

Johann Grad
Thomas Grad
Uwe Kaßner

Vorspannung ohne Verbund und Flachdecken aus Stahlfaserbeton

Bericht aus der Praxis – Neubau der Realschule Kösching, Landkreis Eichstätt

Dieser Werkbericht ist eine Fortsetzung der Veröffentlichung der Autoren in der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“, Heft 4, 2004 [3]. Er zeigt neue Entwicklungen im Stahlbetonbau auf. Themen sind unter anderem die vorgespannte Stahlfaserdecke sowie ein Kostenvergleich mit herkömmlichen Ausführungen unter Wettbewerbsbedingungen.

Zwischenzeitlich erschienen in mehreren Fachzeitschriften Veröffentlichungen über das Thema „Vorspannungen ohne Verbund“ [1], [2], [4], die sich überwiegend mit theoretischen Aspekten befaßten. Dieser Bericht möchte diese Veröffentlichungen mit Erfahrungen aus der Praxis ergänzen.

Prestressing with Unbonded Tendons and Flat Slabs Made of Steel Fibre Concrete **Practical Report – New Secondary School Building at Kösching, Rural District of Eichstätt**

This work report resumes the subject of the publication of the authors in the journal „Beton- und Stahlbetonbau“, no. 4, 2004 [3] and demonstrates the new opportunities in the field of reinforced concrete engineering including the prestressed steel fibre slab as well as estimates in comparison with conventional embodiments under competitive conditions.

Meanwhile, various technical journals published articles dealing with „Prestressing with Unbonded Tendons“ [1], [2], [4], which are focussed more on the theoretical bases. This report is to complete these publications by practical experience.

1 Einleitung

Der Landkreis Eichstätt/Bayern plante eine neue Realschule in der Nähe von Ingolstadt. Das Büro Grad Ingenieurplanungen, Ingolstadt, wurde mit der Tragwerksplanung beauftragt. In Abstimmung mit dem Bauherrn war vorgesehen, Flachdecken ohne Unterzüge, vorgespannt ohne Verbund, vorzusehen. Mit dieser Baumethode hat das Büro nun bereits seit mehr als 10 Jahren positive Erfahrungen gesammelt. Außerdem wurde vereinbart, als neue Bauweise die vorgespannte Stahlfaserdecke, unter Wettbewerbsbedingungen zum Einsatz zu bringen, sie auszuschreiben und zu realisieren. Das derzeit im Rohbau fertig gestellte Objekt kann heute bereits hinsichtlich Abwicklung und Wirtschaftlichkeit als voller Erfolg betrachtet werden.

Die Schule ist ein kompaktes Gebäude mit den Außenabmessungen 85×35 m. Der Gebäudekomplex hat einen Innenhof mit 12×46 m, der 4-seitig umschlossen

ist. Das dreigeschossige Gebäude ist ca. 11,60 m hoch und hat einen umbauten Raum von ca. $30\,000 \text{ m}^3$. Die Stützenraster der Flachdecken betragen 7,58 m bzw. 7,12 m. Die Decken kragen 2,60 m zum Innenhof aus (Flur). Die Baugrundsituation erforderte eine Pfahlgründung. Die Rammfähle sind im Stützenraster angeordnet, die Bodenplatte ist freitragend ausgebildet.

2 Entwurf und Bemessung

Im Gegensatz zu vorgespannten Stahlbetondecken, bei denen nach Festlegung von Deckenstärke und Spanngliedführung der dritte freie Parameter, die schlaffe Bewehrung, durch den Ingenieur rechnerisch ermittelt wird, stellt sich bei vorgespannten Stahlfaserbetondecken die Aufgabe, die maßgebenden Parameter der Deckenkonstruktion – Deckenstärke, Vorspannung und Stahlfaserbetonklasse – iterativ so aufeinander abzustimmen, daß ein voll funktionsfähiges und wirtschaftliches Tragwerk entsteht.

Aufgrund der bei [3] gewonnenen Erfahrungen wurde zunächst eine Deckenstärke gewählt, die der einer vorgespannten Flachdecke mit relativ geringem Betonstahlanteil entspricht. Der zweite Bemessungsparameter, die Faserbetonklasse gemäß [6], wurde bereits im Vorfeld in Absprache mit den ortsansässigen Betonwerken stark eingeschränkt, da aus Zeit- und Kostengründen ausschließlich Faserbeton mit bereits vorhandenen Eignungsprüfungen verwendet werden sollte, womit praktisch drei bis vier Materialkombinationen zur Verfügung standen. Entscheidend für die Bemessung war das dritte Kriterium, die Wahl der Spanngliedanzahl, -führung- und -anordnung. Die Monolitzen wurden in Bündeln von zwei (Feldbereiche) bis sechs (Gurtstreifen) Spanngliedern im Abstand von 2,5 bzw. 3,5 m (Quer- bzw. Längsrichtung) relativ gleichmäßig über die Deckenfläche verteilt, wobei die Spannglieder der Gurtbereiche konzentriert über die Stützenköpfe geführt wurden. Mit dieser Spanngliedanordnung gelang es, 80% der Lasten direkt in die Verbundstützen einzuleiten und die Durchstanbeanspruchung des Faserbetons soweit zu minimieren, daß auch unter Berücksichtigung einer ungleichmäßigen Faserverteilung keine Betonstahlzulagen über der Stütze erforderlich wurden. Durch die relativ „enge“ Spanngliedführung über den Stützen unter Ausnutzung des Mindestkrümmungsradius sank die Entlastung der Biegemomente in den Feldern in Folge der Vorspannung zwar auf 25 bis 30% im Ge-

