text{ cm}$ , zulässige Verformungen überschritten!

System (2):

Schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 40 \text{ cm}$ , zulässige Verformung in Ordnung.

System (4):

Schlaaffe Bewehrung bei Deckenstärke  $d = 31 \text{ cm}$ , zusätzliche Unterzüge 40/40 cm in den Achsen.

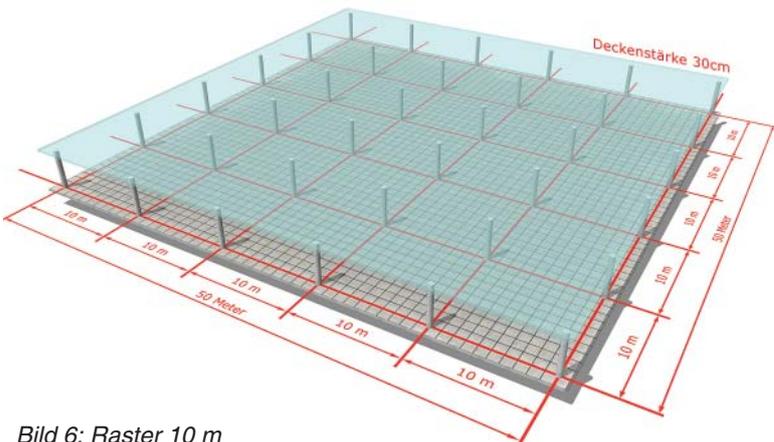


Bild 6: Raster 10 m

System A

Flachdecke Stützenraster 6/6 m, Betonierabschnitte 48/48 m

Belastung aus Ausbau g2 = 2,0 kN/m<sup>2</sup>

Verkehrslast p = 5,0 kN/m<sup>2</sup>

System (3):

Vorspannung ohne Verbund/freie Spanngliedlage + schlaffe Bewehrung bei Deckenstärke d = 20 cm, zulässige Verformung eingehalten.

System (1):

Schlaffe Bewehrung bei Deckenstärke d = 20 cm, zulässige Verformungen überschritten!

System (2):

Schlaffe Bewehrung bei Deckenstärke d = 22 cm, zulässige Verformung in Ordnung.

System (4):

Schlaffe Bewehrung bei Deckenstärke d = 18 cm, zusätzliche Unterzüge 25/25 cm in den Achsen.

