

Mobiles Spannbett für die Produktion von vorgespannten Deckenelementen auf vorhandenen Fertigungstischen

■ Thomas Friedrich, Innogrations GmbH, Bernkastel-Kues, Deutschland

Vorgefertigte Bauteile mit einer vorgespannten Bewehrung zeichnen sich durch ein hohes Tragvermögen und durch eine hohe Qualität aus. Die Bauteile können gegenüber denjenigen mit einer schlaffen Bewehrung schlanker ausfallen, sie haben geringere Durchbiegungen und bleiben weitgehend frei von Rissen. Dieser Artikel beschreibt, wie auf vorhandenen Fertigungstischen mithilfe eines mobilen Spannbetts vorgespannte Betonfertigteile effizient und ökonomisch hergestellt werden können.

Klassisches Spannbett für Fertigteilverke

Der Einbau einer vorgespannten Bewehrung ist immer an ein Spannbett gebunden. Das wiederum besteht typischerweise aus einer langen Spannbahn mit beidseitig angeordneten Widerlagerblöcken, die tief im Erdboden verankert sind. Es handelt sich um eine fest installierte Einrichtung, die zudem Platz braucht, welcher für andere Produkte oder Arbeiten nicht genutzt werden kann.



Klassisches Spannbett für Fertigteilverke zur Produktion von Unterzügen auf einer langen Spannbahn

Mit dieser Technik werden derzeit in Fertigteilverken meist weitgespannte Träger, Pfetten und n-Platten hergestellt. Eine Besonderheit stellen die Spannbetonfertigdecken dar, die auf langen Spannbahnen z. B. mit einem Gleitfertiger produziert werden. Die entsprechenden Werke sind dann nur auf diese Produkte fokussiert.

Die Technik mit dem fest installierten Spannbett bleibt i.d.R. auf einzelne Produkte beschränkt und erlaubt wenig Flexibilität.

Da die positive Wirkung einer vorgespannten Bewehrung unbestritten ist, braucht es mehr Möglichkeiten in Form einer flexiblen Einrichtung, um z.B. in einem vorhandenen Fertigungsprozess, eine vorgespannte Bewehrung einzusetzen.

So z.B. wäre es von großem Vorteil, auch die klassischen Platten, ob als Halb- oder Vollfertigteile vorzuspannen, um damit deren Anwendungsbereich zu vergrößern. Die vorgefertigten



Typischer Fertigungstisch aus einer Umlaufanlage als Grundlage für ein mobiles Spannbett



■ Dipl.-Ing. (TH) Thomas Friedrich, Innogration GmbH, Bernkastel-Kues. Studium des Bauingenieurwesens an der RWTH Aachen und an der ETH Zürich als Stipendiat der Studienstiftung des deutschen Volkes. Projekt Ingenieur bei der Vorspannfirma Stahlton/BBR in Zürich. 1988 Gründung der Ingenieurgesellschaft Domostatik und seitdem Geschäftsführer. Seit 2003

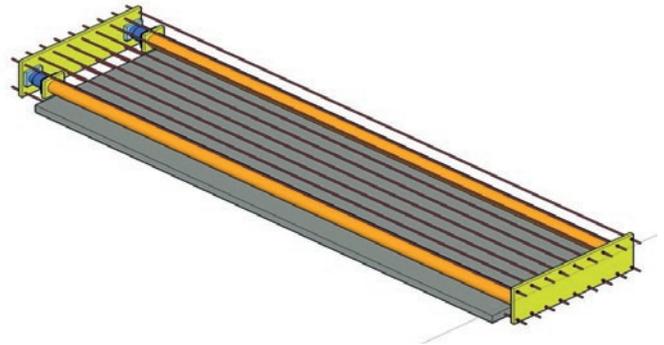
Beschäftigung mit der Entwicklung eines neuartigen vorgefertigten Deckensystems mit integrierter Haustechnik. Inhaber zahlreicher Patente für neu entwickelte Produkte im Bauwesen. Gründung der Innogration GmbH in 2010 für die Weiterentwicklung und Vermarktung der neuen multifunktionalen Deckensysteme. Geschäftsführender Gesellschafter der Innogration GmbH. Seit 2008 Lehrbeauftragter für Sonderkapitel des Massivbaus an der TU Kaiserslautern.

th.friedrich@innogration.de

Platten werden jedoch herkömmlich auf stationären Tischen bzw. auf den Paletten einer Umlaufanlage hergestellt.