brauchszustand, die zulässigen Spannungen des in weiten Bereichen vollständig überdrückten Faserbetons konnte jedoch problemlos eingehalten werden. Ebenfalls unproblematisch war die Durchbiegungsbegrenzung der Decke, die mit 4 mm (Zustand I) bzw. 12 mm (erwarteter Wert der Langzeitverformung in Zustand II) Werte von maximal $l/630$ erreicht.

Ähnlich wie im Spannbetonbau (z. B. bei Brückentragwerken) scheinen die Nachweise der Biegemomente derartiger Decken im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Auffassung der Verfasser nicht maßgebend. Zwar wies die iterative Berechnung einzelner Querschnitte unter Annahme der Grenzdehnungen Auslastungen von über 90% aus; weitergehende nichtlineare FE-Berechnungen auf Grundlage der Arbeitslinien des Stahlfaserbetons zeigten jedoch ein weit günstigeres Verhalten. Maßgebende Bemessungskriterien waren letztlich Schub- bzw. Durchstanznachweise sowie die Begrenzung der Spannungen im Gebrauchszustand. Durch die vergleichsweise geringen zulässigen Biegezugspannungen des Materials dürfte die Durchbiegungsbegrenzung dieser Art von Deckenkonstruktionen im Regelfall unproblematisch sein.

3 Bauabwicklung

Schon in der Planung wurden im Hinblick auf die ins Auge gefaßte Vorspannung je Geschoß 4 Deckenabschnitte als in sich geschlossene Bereiche gebildet (Bild 1). Die Vorspannung läßt aufgrund des überdrückten Betonquerschnittes große Betonierabschnitte ohne Arbeitsfugen zu, wie hier mit einer Länge von über 50 m. Das Gebäude hat keine Dehnungsfugen, die Bauabschnitte sind durch Betoniergassen unterteilt, die solange wie möglich offen gehalten werden und erst kurz vor dem Einbringen des Estrichs geschlossen werden. Diese Bauweise hat sich bereits bei einer Reihe von realisierten Projekten bestens bewährt [3].

Die ausführende Baufirma hielt die Schalung für zwei der zwölf Betonierabschnitte vor und betonierte jeweils zwei Abschnitte im Abstand von einem Tag nahezu gleichzeitig. Begonnen wurde mit Bauabschnitt I + II (Bild 1). Am dritten Tag nach dem Betonieren erfolgte die Teilvorspannung (30%). Anschließend konnten die Schalungen vollständig entfernt und zu den folgenden Bauabschnitten (III + IV), die nun im Turnus von zwei Wochen betoniert wurden, umgesetzt werden. Die Teilvorspannung bei den Abschnitten III + IV wurde am gleichen Tag wie die Vollvorspannung der Abschnitte I + II ausgeführt.

Durch diese engen und effektiven Arbeitstakte konnten die 3 Geschosse einschließlich der zugehörigen Stützen, Wände und Treppenhäuser in 12 Arbeitswochen fertig gestellt werden. Die Vereinfachungen bei der Spannliedverlegung nach den neuen europäischen Spannliedzulassungen trugen wesentlich zur Zeitersparnis bei [5]. Die Fixierung und Unterstützung der Spannlieder war nunmehr nur noch an den Wendepunkten oben über der Stütze und unten im Feld notwendig. Dadurch entfielen ca. 70% der bisher üblichen, aufwändigen Zwischenunterstützungen [1].

