

Grooved Hollowcore: eine einfache Möglichkeit, den Betonverbrauch deutlich zu senken und die Margen zu erhöhen

■ Marc Sanabra-Loewe, Polytechnische Universität Katalonien (UPC - Barcelona Tech), Barcelona, Spanien

Das Ingenieurbüro Elastic Potential, Barcelona, Spanien, hat ein Verfahren zur Herstellung von an den Enden eingespannten Spannbetonfertigdecken entwickelt, intensiv getestet und durch Patente geschützt, das eine Reduzierung der Bauteildicke und des Betonverbrauchs von Spannbetonfertigdecken um bis zu 20 % ermöglicht. Bei dem Verfahren werden Spannbetonfertigdecken mit tiefen Nuten auf der Oberfläche hergestellt. Auf der Baustelle werden zur Aufnahme von negativen Momenten direkt auf die genuteten Decken Bewehrungsstäbe gelegt und ein konventioneller Beton von mindestens 50 mm Dicke aufbetoniert. Durch die signifikanten Kostensenkungen bei Produktion und Transport der Decken amortisieren sich neue Maschinen für die Herstellung der genuteten Decken beim Betonfertigteilhersteller sehr schnell. Führende Maschinenlieferanten bieten bereits Maschinen zur Herstellung von Grooved Hollowcore-Decken an oder entwickeln sie und wollen sie in Kürze anbieten (Prensoland, Echo Precast Engineering, UltraSpan, Elematic, Nordimpianti, Spancrete).

In vielen Situationen in der täglichen Praxis verbessert sich das Tragverhalten einer Decke, wenn die Enden eingespannt sind, anstatt sie gelenkig aufzulagern. Für konstruktive Spannbetonfertigdecken wurde vor 20 Jahren eine Lösung zur Tragwerksoptimierung entwickelt: die Enden einiger Hohlräume öffnen, Stabstähle einlegen und mit Beton vergießen. Die überwiegende Mehrheit der zurzeit gebauten Spannbetonfertigdeckensysteme sind gelenkig aufgelagert. Das Öffnen von Hohlräumen ist komplizierter und nicht immer billiger als die herkömmliche Lösung. Jetzt wurde eine einfachere Lösung mit der Bezeichnung Grooved Hollowcore entwickelt. Damit sind eingespannte Spannbetonfertigdecken fast so simpel einzusetzen wie herkömmliche Spannbetonfertigdecken, aber deutlich billiger.

Grundkonzept: verbessertes Tragverhalten einfach gemacht

Spannbetonfertigdecken können mit diesem Ansatz preisgünstiger hergestellt werden, da die Dicke der Decken um bis zu 20 % reduziert wird (und damit der Betonverbrauch

entsprechend sinkt). Somit sind die Decken bis zu 20 % leichter und folglich einfacher zu transportieren und zu handhaben.

Die Tragwerksoptimierung wird durch zwei Modifikationen der gängigen Praxis erreicht. Einerseits werden Decken mit tiefen Nuten über die gesamte Oberfläche der Betonfertigteile hergestellt. Das erfordert eine geeignete Maschine (siehe „Verfügbarkeit von Maschinen“ unten). Andererseits werden nach dem Verlegen der Decke vor Ort Bewehrungsstäbe zur Aufnahme negativer Biegemomente direkt auf die Decke gelegt (keine Abstandhalter erforderlich) und mindestens 50 mm Aufbeton wie üblich ergänzt (siehe Abb. 1).