Mehr Flexibilität mit einem Konzept für ein mobiles Spannbett

Es liegt also nahe, bestehende Schalungstische als stationäre Einheit aufzustellen, und diese mit einer speziellen Einrichtung für das Aufbringen einer vorgespannten Bewehrung zu ergänzen. Diese Idee lässt sich mit einfachen Mitteln umsetzen. Innogration GmbH hat sich bei der Entwicklung seiner Produktion für die multifunktionalen Deckenelemente bereits vor Jahren [1] mit diesem Thema auseinandergesetzt. Das Konzept dazu sieht eine Einrichtung vor, die aus zwei Spannjochen (externe Widerlager) an den beiden Enden der



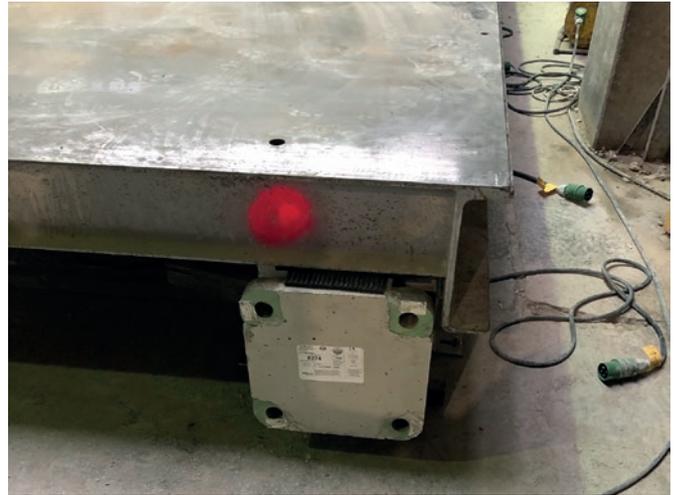
Einfache Konzeption für ein mobiles Spannbett mit zwei Spannjochen und den steifen Druckelementen auf einem Schaltisch

Tische und einer dazwischen installierten steifen Verbindung besteht. Die steifen Streben müssen die Druckkräfte aufnehmen und innerhalb des vorhandenen Schaltischs integriert werden. Dabei bietet sich an, die Druckbalken auf bzw. unterhalb des Schaltischs anzuordnen.

Da bei dieser Technik nur flache Bauteile wie die Platten und schlanke Unterzüge vorgespannt werden, fallen die Abmessungen der Joche entsprechend moderat aus. Die Höhe der Joche orientiert sich an den Abmessungen der flachen Bauteile. Diese werden i.d.R. mittig vorgespannt, womit die



Spannjoch mit dem durchgehenden Schlitz für die individuelle Verankerung der einzelnen Litzen



Druckbalken aus Betonfertigteilen für den Einbau unterhalb des bestehenden Schalttisches

Spanngliedlage festgelegt ist. Zum Einbau und Fixieren der Spannlitzen braucht es innerhalb des Querschnitts der Joche eine durchgehende Öffnung.