An dieser Stelle sollte auch erwähnt werden, daß neben der neuen europäischen Spannliedzulassung [5] die neue DIN 1045-1:2001 mehrere vorteilhafte Änderungen

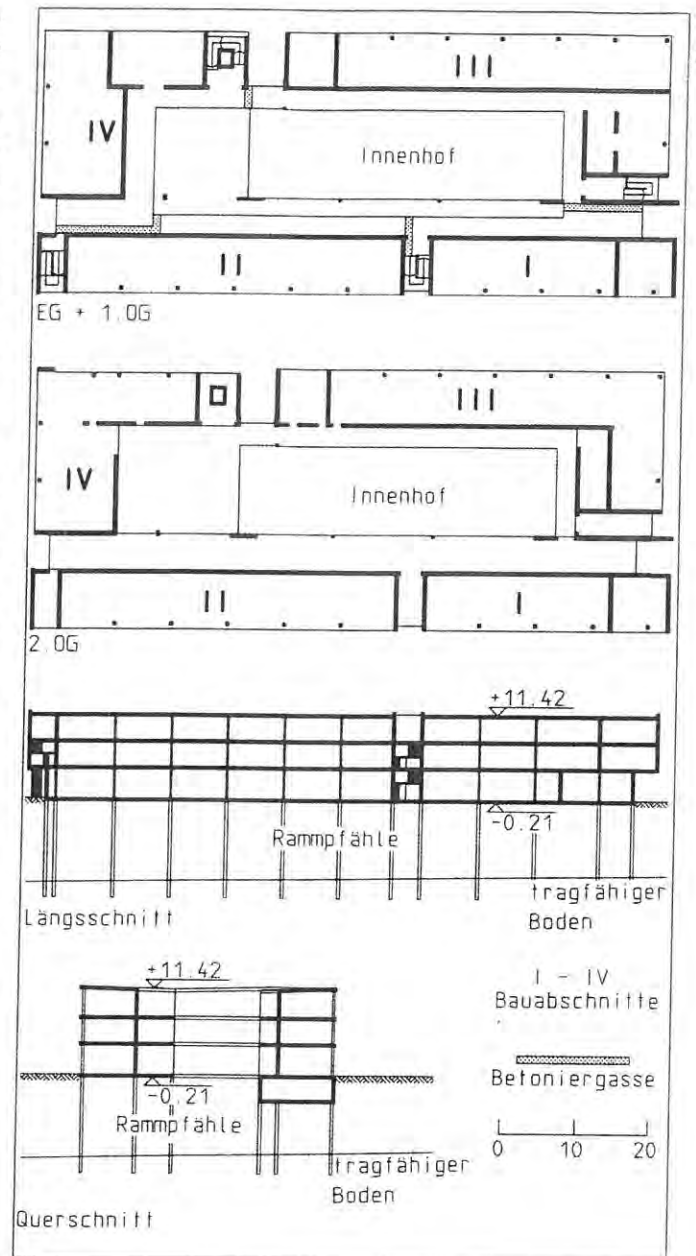


Bild 1. Grundrisse und Schnitte
Fig. 1. Ground plans and sectional views

enthält. Dadurch erhöht sich die Effektivität der bisher bereits sehr vorteilhaften Bauweise der Vorspannung ohne Verbund [3]. Es sind dies folgende Aspekte:

- Die Freie Spannliedlage s. o. [1]
- Die Reduzierung der in der neuen Norm geforderten Robustheitsbewehrung durch Vorspannung.
Zum Vergleich: bei schlaffer Bewehrung (siehe Bild 4) $4,27 \text{ cm}^2/\text{m}$, bei Vorspannung (siehe Bild 3) $2,52 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Das Durchstanzten:
Wegen der flacheren Druckstrebenneigung ist der Einfluß der Spannlieder auf die obere Bewehrung wesentlich günstiger als unter der bisherigen Regelung bei Vorspannungen. Im Bereich der Fassadenstützen lag die Stahleinsparung am hier beschriebenen Objekt bei $10\text{--}12 \text{ kg}/\text{m}^2$.

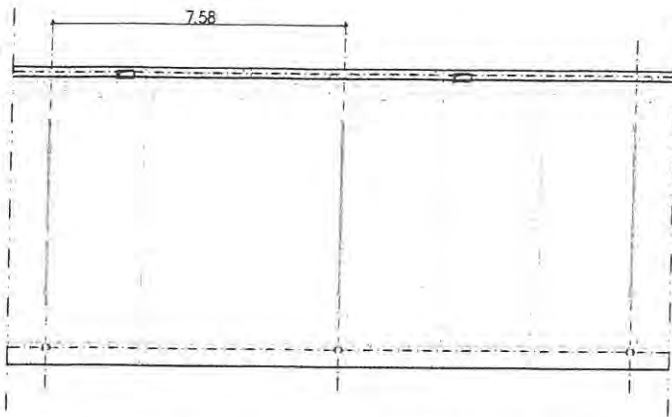


Bild 2. Variante 1: Deckenausschnitt Stahlfaserbeton vorgespannt, $d = 25$ cm, Beton C 35/45, Stahlfaserbeton F1,4/1,0, Durchbiegung 3,9 cm
 Fig. 2. Variant 1: Partial view of a steel fibre concrete slab, prestressed, $d = 25$ cm, concrete C 35/45, steel fibre concrete F1.4/1.0, deflection 3,9 mm

4 Neue Bauweise Stahlfaserbewehrung

Die im November 2003 erstmals ausgeführte, vorgespannte Flachdecke mit Stahlfaserbewehrung als Ersatz für die schlaffe Bewehrung wurde zwischenzeitlich weiterentwickelt. Die Autoren erhielten vom Bauherrn die Möglichkeit, die neue Bauweise beim Neubau der Realschule unter Wettbewerbsbedingungen zu realisieren. Um eindeutige Vergleiche zu erhalten, wurde die Decke über dem Erdgeschoß und erstem Obergeschoß mit Vorspannung und schlaffer Bewehrung ausgeführt, die Decke über dem zweiten Obergeschoß (ca. 30% der gesamten Deckenflächen) wurde mit Stahlfasern bewehrt.