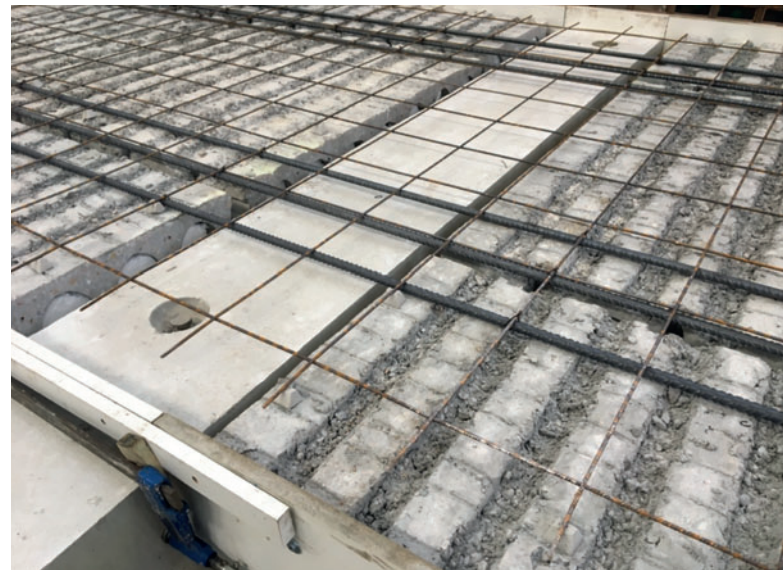


Abb. 1: Grooved Hollowcore System vor dem Einbringen des Aufbetons. Wichtige Details: Bewehrungsstäbe werden direkt auf die Decke gelegt und in geeigneter Weise vom Auflager getrennt, damit der Beton den verbleibenden Spalt ausfüllt und das negative Biegemoment übertragen werden kann; eventuell werden Verschlusskappen benötigt, damit die Hohlräume der Spannbetonfertigdecken nicht mit Beton volllaufen.



■ Prof. Marc Sanabra-Loewe, PhD, ist seit elf Jahren Professor für Bauwesen an der Polytechnischen Universität in Barcelona, Spanien (UPC - Barcelona Tech). Von 2018 bis 2019 lehrte er auch als Professor an der University of Illinois in Urbana-Champaign. Seit 15 Jahren leitet er MASA+Arquitectura, ein Architekturbüro in Barcelona. Seine Master- und Doktorarbeit befassten sich mit der Optimierung von Spannbetonfertigtecken. Er ist der Erfinder mehrerer patentierter optimierter Spannbetonfertigtecken-Systeme des spanischen Ingenieurbüros Elastic Potential, S.L., das diese Patente hält.

msanabra@elastic-potential.com

Trotz des Aufbetons können Grooved Hollowcore Decken günstiger sein als herkömmliche Spannbetonfertigtecken ohne Aufbeton.

Wer profitiert von Grooved Hollowcore?

Alle Akteure in der Wertschöpfungskette können aus dem Einsatz von Grooved Hollowcore signifikante Vorteile und Gewinne erzielen.

Betonfertigteilerhersteller können deutlich dünnere, weniger bewehrte Decken herstellen. Im Durchschnitt können die Decken bis zu 20 % dünner sein als herkömmliche (verglichen mit einer Standardlösung mit Aufbeton) und bis zu 25 % dünner im Vergleich zu einer herkömmlichen Lösung ohne Aufbeton. Auch der Verbrauch von Spannstahl sinkt im Durchschnitt um bis zu 15 %.

Da die Decken 20 % bis 25 % leichter sind, ist auch ihr Transport billiger.

Wenn dünnere Decken zum gleichen Preis (oder etwas preisgünstiger) verkauft werden als herkömmliche Decken, die beide die gleiche Leistung bieten, kann ein Betonfertigteilerhersteller relevante zusätzliche Margen erzielen, was die Wirtschaftlichkeit deutlich erhöht.

Diese höheren Margen bewirken bereits, dass die viel dünneren Grooved Hollowcore Decken leicht unter dem Preis von Herkömmlichen (dicker) verkauft werden können. Dabei können trotzdem die Mehrkosten des Bauunternehmers für die Verlegung von Bewehrungsstahl zur Aufnahme der negativen Momente ausgeglichen werden.

Der Bauunternehmer wiederum profitiert nicht nur von einem niedrigeren Preis für die Decke, sondern auch von der Tatsache, dass die Decken leichter sind: Balken, Stützen und Fundamente können geringer dimensioniert werden. Da die Decken dünner sind und die Balken damit auch flacher sein können, ist die gesamte Geschossdecke 5 cm (2") bis 15 cm (6") dünner. So kann jede Geschosshöhe des Gebäudes um diesen Betrag reduziert werden. Damit wird auch die Fassadenfläche kleiner, was zu zusätzlichen Kosteneinsparungen führt. Wenn man in Europa die Baukosten (der Fassade) für ein Gebäude bei 500 €/m² bis 1.000 €/m² ansetzt, ergeben sich nach dem Summieren beim Bauunternehmer Kostensenkungen von 2 €/m² bis 6 €/m² (etwa 0,5 % der Kosten des gesamten Auftrags). Die tatsächlichen Kosteneinsparungen für den Bauunternehmer hängen von der Verringerung der Deckendicke, der Art der Gründung (Pfähle oder Fundamente) und vom Preis der Fassade pro m² ab.