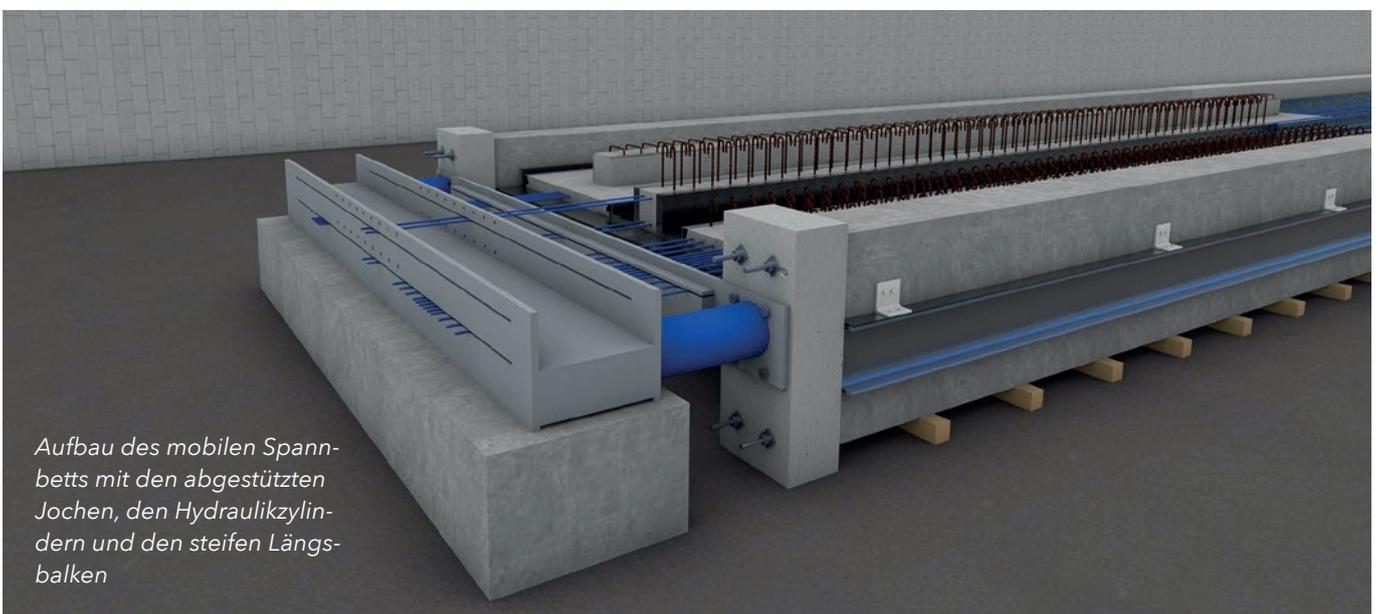
Die einzelnen, gespannten Spannlitzen werden am Joch mit entsprechenden Ankerkörpern fixiert. Die dort eingeleitete Kraft muss vom Gesamtquerschnitt des Jochs aufgenommen werden. Das steife Joch nimmt alle Kräfte auf und gibt diese am Auflagerpunkt beim Drucklager ab.

Der Gesamtquerschnitt der Joche setzt sich aus zwei stabilen Teilquerschnitten zusammen, die jeweils oberhalb und unterhalb von dem durchgehenden Schlitz angeordnet sind. Die Höhenlage der Spannlitzen liegt bei den dünnen Bauteilen nur wenige Zentimeter über dem Schalboden des Tisches. Somit liegt der Gesamtquerschnitt des Spannjochs zu gleichen Teilen über bzw. unterhalb der Schalungsebene des Tisches.

Um nun die beiden Teilquerschnitte des Spannjochs gleichmäßig abzustützen, braucht es jeweils ein Drucklager oberhalb und unterhalb des Schalbodens. Damit wird sichergestellt, dass die eingeleiteten Spannkkräfte zu gleichen Teilen auf alle Druckbalken abgeleitet werden und der Gesamtquerschnitt des Spannjochs keine Verdrehung erfährt. Die Auflagerkraft der Joche wird dann aufgeteilt in einen Anteil für den Balken, der oberhalb des Tisches liegt und in den Anteil, der unterhalb vom Tisch angeordnet ist.

Die steife Verbindung zwischen den beiden Spannjochen übernehmen die Balken aus Beton. Die dort eingeleiteten Druckkräfte erzeugt ein Gleichgewicht mit den gespannten Litzen.

Die Summe der Spannkkräfte aller Litzen entspricht den Druckkräften in den vier Balken.



Aufbau des mobilen Spannbetts mit den abgestützten Jochen, den Hydraulikzylindern und den steifen Längsbalken

BETONFERTIGTEILE

Je nach Anordnung der Spannlitzen über die Breite des Jochs, können die Druckkräfte auf den beiden Seiten unterschiedlich ausfallen. Diese unterschiedliche Verteilung ist dann bei Ablassen der Zylinder zur Entspannung der Litzen zu berücksichtigen.