Gemäß Artikel 2.2 der BayBO ist für die neue Bauweise derzeit noch eine Zulassung im Einzelfall erforderlich. Die statische Berechnung wurde nach DIN 1045-1 und dem DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“ vom Oktober 2001 aufgestellt. Auf dieser Basis erfolgte die Prüfung, für das Gutachten für die Zulassung im Einzelfall wurde auch der aktuellen Stand der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ als Grundlage herangezogen. Die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der neuen Bauweise wurde nach beiden Regelwerken bestätigt, weshalb die Zustimmung durch die Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium kurzfristig und ohne weitere Auflagen erfolgte.

5 Vergleiche

Auf der Basis der Ausschreibungsergebnisse wurden die verschiedenen Varianten (Bild 2, Bild 3, Bild 4) gesondert im LV erfaßt. In Tabelle 1 ist die Auswertung der Vergleiche dargestellt.

Ergebnis:

- Die Materialkosten sind bei den Varianten 1 und 2, Vorspannung mit Stahlfasern und Vorspannung mit konventioneller Bewehrung, in etwa gleich. Im Stundenverbrauch für den Bewehrungseinbau wurden jedoch erhebliche Unterschiede festgestellt. Für die Decken über dem Erdgeschoß und dem erstem Obergeschoß (Variante

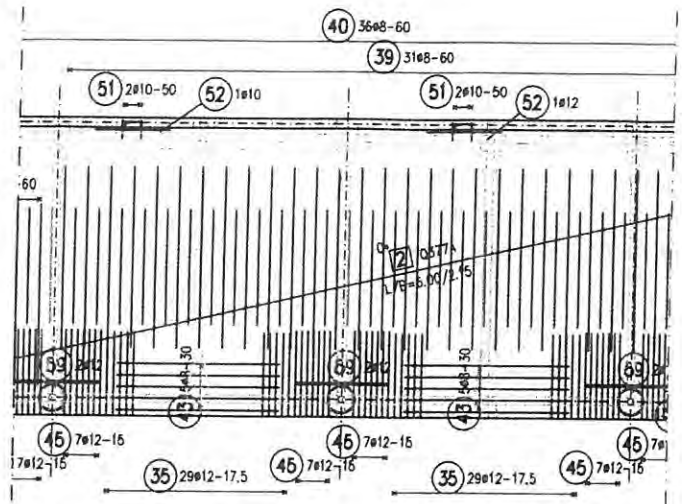


Bild 3. Variante 2: Deckenausschnitt konventionell bewehrter Spannbeton, untere Lage: $d = 25$ cm, Beton C 35/45 XC1, Durchbiegung 3,9 cm
 Fig. 3. Variant 2: Partial view of a slab made of conventionally reinforced prestressed concrete, lower layer: $d = 25$ cm, concrete C35/45 XC1, deflection 3,9 mm

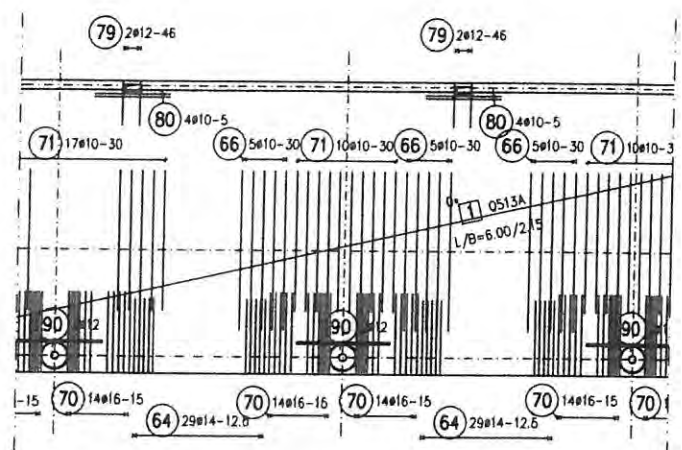


Bild 4. Variante 3: Deckenausschnitt konventionelle schlaffe Bewehrung, untere Lage: $d = 30$ cm, Beton C 25/30 XC1, Durchbiegung 4,5 cm
 Fig. 4. Variant 3: Partial view of a slab with conventional, non-prestressed reinforcement, lower layer: $d = 30$ cm, concrete C25/30 XC1, deflection 4,5 mm