Mit Grooved Hollowcore haben Bauherr und Planer des Gebäudes (Architekt, Ingenieur) eine Reihe von Vorteilen. Grooved Hollowcore Decken in der Dicke herkömmlicher

Intelligente Schalsysteme



Treppenschalungen



Stützen- und Binderschalungen



Kipptische und Sonderschalungen

Hausadresse:
HOWAL GmbH
Am Reutgraben 4
D-76275 Ettlingen-Ew.

Postadresse:
HOWAL GmbH
Postfach 417
D-76258 Ettlingen

Telefon:
+49 (0)72 43-9 49 73 - 0
Telefax:
+49 (0)72 43-9 06 45

Internet:
www.howal.com
Email:
info@howal.com

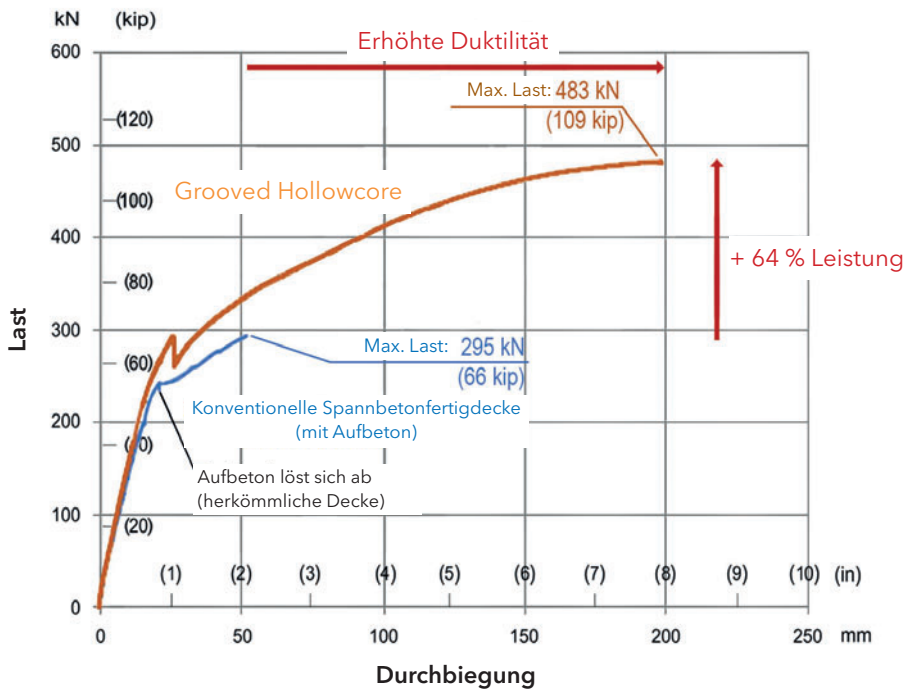


Abb. 2: Lastkennlinien-Diagramme aus Belastungstests zweier identischer Decken mit exakt gleicher Bewehrung; eine Decke ist ein Grooved Hollowcore-Deckenelement, die andere eine konventionelle Spannbetonfertigdecke (Der Test der konventionellen Spannbetonfertigdecke endete kurz nach dem Ablösen des Aufbetons, wie bei herkömmlichen Decken).

Spannbetonfertigdecken können bis zu 25 % mehr Last aufnehmen (Abb. 2) oder die Spannweite um bis zu 25 % erhöhen. Außerdem bieten sie mehr Gestaltungsfreiheit: es werden Auskragungen möglich; auch große Öffnungen in den Decken sind machbar, da in Feldmitte eingeschnittene Decken ab dem Auflager als Kragarm wirken können.