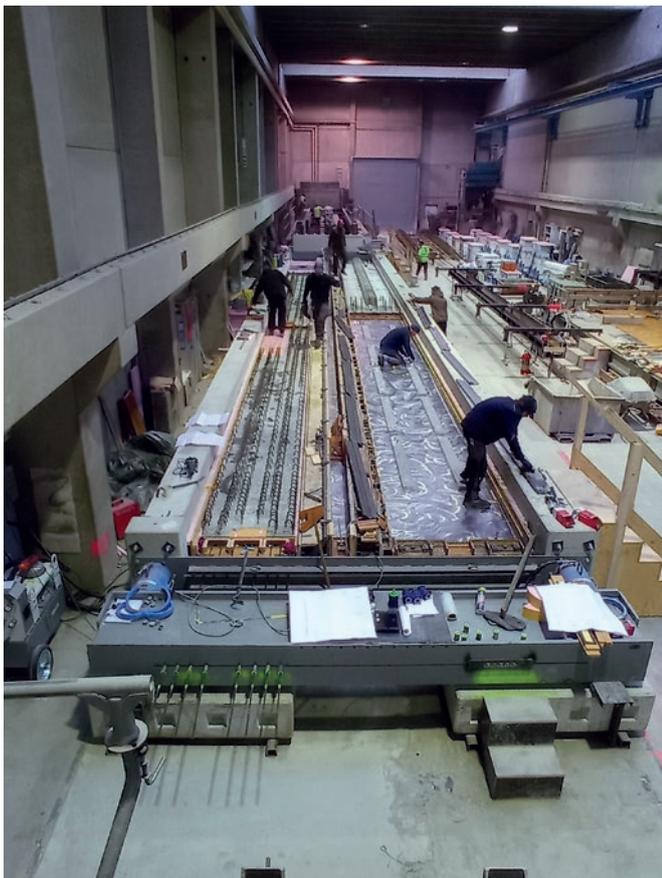
Zur Aufnahme der Druckkräfte eignet sich der Werkstoff Beton auf ideale Weise. Dank der Verteilung der Gesamtdruckkräfte auf vier Balken, ergeben sich schlanke Abmessungen der einzelnen Balken. Dadurch wird wenig Platz auf der Palette für die seitliche Lagerung der Balken benötigt, und die restliche Breite steht für die Fertigung der vorgespannten Produkte zur Verfügung.



Vorgefertigte Druckbalken mit der Möglichkeit zur Verlängerung durch Koppelung mit Gewindestangen



Senkrechter Auflagerbalken zur Lastverteilung auf die beiden am Schaltsch montierten Längsbalken und zur Befestigung der Zylinder



Aufgebautes mobiles Spannbett mit Tisch, Jochen und Druckbalken sowie den damit zu erstellenden vorgespannten Produkten

Die Balken selbst werden in mehreren Abschnitten hergestellt und über Schraubverbindungen auf die geforderte Länge des Spannbetts gebracht. So lassen sich die Balken auch jederzeit abbauen und lagern, um dann für einen neuen Einsatz genutzt zu werden.

Da die mit den Jochen verbundenen Zylinder eine kleine Aufstandsfläche aufweisen, braucht es ein weiteres stabiles Formteil, welches die Kraft aus dem Zylinder in die beiden Balkenabschnitte überträgt. Auch hier ist eine Lösung mit einem Stahlbetonbalken realisierbar. Dieser wird mit den beiden Balken über Schraubverbindungen fest verbunden. Die Zylinder werden dann an dem vertikal stehenden Balken

befestigt. Die Joche werden auf Betonblöcken gelagert und auf der anderen Seite der Zylinder angeflanscht.

Mit dieser Technik lässt sich ein stationär angeordneter Schaltisch in ein Spannbett umbauen. Die Länge des Spannbetts wird durch die Anzahl der miteinander verbundenen Tische bestimmt. So können auch einzelne Tische aus einer Umlaufanlage hintereinander aufgestellt werden. Der Schalboden der Tische wird an der Verbindungsstelle temporär verschweißt, um eine gleichbleibende ebene Fläche zu erhalten. Die Druckbalken lassen sich jederzeit auf die geforderte Länge anpassen.

Frühes Ausschalen durch beheizten Schaltisch

Um den stationären Schaltisch jeden Tag auch wieder mit Bauteilen belegen zu können, muss täglich ausgeschalt werden. Das ist jedoch nur möglich, wenn die Spannkraft von den Jochen auf das erhärtete Betonbauteil übertragen werden kann. Dazu braucht es eine Mindestfestigkeit des Betons. Die Festigkeitsentwicklung muss darauf angepasst werden. Eine Beschleunigung der Festigkeitsentwicklung lässt sich durch Wärmezufuhr erreichen. Dazu gehört ein beheizter Schaltisch.