- te 2) waren für den Einbau der Spannglieder und der konventionellen schlaffen Bewehrung 155 Arbeitsstunden erforderlich. Für die gleiche Fläche im zweiten Obergeschoß (Variante 1) wurden für den Einbau und Fixierung der Spannglieder und den Einbau der Zusatzbewehrung am Deckenrand (Tabelle 1) 65 Arbeitsstunden benötigt. Anhand der Bilder 5 und 6 kann dieser Vergleich der Arbeitsvereinfachung und damit der Kostenminderung auch visuell nachvollzogen werden. Die Zeitersparnis und damit die Kostenminderung beträgt bei Variante 1 gegenüber Variante 2 ca. 0,3 Std./m² (ca. 10,- bis 12,- €/m²).
- Auf der Basis der Angebotspreise wurde zusätzlich zu den Varianten 1 und 2 auch der Vergleich zu einer Decke ohne Vorspannung geführt (Variante 3). Ohne

Tabelle 1. Vergleich Stahlverbrauch Bauabschnitt II

	Decken- fläche m ²	Beton- volumen m ³	Baustahl		Spannstahl	
			kg	kg/m ²	kg	kg/m ²
Var. 1	258	64,5	715	2,77	830	3,22
Var. 2	258	64,5	5470	21,20	600	2,33
Var. 3	258	77,4	7090	27,52	-	-



Bild 5. vorgespannte Decke mit konventioneller Bewehrung
Fig. 5. Prestressed slab with conventional reinforcement

Berücksichtigung der Mehrkosten, resultierend aus dem höheren Deckengewicht ($d = 30 \text{ cm}$), der längeren Schalungsvorhaltung und der größeren Anzahl von erforderlichen Arbeitsfugen, liegen die Mehrkosten ca. 10% über der Variante 2 (Vorspannung mit schlaffer Bewehrung). Ein weiterer allgemein bekannter Nachteil bei nicht vorgespannten Decken ist die größere Durchbiegung und häufigere Rißbildung im Beton.

Fazit:

An einem weiteren, realisierten Projekt (siehe auch [3]) ist die Wirtschaftlichkeit der vorgespannten Flachdecken durch Preisvergleiche unter Wettbewerbsbedingungen

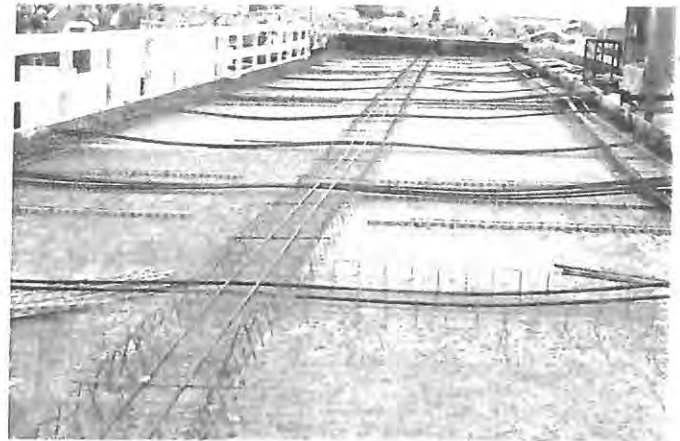


Bild 6. vorgespannte Decke mit Stahlfaser-Bewehrung
Fig. 6. Prestressed slab with steel fibre reinforcement

nachgewiesen. In gleicher Weise gilt dies für die neue Bauweise der vorgespannten Stahlfaserdecke. Liegt die Kostenersparnis der Variante 2 gegenüber der Variante 3 (ohne Vorspannung, siehe Tabelle 1) bei ca. 10%, so sind dies bei Variante 1 (Stahlfaserbewehrung) nochmals ca. 15-20% Kosteneinsparung aufgrund des verringerten Arbeitsaufwandes.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsvergleiche und die unproblematische und äußerst fachkompetente Abwicklung der Prüfung und wissenschaftlichen Begleitung durch Herrn Dr.-Ing. Heinrich Schroeter und Herrn Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch vom Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München sowie der raschen Zustimmung im Einzelfall durch Herrn Dr.-Ing. Gerhard Rustler von der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren, macht uns Mut, weitere Objekte mit stahlfaserbewehrten, vorgespannten Tragwerken zu realisieren.

Auch wenn die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ derzeit noch nicht bauaufsichtlich eingeführt ist, so lohnt es sich, bis dahin den noch etwas aufwändigeren Weg der „Zulassung im Einzelfall“ zu wählen.