Grooved Hollowcores sind auch unter seismischen Gesichtspunkten von Vorteil, da sie eine geringere Masse haben und eine höhere Duktilität der Träger-Decken-Verbindung besitzen, was das Risiko eines progressiven Kollapses reduziert. Darüber hinaus kann die bessere Brandschutzwirkung der Decken vorteilhaft sein, da ein signifikanter Teil der Stahlbewehrung (15 % bis 50 %) im oberen Querschnitt der Decke platziert ist. Die Bewehrung im oberen Querschnitt ist viel weniger der typischerweise durch einen Brand verursachten Hitze (von unten) ausgesetzt [1].

Letztendlich ermöglichen Grooved Hollowcore Spannbetonfertigdecken den Bau von Decken mit 10 % bis 15 % weniger CO₂-Emissionen. Das ist das Ergebnis eines 20 % reduzierten Betonverbrauchs und einer leichten Erhöhung des Stahlverbrauchs insgesamt. Dieser Anstieg ist darauf zurückzuführen, dass ein Teil des Spannstahls der Fertigteile durch am Einsatzort verlegte Stahlstäbe ersetzt wird, die üblicherweise eine geringere Festigkeit als Spannstahl aufweisen.

Einhaltung aktueller Regelwerke

Die meisten Baunormen, wie Eurocode (EC-2) [2] und das amerikanische PCI-Handbuch für die Auslegung von Spannbetonfertigdecken [1], akzeptieren den Entwurf und Einbau von Spannbetonfertigdecken mit Aufbeton. Die eingangs beschriebene Lösung der Tragwerksoptimierung durch Öffnen von Hohlräumen gibt es schon seit langem. Daher ist die neue Lösung von Grooved Hollowcore i. d. R. mit den aktuellen Regelwerken kompatibel.

Außerdem berücksichtigt das Prinzip des Entwurfs von Grooved Hollowcore die horizontale Schubfestigkeit der Beton-Beton-Verbindung (Spannbetonfertigdecke/Aufbeton). Auch hier gibt es eine Reihe von Normen (EC-2 [2]; die US-amerikanischen ACI-318 [3]), die als mit diesen Grundsätzen vereinbar angesehen werden können: Vorgaben für die horizontale Schubfestigkeit der Schnittstelle Beton-zu-Beton.

Grooved Hollowcore wird Realität

Eine Technologie, entwickelt nach umfangreichen Tests

Die hier vorgestellte Lösung wurde in einem kompletten, 18-monatigen Testprogramm an der Universidad Politécnica de Valencia (UPV) in den Jahren 2016 und 2017 in Spanien entwickelt (siehe Abb. 3). Die Tests wurden von Dr. Pedro Miguel Sosa, ordentlicher Professor für Bauingenieurwesen, und Dr. Luís Pallarés Rubio, außerordentlicher Professor für Bauingenieurwesen, unter der Aufsicht von Elastic Potential (Patentinhaber) durchgeführt.

Hauptziel der Tests war eine zuverlässige Lösung, die eine gute Verbindung zwischen Spannbetonfertigdecke und Aufbeton gewährleistet. Das Programm umfasste sowohl Kleinversuche, mittlere Versuchsreihen als auch Großversuche. Die wichtigsten untersuchten Variablen waren: Geometrie und Rauheit der Schnittstelle; Alter der beiden Betone (Fertigteil und Aufbeton); und Größe der Proben. Eine der wichtigsten Schlussfolgerungen der Forschung war, dass die unterschiedliche Geschwindigkeit und Größenordnung des Betonschwindens bei Spannbetonfertigdecke und Aufbeton, das so genannte differenzielle Schwinden, die horizontale Schubfestigkeit der Verbindung signifikant verringert. Dieser Effekt kann schon bei sehr geringer Belastung zu einem Ablösen des Aufbetons führen. Das geschieht insbesondere, wenn die Schwindraten in der Decke hoch sind (z. B. wenn die Decke