Da die reine Stahlplatte die zugeführte Wärme schnell auch an die Umgebung abgeben würde, braucht es einen Wärmepuffer, der die Wärme über einen längeren Zeitraum hält und diese langsam an den Schaltisch und damit an das frisch betonierete Bauteil abgibt. Dazu eignet sich idealerweise eine dünne Betonschicht, die mit Rohrleitungen versehen ist, in der warmes Wasser zirkuliert. Bei den üblichen Schaltischen mit dünner Stahlplatte und stützenden Rippen aus Profilstahl muss diese Betonschicht nachträglich eingebaut werden. In den Hohlraum zwischen den Rippen werden die Rohrleitungen verlegt und anschließend mit Beton verfüllt. So entsteht ein Wärmespeicher, der sich mit der zugeführten Wärmeenergie auflädt, diese zwischenspeichert und dann über die Stahlplatte an das betonierete Bauteil abgibt. Am unteren Rand des Betonpolsters wird eine Dämmung vorgesehen, so dass die zugeführte Wärme weitgehend über die Stahlplatte an das frisch betonierete Bauteil abgegeben wird. Je nach jahreszeitlicher Witterung braucht es diese Unterstützung für eine beschleunigte Festigkeitsentwicklung. Damit wird immer sichergestellt, dass die für die Vorspannung benötigte Betondruckfestigkeit erreicht wird.



Ergänzende Betonschicht mit Rohrleitungen und Dämmschicht zwischen den Tragrippen der Schaltische für die Beheizung der frischen Bauteile



Einbau von Rohrleitungen und von Beton als Wärmespeicher zwischen den vorhandenen Tragrippen des klassischen Schaltischs

Gezielte Steuerung der Hydraulikzylinder beim Entspannen. Gespannt werden die Litzen einzeln und am Joch verankert. Das Ablassen der Vorspannkraft und deren Übertragung auf das Betonbauteil erfolgt für alle Litzen gemeinsam über die an den Jochen angebrachten Hydraulikzylinder. I.d.R. werden die Zylinder gemeinsam oder nacheinander entspannt. Eine Besonderheit beim Entspannen stellen die vorgefertigten Bauteile mit entsprechenden Einbauten dar. Oftmals werden



Einbauteile mit der Befestigung über Magnete am Schaltisch: z.B. Schalungskörper für die Aussparungen der Akustikelemente

die Einbauteile mit Magneten an dem Schalboden befestigt sind. So werden z.B. bei den von Innogration GmbH hergestellten, multifunktionalen Deckenelementen mit integrierter Haustechnik [2] mehrere Einbauteile eingesetzt. Dabei handelt es sich z.B. um die flachen Schalkörper für die Aussparungen, in die die Absorber für die Akustik später eingesetzt werden.



Hydraulikzylinder mit Distanzringen zum Entspannen der Kraft an den Litzen, um die Verformungen gezielt zu steuern



Steuereinheit zum individuellen Ablassen der vier Hydraulikzylinder

Thermische Steckdosen, Heizungskästen, Lüftungsauslässe sowie Elektrodosen sind weitere Einbauteile, die über die Magnete direkt am Schaltische fixiert werden. Damit sind die Betonbauteile mit der Schalung weitgehend fest verbunden. Zudem werden die Elemente i.d.R. einmal eingemessen und dann für die Produktion von mehreren Betonplatten hintereinander genutzt. Somit sollten die über Magnete fixierten Positionen während der laufenden Produktion erhalten bleiben. Eine freie Spannliedlänge führt zu Verschiebungen der auf der Schalung liegenden Bauteile. Das jedoch stellt Anforderungen an den Vorgang beim Lösen der Vorspannung. Je nach freier Länge der Litzen an beiden Enden des Spanntischs werden unterschiedliche Dehnwege und damit verbunden relative Verschiebungen freigesetzt. Unterschiedliche Verformungen an den Enden führen zu einem Ungleichgewicht und damit zu einem Verschieben des vorgespannten Bauteils auf dem Spanntisch. Davon sind dann auch die mit Magneten befestigten Einbauteile betroffen, auf die sich die Verschiebung des Bauteils auswirkt. Demzufolge müssen die einzelnen Zylinder entsprechend dem zu erwartenden Dehnweg verformungsgesteuert die Kraft freigeben. Um eine gleichmäßige Verformung von beiden Enden her zu gewährleisten, müssen die Hydraulikzylinder auf beiden Seiten gezielt entspannt werden.