Projektbeteiligte

Bauherr:	Landkreis Eichstätt
Tragwerksplanung:	Grad Ingenieurplanungen, Ingolstadt/Gaimersheim
Prüfstatiker:	Dr.-Ing. Heinrich Schroeter, Weiden
Gutachterliche Stellungnahme für die Zulassung im Einzelfall:	Univ. Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch, TU München Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. M. Cyllok
Zustimmung im Einzelfall:	Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren, Dr.-Ing. Gerhard Rustler
Architekt:	Herle + Herrle, Neuburg/Do.
Bauunternehmen:	Firma August Spreng GmbH & Co. KG, Ingolstadt Bauleitung: Klaus Beckenbauer, Helmut Kneidl

Literatur

- [1] *Wicke, M. und Maier, K.*: „Die freie Spanngliedlage“, Bauingenieur, Bd. 73 (1998), Heft 4, S. 162–169.
- [2] *Buschmeyer, W. und Fastabend, M.*: „Vorgespannter Stahlbeton, Bemerkungen zur internen Vorspannung ohne Verbund“, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 3 (2004).
- [3] *Grad, J. und Kaßner, U.*: „Vorspannung mit Monolitzen ohne Verbund“, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 4 (2004).
- [4] *Morgen, K., Nölting, D. und Wollrab, E.*: „Flachdecken mit Vorspannung ohne Verbund nach DIN 1045-1“, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11 (2004).
- [5] Fa. Suspa Spannbeton GmbH, Europäische Zulassung Nr. ETA-03/0036.
- [6] DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton, Oktober 2001.



Dipl.-Ing. (FH) Johann Grad
Büro Grad Ingenieurplanungen
Taschenturmstraße 2
D-85049 Ingolstadt
ib.grad@t-online.de



Dipl.-Ing. Thomas Grad



Dipl.-Ing. Uwe Kaßner
Jägerstraße 16
D-04157 Leipzig
Kassner-Ing@t-online.de

Aktuelles

Kalkaufbereitungsanlage in Blaustein

In Blaustein bei Ulm wurde ein 33 m hoher Betriebsgebäudeschacht mit gehobenen Oberflächenanforderungen und festgelegter Anker- und Fugenstruktur in nur vier Wochen betoniert.

Die Arge entschied sich für eine Kletterschalung, bestehend aus Mammut-Rahmenschalung, Klettergerüst KLK 230 und Traggerüst MEP. Das zentrale Bauteil und gleichzeitig Dreh- und Angelpunkt für die Termineinhaltung des Bauablaufs war ein 32,80 m hoher Treppenschacht mit ca. 2,50 m × 5,00 m Grundriß. Auf Grund des vom Architekten geforderten Fugenbildes und der vorgeschriebenen Bewehrungsführung wurden fünf Klettertakte mit 6,00 m und ein Takt mit 2,80 m Höhe festgelegt. Im Schnitt mußte bei dieser Vorgehensweise alle 3,5 Tage ein Takt erstellt werden. Zuerst wurde die Innenschalung gestellt und bewehrt. Es folgte das Stellen der Außenschalung auf die Kletterbühnen KLK 230, anschließend das Schließen der Schalung und das Be-



33 m hoher Betriebsgebäudeschacht in Kletterschalung: Um das geforderte Fugenbild und die vorgeschriebene Bewehrungsführung einzuhalten, wurde in fünf Klettertakte mit je 6,00 m und einem Takt mit 2,80 m Höhe geschalt und betoniert (Photo: MEVA)

tonieren. Nach dem Aushärten des Betons wurde die Außenschalung zum Reinigen heruntergehoben und die Kletterbühnen KLK 230 in den nächsten Betoniertakt nach oben umgesetzt. Danach wiederholte sich der Vorgang. Als sicherer Zugang zur jeweiligen Arbeitsebene diente ein Treppenturm.

Parallel zum Treppenschacht entstanden die Kalkaufbereitungsanlage (auf einer Grundfläche von ca. 18 m × 20 m) und der Leitstand (mit Abmessungen von ca. 12,50 m × 17,50 m). Bei den Wänden kam auch hier die Mammut-Schalung zum Einsatz. Die ca. 6,00 m hohen Wände der Kalkaufbereitungsanlage wurden in einem Takt betoniert. Beim Leitstand betrug die Wandhöhe ca. 3,30 m.

Für den Einbau der beiden Decken entschied man sich für einen Überbau aus H20-Trägern mit einer Holzschalung. Bei der Decke in ca. 6,00 m Höhe setzte die Baustelle auf eine Traggerüstkonstruktion aus MEP-Türmen als Unterstützung. Ab Oberkante der Decke wurden dann alle weiteren baulichen Maßnahmen der Anlage in Stahlkonstruktion ausgeführt.



Jetzt ist erstmals der Nachweis erbracht worden, dass freitragende Bauteile auch ohne schlaffe Bewehrung ausführbar sind. So geschehen in Gaimersheim, wo eine punktgestützte Flachdecke mit 0,75 statt mit 21 kg/m² Stahl tragfähig bewehrt wurde. Der Ersatz für den Stahl sind Stahlfasern, die bisher nur bei flächig aufliegenden Bauteilen oder als konstruktive Rissesicherungen eingesetzt werden konnten. Wie die Ingenieure das gemacht haben, beschreiben sie im folgenden Beitrag.