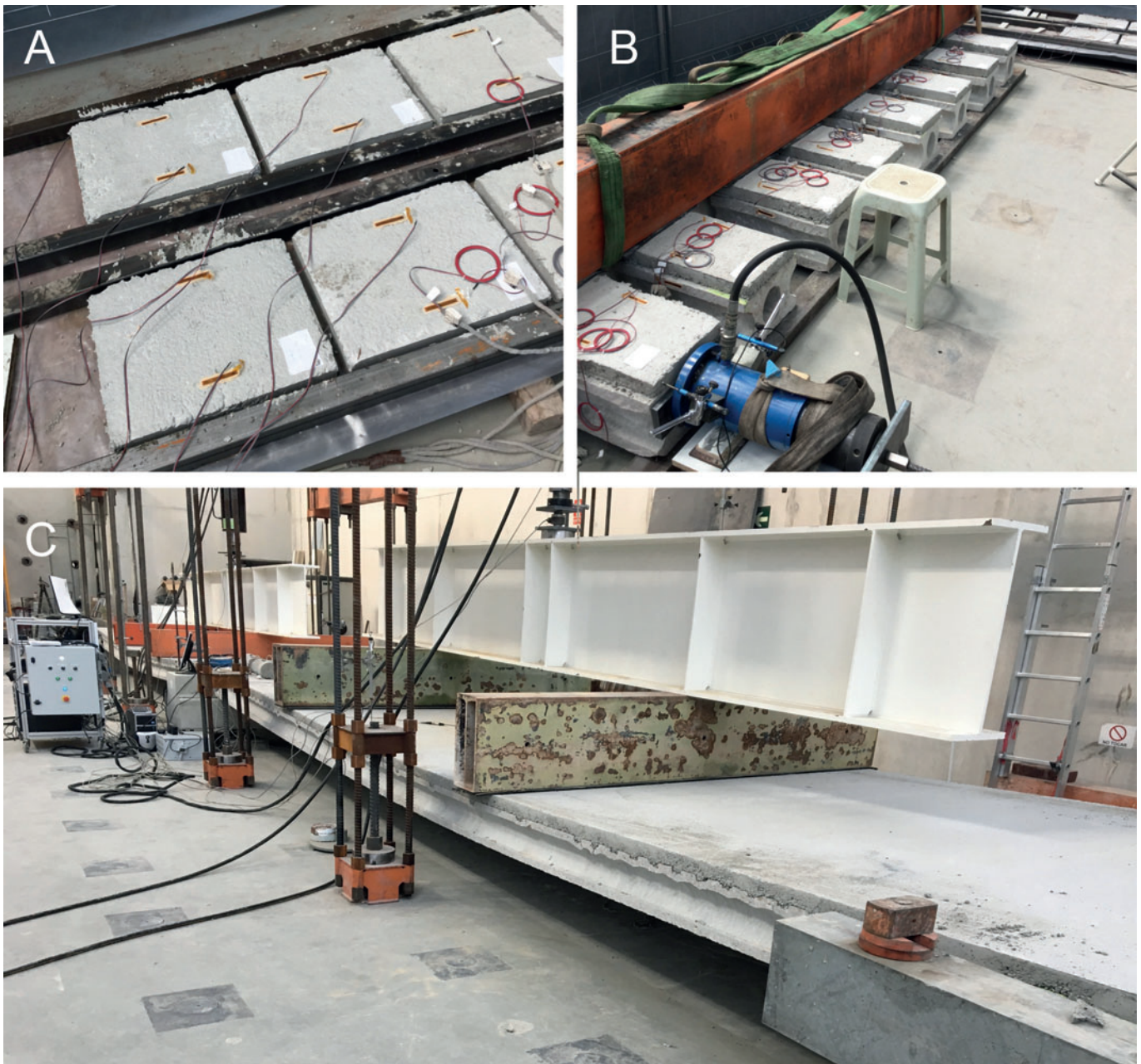


Abb. 3: A) Versuch zum zwangsfreien Schwinden bei Aufbetonproben unterschiedlicher Betonzusammensetzungen; B) Horizontale Schubfestigkeitsprüfungen an kleinen Proben; C) Test im Originalmaßstab (intensiv belastet) auf einer Zweifeld-Decke mit Grooved Hollowcore

schon einige Monate alt ist, wenn der Aufbeton eingebaut wird) oder wenn der Aufbeton stark schrumpft (z. B. hoher Wasser-Zement-Wert im Aufbeton, hohe Temperatur am Einbauort usw.). Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen von Tests und Schlussfolgerungen anderer Autoren überein [4] [5] [6].