Die beiden mit einem Joch verbundenen Zylinder müssen gegebenenfalls auch unterschiedlich angesteuert werden, wenn die Anzahl der Spannkraften nicht gleichmäßig über die Breite verteilt sind. Entsprechend der dabei vorhandenen Auflagerkraft am Zylinder wird die Kraft im Zylinder abgelassen. Diese Vorgehensweise wird dank der individuellen Steuerung jedes einzelnen Zylinders möglich.

So gelingt es, dass das vorgefertigte Betonbauteil in seiner Ruheposition verbleibt, und die Magnete mit den Einbauteilen nicht verschoben werden.

Alternativen für den Schaltisch

Anstelle der Aufstellung der bestehenden Schaltische, kann auch eine für das Spannbett extra erstellte dünne Betonplatte genutzt werden. Dabei wird eine ebene Betonplatte mit einer auf der Oberseite integrierten Stahlplatte hergestellt [3]. Die ebene Oberfläche der Stahlplatte dient als Schaltisch. Die Betonplatte selbst dient dann als steifes Druckelement zwischen den Jochen. Um die Druckkraft der beiden Joche gleichmäßig einzuleiten, werden zusätzliche Balken seitlich mit der Betonplatte verbunden. Die Höhe der Balken orientiert sich an den Abmessungen der Joche. Die neu erstellte Betonplatte als Schalungstisch hat den Vorteil, dass die Rohrleitungen zur Erwärmung der frisch betonierten Bauteile direkt eingebaut werden.



Variante für ein mobiles Spannbett mit einer dünnen Betonplatte zur Aufnahme von Druckkräften inkl. der eingelegten Stahlplatte und der seitlich verbundenen Balken



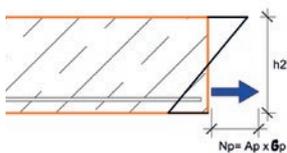
Vorgespannte Gurtstreifenplatte für die Herstellung von Flachdecken mit vorgefertigten einachsig wirksamen Deckenplatten

Vorgespannte Produkte

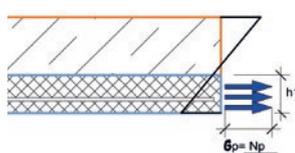
Mit dieser einfachen Ergänzung für bestehende Schaltsche können nun vorwiegend Plattenelemente mit einer vorgespannten Bewehrung versehen werden. Durch die Vorgabe der durchgehenden Lochreihe können dünne Platten sowohl zentrisch als auch geringfügig exzentrisch vorgespannt werden. Die dünnen Platten können sowohl Vollfertigteile oder auch Halbfertigteil sein. Mit der einzurichtenden Höhenlage der Joche wird der Abstand der Spannlitzen zum Schalboden festgelegt.

Insbesondere die vorgespannten Halbfertigteilplatten zeichnen sich durch ein hohes Leistungsvermögen aus. Im Verbundquerschnitt mit dem auf der Baustelle eingebauten Ortbeton wirkt das vorgespannte dünne Halbfertigteil wie ein großformatiges Zugelement. Wird der dünne Betonquerschnitt durch die Spannlitzen überdrückt, so dass im Endzustand keine oder nur geringe Zugspannungen entstehen, dann kann der gesamte Betonquerschnitt des Halbfertigteils als Zugstab berücksichtigt werden.

Traditionell:
vorgespannter Stahlquerschnitt
 $S = A_p \times E_p$



Vorgespanntes Betonbrett
(große Steifigkeit)
 $S = A_c \times E_c$



Betonplatte als wirksames Zugglied im Verbundquerschnitt dank der vorgängig im Spannbett aufgebrauchten Spannkraft



Weit spannende vorgespannte Rippenplatte für eine Deckenplatte mit Sandwichquerschnitt zur Gewichtsreduzierung



Anordnung der gespannten Litzen im Spannloch entsprechend den verschiedenen Produkten wie z.B.: Gurtstreifen, Balken, Rippendecken...