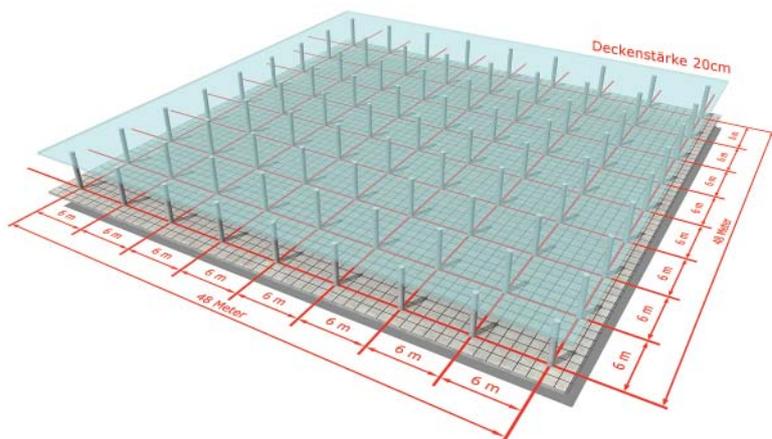


Bild 7: Raster 6 m

Übersicht Konstruktionen / Stahlmengen				
g2 = 2,0 kN / m <sup>2</sup>		p = 5,0 kN / m <sup>2</sup>		Decke
	A Stützenraster 6 m / 6 m	B Stützenraster 8 m / 8 m	C Stützenraster 10 m / 10 m	
1 % schlaff d = fix	100 $\varnothing = 138 \text{ kg / m}^2$ d = 20 cm	$\varnothing = 163 \text{ kg / m}^2$ d = 22 cm (Verformung!)	$\varnothing = 187 \text{ kg / m}^2$ d = 30 cm (Verformung!)	
2 % schlaff d = var	100 $\varnothing = 121 \text{ kg / m}^2$ d = 22 cm	$\varnothing = 139 \text{ kg / m}^2$ d = 30 cm (Verformung ok)	$\varnothing = 136 \text{ kg / m}^2$ d = 40 cm (Verformung ok)	
3 schlaff + Vorspann d = fix	$\varnothing = 87 \text{ kg / m}^2$ Vorspann = $16 \text{ kg / m}^2$ d = 20 cm	$\varnothing = 74 \text{ kg / m}^2$ Vorspann = $19 \text{ kg / m}^2$ d = 22 cm	$\varnothing = 95 \text{ kg / m}^2$ Vorspann = $20 \text{ kg / m}^2$ d = 30 cm	
4 100 % schlaff Platte + UZ	$\varnothing = 130 \text{ kg / m}^2$ d = 18 cm UZ = 25 / 25 cm (nicht erforderlich)	$\varnothing = 136 \text{ kg / m}^2$ d = 20 cm UZ = 30 / 30 cm	$\varnothing = 147 \text{ kg / m}^2$ d = 31 cm UZ = 40 / 40 cm	

Tabelle 1

Die oben angeführten Systeme wurden in der Qualität einer Vorstatik untersucht und hinsichtlich der Bewehrungswerte  $\text{kg/m}^3$  für die schlaffe Bewehrung und für die Vorspannbewehrung ausgewertet. Zusätzlich wurde der Grenzwert der Verformung beachtet.

Weitere Details wie besseres Verhalten beim Durchstanzen bei Vorspannung etc. wurden nicht in den Vergleich aufgenommen. Die folgende Tabelle 1 zeigt das Grundsystem mit einem Stützenraster 8/8 m bei einer gesamten Belastung von  $7 \text{ kN/m}^2$  Deckenfläche. Das System (B/3) schlaffe Bewehrung + Vorspannbewehrung mit einer Deckenstärke von 22 cm wurde als Ausgangspunkt durchgerechnet. Um die Entwicklungsmöglichkeiten in Richtung schlaffer Bewehrung bei gleicher Deckenstärke (System B/1) wie auch bei schlaffer Bewehrung und variabler Deckenstärke (System B/2) und als Ergänzung in Richtung schlaffer Bewehrung Platte + Unterzug (System B/4) zu beleuchten, wurden weitere Deckensysteme im Stützenraster 8/8 m durchgerechnet. Damit die kostenmäßige Aussage, dass bei Stützweite 8 m ein System mit schlaffer Bewehrung + Vorspannung in etwa einem 8-m-System mit 100 % schlaffer Bewehrung entspricht, untermauert wird, wurden weitere Stützenraster sowohl mit 10/10 m (System C) bzw. 6/6 m (System A) untersucht.

Die Auswertung dieser Untersuchungen hinsichtlich des Bewehrungswertes  $\text{kg/m}^3$  und der Deckenstärke ist in der Tabelle 1 enthalten.

**Kalkulatorische Annahmen:**

Für die Stützenraster 8/8 m, 6/6 m, 10/10 m wurden folgende gleichlautende kalkulatorische Annahmen getroffen:

System B/C/A

gilt für System 1, 2, 3 und 4

Beton C 35/45: Lohn: 0,5 Stunden/ $\text{m}^3$  für den Einbau  
 BMLP 35,00/Stunde  
 Sonstiges 70,00/ $\text{m}^3$

Schalung: Lohn: 0,5 Stunden/ $\text{m}^2$   
 BMLP 35,00/Stunde  
 Sonstiges 10,00/ $\text{m}^2$

Rüstung: Lohn 5,00/ $\text{m}^3$  Rüstung  
 Sonstiges 3,00/ $\text{m}^3$  Rüstung  
 Rüsthöhe 3 m