EIN ERFOLGREICHES TEAM: Dipl.-Ing. Johann Grad, Dr.-Ing. Peter Henke, der Vorsitzende der Prüfingenieure Bayern (als Gast), Prof. Dr.-Ing. Horst Falkner, Dipl.-Ing. Jürgen Mandl, Dipl.-Ing. Uwe Kaßner (v.l.) haben erstmals weltweit den praktischen Nachweis erbracht, dass freitragende Bauteile auch ohne aufwendige schlaffe Bewehrung ausführbar sind.

Zäh und flexibel

EIN QUANTENSPRUNG IM STAHLBETONBAU: DIE WELTWEIT ERSTE STAHLBETONDECKE AUS STAHLFASERBETON MIT VORSPANNUNG OHNE VERBUND

Seit der Entdeckung des Stahlbetons um die vorige Jahrhundertwende hat sich seine Herstellungsmethode kaum geändert. Noch immer ist das Ablängen und Biegen, vor allem aber das Verlegen der Bewehrung, vorwiegend lohnaufwendige Handarbeit. In diesem Bereich hat die Bautechnik mit dem Fortschritt der allgemeinen Technik nicht Schritt gehalten. Vermutlich weltweit erstmals in der Geschichte des Stahlbetons ist jetzt der Nachweis in Theorie und Praxis erbracht worden, dass ein freitragendes Bauteil ohne aufwendige schlaffe Bewehrung ausführbar ist. Der Ersatz

sind Stahlfasern, die bereits im Betonwerk maschinell dem Beton beige-mischt werden. Bisher waren Stahlfasern nur bei flächig aufliegenden Bauteilen wie Bodenplatten oder als konstruktive Rissesicherungen einsetzbar. Verwendet wurden bei der neuen Bauweise 150.000 Stahlfasern des Typs Readywell je Kubikmeter Beton mit einem Durchmesser von einem Millimeter und einer Länge von 50 Millimetern. Vor Ort beschränkt sich die Bewehrungsverlegung nur auf wenige Spannstäbe in den Feld- und Gurtstreifen (Abb. 1).

Der Bewehrungsaufwand verringert sich drastisch

Bei dem ausgeführten Objekt betrug der Bewehrungsaufwand gegenüber der bisherigen Ausführung im Stahlbeton weniger als fünf Prozent. Die konventionelle Bauweise hätte 21 Kilogramm Stahl je Quadratmeter Deckenfläche erfordert, die neue zukunftsweisende Konstruktion mit gleicher Tragfähigkeit benötigte lediglich 0,75 kg/m² Spannstahl (also 3,6 % der normalerweise üblichen Menge). Es handelt sich um eine punktgestützte Flachdecke mit folgenden technischen Daten:

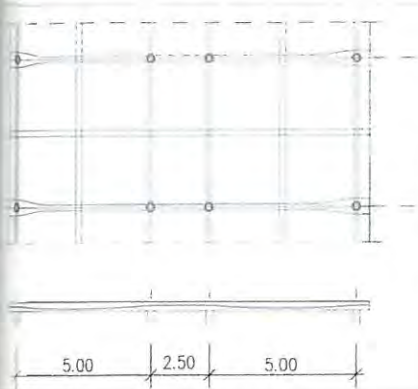


Abb.1: Deckenausschnitt mit Spanngliedanordnung (blau), ohne Maßstab, Schnitt überhöht.

- Spannweiten 5 x 5 m, Dicke 25 cm,
- Faserbetonklasse F 1,2/1,0, Spannstahl St 1570/1770,
- nachträgliche Vorspannung ohne Verbund mit Monolitzen, 140 mm² (Fa. Suspa),
- gleichmäßige Vorspannung in Feld- und Gurtstreifen,
- Decke im Zustand I unter Gebrauchslasten,
- die statischen Nachweise wurden gemäß DIN 1045-1, dem nunmehr vereinten Regelwerk Stahl- und Spannbeton und dem DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton 2001 geführt.

Die Biegezugfestigkeit wird wesentlich verbessert

Die Wirkungsweise des Stahlfaserbetons besteht darin, dass die normalerweise geringe Biegezugfestigkeit des Betons, die bei herkömmlichen Konstruktionen den Einbau von Betonstahl erforderlich macht, durch die Zugabe von Stahlfasern wesentlich verbessert wird.

Zudem ist der so verstärkte „neue“ Beton gegenüber dem spröden unbewehrten Material wesentlich zäher, das heißt, flexibler unter Belastung. Speziell diese Eigenschaft ermöglichte es, die Biegezugfestigkeit des Materials Beton nunmehr auch rechnerisch zu berücksichtigen und freitragende Decken aus Stahlfaserbeton zu konstruieren, wobei dieser Umstand allein für die Bemessung nicht ausreicht.