Der Model Code [7] der Fédération International du Béton - fib, erwähnt auch, dass in bestimmten Strukturen das differenzielle Schwinden berücksichtigt werden muss, um die Festigkeit von Beton-Beton-Verbindungen zu gewährleisten.

Angesichts der Ergebnisse wurden die Tests mit verschiedensten Oberflächen der Oberseite der Decke durchgeführt: mäßig glatt (wie aus der Produktionsanlage) gebürstet, mit isolierten tiefen Löchern in der Deckenoberfläche und schließlich mit unterschiedlich tiefen Nuten auf der Decken-

oberfläche. Nur bei einer Lösung gab es keine Auswirkungen des differentiellen Schwindens und damit eine zuverlässige und vorhersehbare Festigkeit. Eine Lösung mit tiefen Nuten (20 mm), verteilt über die gesamte Oberfläche der Decke. Diese Lösung ermöglicht einen zuverlässigen Verbund zwischen Aufbeton und Fertigteil. Diese Zuverlässigkeit wurde durch die Tatsache belegt, dass die Verbindung bei Scherbruch des Aufbetons oder der Spannbetonfertigdecke versagte (vorhersehbares Versagen, abhängig von wenigen Variablen: Geometrie und Festigkeit des Betons). In jeder anderen untersuchten Verbindung hat sich der Aufbeton vom Beton der Decke gelöst. Das ist ein Versagen an einer viel unberechenbareren Schnittstelle, was viel schwieriger vorherzusagen ist, da es von viel mehr Faktoren abhängt (Vorhandensein von Feuchtigkeit, Wasser oder Schmutz auf der Schnitt-

stelle, differenzielles Schwinden, Abbindegeschwindigkeit usw.)

Die Ergebnisse der Tests werden derzeit für die Veröffentlichung in wissenschaftlichen Zeitschriften vorbereitet.

Reaktion von Betonfertigteilherstellern

Elastic Potential hat die Technologie in den letzten Monaten rund 20 Betonfertigteilherstellern in Europa (Spanien, Italien, Frankreich, Belgien) und in den USA vorgestellt.

Die überwiegende Mehrheit der Betonfertigteilhersteller zeigte echtes Interesse an dieser Technologie. Sie haben gesehen, dass sie sehr einfach zu handhaben ist und zu erheblichen besseren Margen führen kann. Von ihnen haben sich rund zwei Drittel entschieden, im Detail zu prüfen, ob die oben genannten Kostensenkungen im Einzelfall realistisch sind. Dafür haben sie eine Reihe von Projekten ausgewählt, die sie in letzter Zeit geplant und gebaut haben, und Elastic Potential gebeten, sie mit Grooved Hollowcore erneut zu planen, um den Unterschied nachzuweisen. Alle bisher neu geplanten Projekte haben, wie oben erwähnt, zu Kostensenkungen geführt. Beispielsweise ergaben sich für aktuelle Projekte in Europa unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Verkaufspreises der Decke von 25 bis 40 €/m² in aktuellen Studien Kostensenkungen von 3 €/m² (für kurze Spannweiten und geringe Lasten) bis 10 €/m² (für lange Spannweiten und hohe Lasten). Last und Spannweite haben maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis: Je größer Spannweite und Belastung, umso größer sind die realisierbaren Kostensenkungen.

Letztendlich haben 90 % der Firmen, die Projekte detailliert studiert haben, Angebote für Maschinen angefordert und denken über eine Investition nach. Basierend auf den aktuellen Maschinenpreisen haben alle bisherigen Abschreibungsstudien Amortisationszeiträume von weniger als einem Jahr ergeben.

Verfügbarkeit der Maschinen

Elastic Potential sieht es als prioritär an, dass genügend Maschinen verfügbar sind, um solche Decken in Serie herzustellen. Deshalb arbeitet Elastic Potential mit weltweit führenden Maschinenlieferanten zusammen. Sie alle sehen in Grooved Hollowcore eine interessante Option für ihre Kunden.

Derzeit kann der Maschinenlieferant Prensoland neue Maschinen zur Herstellung von Grooved Hollowcore Decken liefern oder Modifikationen bestehender Maschinen vornehmen, um diesen Deckentyp nach den Vorgaben von Elastic Potential herzustellen.