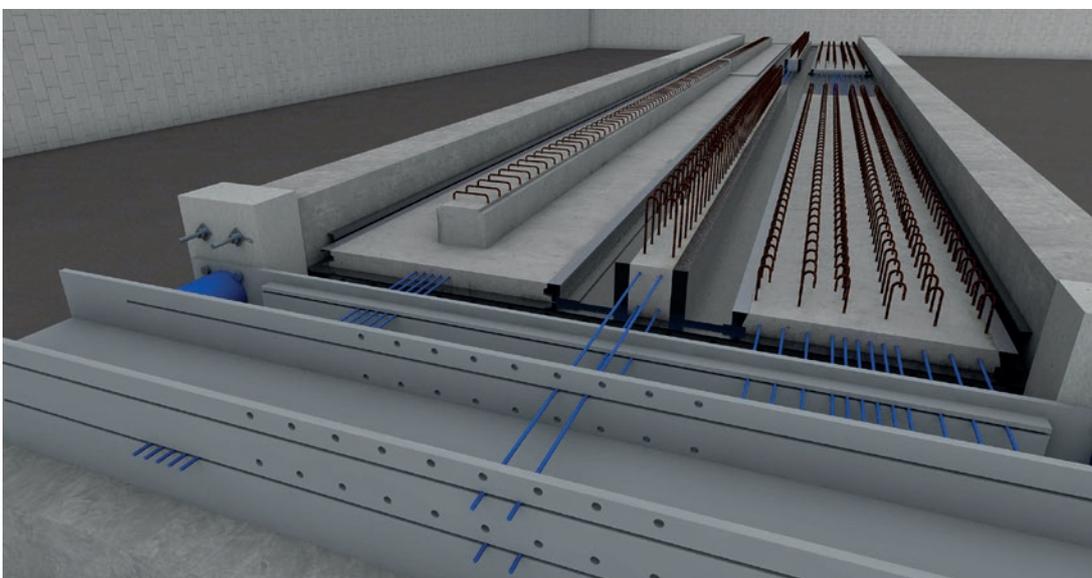
Die hohe Steifigkeit des vorgedrückten Betonquerschnitts wirkt sich schlussendlich auch auf den Gesamtquerschnitt aus. Hierbei wird die hohe Stahlspannung des Vorspannstahls optimal eingesetzt. Wenige Spannstahlquerschnitte übertragen die durch die Vordehnung erzielten Kräfte auf den Betonquerschnitt und lassen diesen zu einem Zugstab werden.

Die vorgespannten Halbfertigteilplatten werden vorwiegend innerhalb eines Gurtstreifen von Flachdecken eingesetzt. Die Gurtstreifen wirken als Unterzug, der jedoch deckengleich eingebaut wird. Diese Streifen bilden das Auflager für die dazwischen liegenden einachsig gespannten Deckenelemente. Mit diesem System lassen sich Flachdecken mit vollständig vorgefertigten Deckenplatten und Sandwichquerschnitt herstellen. Die hoch vorgespannten Halbfertigteilplatten zeigen als Gurtstreifen ihr gesamtes Leistungsvermögen. Im Montagezustand liegt der Deckenstreifen als Einfeldsystem zwischen den Stützen. Mit der Herstellung des Verbundquerschnitts durch den Ortbeton beginnt die Umlagerung infolge Kriechen. Die Biegemomente in Feldmitte werden reduziert und über der Stütze aufgebaut. Aus dem ursprünglichen statisch bestimmten System wird dann ein Mehrfeldsystem. Das

damit verbundene statisch unbestimmte System ist deutlich robuster und erlaubt die oben angesprochenen Umlagerungen der Schnittkräfte. Infolge der ausgeglichenen Biegemomente werden die Deckenquerschnitte gleichmäßiger ausgenutzt, so dass der Deckenquerschnitt insgesamt schlanker ausfallen kann.

Für die Herstellung von Flachdecken mit vorgefertigten Deckenelementen bietet sich nicht nur der Gurtstreifen für die Vorspannung an, sondern auch die Platten selbst, die dort aufliegen.