Es wurde zusätzlich eine Druckspannung aufgebracht und die Biegespannung durch den Einsatz von Spanngliedern verringert, die parabelförmig entgegen dem Momentenverlauf eingebaut wurden. Die Neuentwicklung der Stahlbetondecke mit Stahlfaserbewehrung in Kombination mit der Litzenvorspannung war nur in enger Zusammenarbeit zwischen Fachleuten aus Forschung und Praxis möglich. Hier sind zu nennen: die Ingenieure Dipl.-Ing. (FH) Johann Grad aus Ingolstadt und Dipl.-Ing. (TU) Uwe Kaßner aus Leipzig (Mitarbeiter im Ingenieurbüro Grad), die Firma Readymix AG mit Dipl.-Ing. Jürgen Mandl, der Bauherr, Dipl.-Ing. Schiebel von der Baufirma Schiebel (Gaimersheim), und als wissenschaftlicher Begleiter und Prüfstatiker Univ.-Prof. Dr.-Ing. Horst Falkner von der TU Braunschweig. (Von ihm stammt übrigens auch die Charakterisierung dieser bautechnischen Innovation. Sie sei, so sagte er, ein „Quantensprung im Stahlbetonbau“.)

Für das Projekt wurde die Zustimmung im Einzelfall durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, in den Vertreter von Bau-

Johann Grad



Dipl.-Ing. (FH), Beratender Ingenieur, Inhaber der GRAD Ingenieurplanungen GmbH (Ingolstadt); öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Mauerwerksbau, Holzbau und konstr. Denkmalschutz; Studium des Bauingenieurwesens und der Architektur an der Staatsbauschule München.
ib.grad@t-online.de

Uwe Kaßner



Dipl.-Ing. (TU), Schweißfachingenieur.



Jan Bolzenhardt, Fürth

Abb. 2: Bürogebäude der Fa. Schiebel in Gaimersheim mit dem Wasserbehälter für die Probelastung.



Readymix/diagen Mandl

Abb. 3: Messeinrichtungen in den Feld- und Gurtstreifen

behörden, Hochschulen, Prüfstatikern und Industrie integriert sind, erteilt.

Die Leistungsfähigkeit der Decken wurde nachgewiesen

Die Leistungsfähigkeit der Decken wurde im Rahmen einer Präsentation vor Ort am 10. November 2003 nachgewiesen.

Dipl.-Ing. Jürgen Mandl ließ in Abstimmung mit dem Bauherrn auf der Dachgeschossdecke Wasserbehälter aufstellen (Abb. 2), die zunächst in einem Deckenfeld in fünf Schritten bis auf die rechnerische Bruchlast von



Jan Bolzenhardt, Fürth

15 kN/m² gefüllt wurden; der Versuch wurde in einer zweiten Phase nochmals um ein Deckenfeld erweitert. Gemessen wurde die Durchbiegung der Decke (Abb. 3 und Abb. 4), die einen Maximalwert von ca. 1,5 mm erreichte.

Entsprechende Vergleichsberechnungen für eine konventionell bewehrte (nicht vorgespannte) Decke zeigten, dass die Durchbiegung infolge des frühzeitig erreichten Zustandes II wesentlich größere Werte annimmt (ca. 5 mm).

Die allgemeine Einführung ist in diesem Jahr zu erwarten

Der Entwicklungsstand ist ausführungsfähig. Die weltweit erstmalige Ausführung wurde in allen Belangen mit dem Unterausschuss „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton abgestimmt. Dieser Ausschuss entwickelt derzeit eine Richtlinie zur Anwendung und zur Bemessung von Stahlfaserbeton, in die dieser Anwendungsfall mit aufgenommen wird.

Mit der bauaufsichtlichen Einführung dieser Richtlinie, mit der Ende 2004 zu rechnen ist, wird die Verwendung von Stahlfaserbeton bei vorgespannten Bauteilen, wie zum Beispiel Decken, flächendeckend am Markt eingeführt sein.

Den Einsatzschwerpunkt der neuen innovativen Bauweise sehen die Autoren vor allem im Hochbau, bei den Decken im Wohnungsbau und bei Bürobauten. Die unterzuglose Flachdecke, die für die Ausbauten und späteren Umnutzungen eine große Variabilität gewährleistet, setzt sich immer mehr durch.

Hierfür ist der stahlfaserbewehrte Stahlbeton geradezu prädestiniert. Derzeit sind weitere Objekte im Ingenieurbüro Grad in Planung, bei denen diese neue wirtschaftliche Konstruktionsart realisiert wird.

Abb. 4: Ein wichtiger Partner im Team: Stahlfaserbetonexperte Jürgen Mandl erfasst den marginalen Verformungswert der Decke beim Belastungsversuch.