Echo Precast Engineering und UltraSpan (Progress Group) befinden sich noch in der Entwicklungsphase bzw. stellen derzeit Prototypen von Maschinen her, die voraussichtlich Anfang 2020 marktreif sein werden.

Elematic hat bereits eine Maschine zum Fräsen von Nuten auf Spannbetonfertigdecken und arbeitet derzeit daran, diese an die Anforderungen von Grooved Hollowcore anzupassen (voraussichtlich Anfang 2020). Darüber hinaus erwägt Elematic die Entwicklung einer Maschine, die direkt Decken mit Nuten extrudiert, wenn ein entsprechender Auftrag vorliegt.

Nordimpianti hat eine Maschine, die Nuten in Spannbetonfertigdecken fräsen kann, welche zuvor auf einem Extruder,

einem Gleitfertiger oder einem Flow-Former hergestellt wurden. Nordimpianti wird die erforderlichen Anpassungen an seiner Nutmaschine vornehmen, sobald ein Auftrag zur Herstellung erteilt wird.

Spancrete prüft derzeit das Interesse für Grooved Hollowcore unter seinen Kunden und bietet derzeit Maschinenänderungen an, um diesen Anforderungen gerecht zu werden.

Jeder Maschinenlieferant, der eine Maschine zur Herstellung von Grooved Hollowcore anbieten möchte, wird von Elastic Potential gebeten, einen Validierungsprozess seiner Maschinen zu durchlaufen. Dieser besteht aus einer Reihe von Labortests an Decken, die mit diesen Maschinen hergestellt werden. Diese Tests prüfen, ob die Decken bestimmte Mindestanforderungen erfüllen, um als Grooved Hollowcore Decken akzeptiert zu werden.

Was wird benötigt, um Grooved Hollowcore einzusetzen?

In erster Linie wird ein Betonfertigteilhersteller prüfen wollen, ob die Einsparungen wie hier beschrieben auf seinen Fall zutreffen. Dafür kann man sich mit Elastic Potential in Verbindung setzen, zwei oder drei Musterprojekte auswählen und hinschicken, die dann untersucht werden. Elastic Potential plant die Musterprojekte (kostenlos) erneut und schickt sie an den Betonfertigteilhersteller zurück, der dann die möglichen Kostensenkungen in Produktion und Transport und damit seine möglichen zusätzlichen Margen bewerten kann.

Außerdem muss der Betonfertigteilhersteller für eine Abschreibungsstudie seinen Maschinenlieferanten um ein Angebot bitten.

Sobald sich ein Betonfertigteilhersteller für Grooved Hollowcore entschieden hat, muss er nur noch drei Dinge erledigen:

a) lernen, wie man mit den neuen Decken plant, kalkuliert und baut (Handbuch von Elastic Potential); b) eine Vereinbarung mit Elastic Potential zur Nutzung der Technologie (inklusive Patent [8]) abschließen; c) eine validierte Maschine vom bevorzugten Lieferanten kaufen. ■

Quellen

- [1] Precast/Prestressed Concrete Institute: PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls (MNL-126-15E), Third Edition, 2015, Edited by S. K. Ghosh, ISBN 978-0-9968021-0-9.
- [2] European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [3] ACI Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, 2014, Farmington Hills: American Concrete Institute.
- [4] Beushausen, Hans-Dieter: Long-term performance of bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, PhD Thesis, 2006.
- [5] Beushausen, H.; Alexander, M.G.: Localized strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, Materials and Structures, March 2007, Volume 40, Issue 2; pp. 189-199.
- [6] Santos, Pedro M. D.; Júlio, Eduardo N. B. S.: Interface Shear Transfer on Composite Members, ACI Structural Journal, January-February, 2014; 113-121.
- [7] Fédération internationale du béton (fib): Model Code 2010, final draft. fib Bulletin Nos. 65/66, Lausanne, 2012.
- [8] Sanabra, Marc: Prefabricated floor element, structure comprising prefabricated floor elements and installation for obtaining the prefabricated floor element, EP 3486392, Filed: 12.03.2018, Published: 22.05.2019.