Insbesondere die Deckenplatten mit Sandwichquerschnitt eignen sich bei größeren Spannweiten für den Einsatz einer vorgespannten Bewehrung. Der dünne untere Flansch inklusive der aufgesetzten Rippe wird als Fertigteil hergestellt. Die Spannlitzen werden in der dünnen Platte angeordnet. Der Gesamtquerschnitt wird dann durch die Ergänzung mit dem oberen Flansch fertiggestellt. Diese kann sowohl als Fertigteil als auch mit einer verlorenen Schalung in Ortbeton erstellt werden. Die weitgespannten Platten mit Sandwichquerschnitt zeigen ein hohes Leistungsvermögen bei geringem Gewicht und mit minimalem Betonverbrauch.



Einsatz eines mobilen Spannbetts für die parallele Herstellung von unterschiedlichen Bauteilen



Zentrisch vorgespannte Balken mit schlanken Querschnitts-abmessungen erzielen eine hohe Tragfähigkeit



Einsatz der vorgespannten schlanken Balken als Auflager für die einachsrig gespannten Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken)

Selbst Balken mit kompakten schlanken Querschnitten werden mit dem mobilen Spannbett vorgespannt. Dabei handelt es sich um Unterzüge, die aufgrund ihrer Abmessungen insbesondere im Hochbau für kleine bis mittlere Spannweiten eingesetzt werden. Vorgefertigte Balken mit kleinen Abmessungen werden insbesondere als Ergänzung bei Hochbaudecken benötigt. Idealerweise werden die Balken zentrisch vorgespannt, um als gerades Element eingebaut zu werden. Die oberen Spannritzen werden über eine zusätzlichen Lochreihe am oberen Rand des Jochs fixiert. Damit lassen sich Balken zentrisch mit zwei in unterschiedlicher Höhe angeordneten Spannritzen bewehren. Die schlanken Balken sind selbst bei geringen Breiten sehr tragfähig und dank der zentrischen Vorspannung sehr stabil. So können diese Bauteile bei Flachdecken als Randabschluss in Form eines Über- bzw. Unterzugs entlang der Fassade eingesetzt werden. Dank der Vorspannung sind große Spannweiten umsetzbar und außerdem mit wenigen Unterstützungen während der Montage.

Alternativ werden diese Träger auch als Auflager für die vorgefertigten HBV-Decken eingesetzt. Die einachsrig gespannten Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken) stützen sich dann direkt auf diesen Trägern ab. Wie bei der Flachdecke handelt es sich um einen Gurtstreifen, der die abgegebenen Lasten zu den Stützen transportieren.

Das klassische Spannbett ist auf Länge ausgerichtet, um möglichst viele lange Bauteile hintereinander zu produzieren. Das mobile Spannbett ist auf eine optimale Breite ausgerichtet. Die Breite des Deckentischs ermöglicht, mehrere und unterschiedliche Bauteile nebeneinander anzuordnen und vorzuspannen. Je nach Bedarf kann parallel eine dünne Platte, eine Rippendecke oder ein schlanker Balken hergestellt werden. Damit lassen sich dann die Produkthanforderungen für ein einzelnes oder für mehrere Bauvorhaben gleichzeitig erfüllen.



Tägliche Belegung des Schal-tischs mit mo-bilem Spann-bett für die Produktion von verschiedenen in Form und Ab-messung un-ter-schiedlichen vorgefertigten Bauteilen

Mit dieser einfachen Technik werden bestehende Schaltische (auch aus einer Umlaufanlage) ergänzend nutzbar, um vorgespannte Plattenbauteile herzustellen. ■

Literatur

- [1] Europäisches Patent EP 2 239 119 A3; 2010 „Mobiles Spannbett für Beton-Fertigteilelemente mit vorgespannter Bewehrung“
- [2] Thomas Friedrich: Kapitel V - Multifunktionale Betondecken; Betonkalender 2016
- [3] Thomas Friedrich: „Mehr vorgespannte Bauteile mit einem mobi-len Spannbett“; ICCX Central Europe 2022, Warschau, Polen

WEITERE INFORMATIONEN

innovativ
INNgration
integriert

Innogrations GmbH
Cusanusstraße 23, 54470 Bernkastel-Kues, Deutschland
T +49 6531 968260
office@innogrations.de, www.innogrations.de