Bewehrung  
 schlaff: 0,85/kg  
 Vorspannung 4,0/kg

zusätzliche Annahmen aus baubetrieblichen Gründen

		Kostenübersicht €/m <sup>2</sup> Deckenfläche					
		A 6 m / 6 m		B 8 m / 8 m		C 10 m / 10 m	
		€	%	€	%	€	%
1	Stahlbeton 100 % schlaff	92,46	100%	101,23	100%	125,44	100%
2	Stahlbeton 100 % schlaff d = optional	93,38	101,00%	113,20	111,82%	132,74	105,82%
3	schlaff / Vorspann	95,05	102,80%	99,76	98,55%	123,23	98,24%
4	schlaff + UZ	102,10	110,43%	107,22	105,92%	137,12	109,31%

Tabelle 2

System (3):

Abminderung der Schalung und Rüstung um 3 % für leichteres Ausrüsten, Ausschalen und Umsetzen

System (4):

Beton: Erhöhung um 2 % für kleinräumiges Betonieren der Unterzüge

Schalung: Decke 0,5 Stunden/m<sup>2</sup>/UZ  
0,7 Stunden/m<sup>2</sup>

Rüstung: Erhöhung um 10 % für Rüstung der Unterzüge

Die Auswertung der aus der Vorstatik ermittelten Bewehrungswerte mit der Überlagerung der kalkulatorischen Annahmen, die für alle Systeme, sofern sie zutreffen, gleich lautend durchgeführt wurden, sind in Tabelle 2 enthalten.

Die angegebenen Werte €/m<sup>2</sup> Deckenfläche sind nur in Relation zueinander vergleichbar bzw. verwendbar, da nur jene Kostenkomponenten enthalten sind, die für den Vergleich entscheidend sind.

Die Diagramme A, B und C zeigen jeweils die grafische Auswertung der in der Tabelle 2 ermittelten Prozentwerte, wobei die „handelsübliche“ Stahlbetondecke jeweils für das System A, B und C für sich selbst mit 100 % angesetzt wurde.

#### 4 Zusammenfassung

Abschließend ist festzuhalten, dass vorgespannte Flachdeckensysteme ab einer Stützweite von ca. 8 m wirtschaftlicher als schlaffbewehrte Deckenkonstruktionen sein können. In den Ergebnissen der zuvor genannten Untersuchungen sind die Vorteile der Vorspannung aus besserem Verformungsverhalten, Durchstanzverhalten, ebener Deckenuntersicht, einfacherer Leitungsführung der Haustechnik und aus der leichteren Gründung aufgrund der geringeren Vertikallasten noch nicht enthalten.

Diese zusätzlichen positiven Aspekte werden erst bei einer gesamtheitlichen Betrachtung und Gegenüberstellung eines Bauvorhabens sichtbar. Durch die aktuelle Entwicklung des Stahlpreises und durch zukünftig steigenden Energiepreise werden die wirtschaftlichen Vorteile von vorgespannten Flachdecken noch deutlicher.

Bild 8: System A

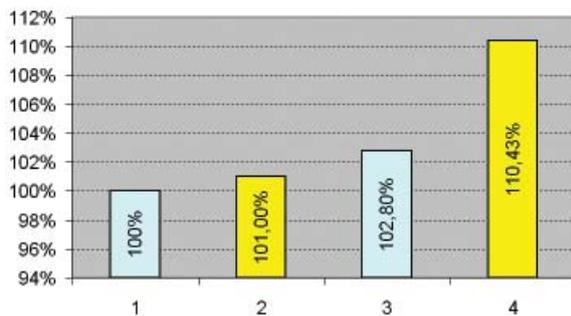


Bild 9: System B

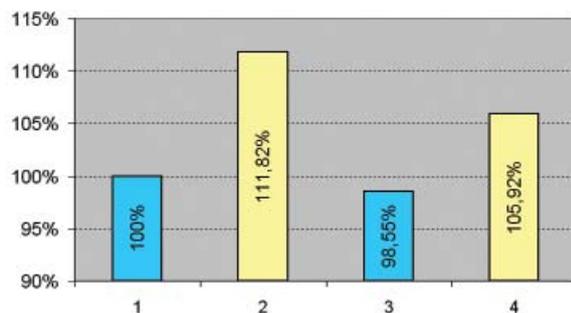


Bild 10: System C

