

Wie sehen Betonfertigteile und die zugehörigen Bau- und Produktionsprozesse in Zukunft aus?

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

Bedingt durch die verschiedenen Einflüsse der aktuellen Entwicklungen werden sich sowohl die Bauprodukte als auch die zugehörigen Bau- und Produktionsprozesse verändern. Obwohl die Bauwirtschaft sehr konservativ ist, geht auch die fortschreitende Entwicklung (z.B. Industrie 4.0) wie sie im Maschinenbau zu beobachten ist, nicht spurlos am Bauwesen vorbei.

Derzeit befinden wir uns in einer Übergangsphase von der traditionellen Herstellung zu einem neuartigen Prozess für die Herstellung und die Montage von Konstruktionen. Die folgenden Entwicklungen werden Veränderungen mit sich bringen:

1. Aufgrund des Personal- und Fachkräftemangels besteht der Baubetrieb zukünftig noch mehr aus der Montage von vorgefertigten Bauteilen, die ihrerseits auch unabhängig von dem verwendeten Material sein können.
2. Vorgefertigte Bauteile sind durch multifunktionale Eigenschaften gekennzeichnet. Es gilt z.B. nicht nur die tragende Funktion zu übernehmen, sondern verstärkt auch die Komponenten der Haustechnik in das Bauteil zu integrieren.
3. Die zukünftigen Konstruktionen bestehen aus hybriden Bauteilen, indem die Materialien Holz, Beton und Stahl in einer Verbundkonstruktion wirksam sind. Dabei kommt es entscheidend auf die Verbindung der jeweiligen materialabhängigen Bauteile an.
4. Derartige Bauteile bedingen selbst bei der traditionellen Vorfertigung eine weitere Aufteilung in vorgefertigte Module, die dann zum Endprodukt zusammengeführt werden. Die Werksfertigung besteht aus der Montage und dem Fügen von einzelnen Komponenten zum Endprodukt.



Hallenkonstruktion in kompletter Vorfertigung: abgestimmte Thermowände in Verbindung mit einer weitgespannten n-Platte.



■ 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 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

5. Die Module selbst werden zukünftig vermehrt computerunterstützt und mit Hilfe von Robotern erstellt.
6. Die Planung erfolgt zukünftig am dreidimensionalen Gebäudemodell in Verbindung mit der zugehörigen Datenbank, in der alle Komponenten der einzelnen Module und des fertigen Bauprodukts vorliegen und nach Bedarf zur weiteren Verwendung abgerufen werden können (Stichwort BIM).
7. Verfügbarkeit aller Planunterlagen auch auf dem Smartphone inklusive der Option zur digitalen Ergänzung in Word und Bild entlang des gesamten Produktionszyklus
8. Nutzung der Speicherfähigkeit von Betonbauteilen als Wärmespeicher. Unterschiedliche Elemente für die effektive Nutzung der erneuerbaren Energien werden in die Bauteile zu integrieren sein.

Diese Einflüsse bedingen weitgehende Veränderungen und damit eine Neuausrichtung der Herstellung und der Montage beginnend mit der kleinsten Bauteileinheit bis zum fertigen Produkt. Insbesondere die Vorfertigung von Bauteilen wird sich diesen Gegebenheiten anpassen.

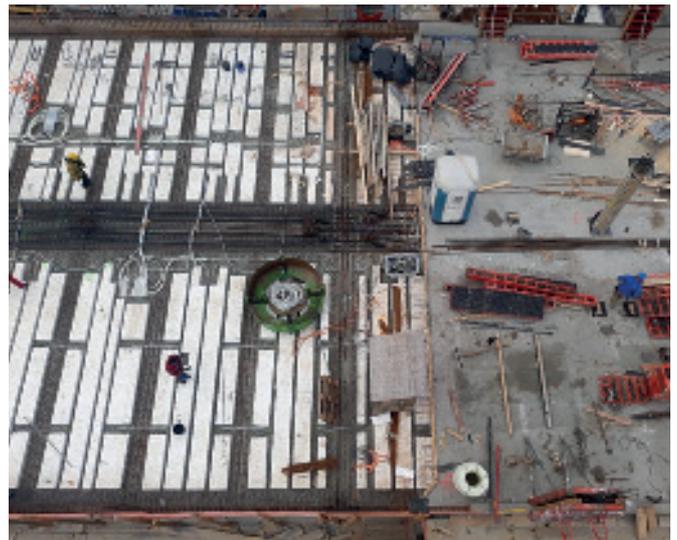
Trend zu vorgefertigten Bauteilen

Fehlendes Personal und insbesondere der Mangel an Fachkräften zwingt dazu, noch mehr die einzelnen Bauteile im Werk vorzufertigen und die Arbeiten vor Ort auf eine reine Montageleistung zu reduzieren. Die präzise Fertigung im Fertigteilwerk ermöglicht passgenaue Bauteile, die sich dann auf der Baustelle einfach verbinden lassen. Insbesondere der Holzbau und der Stahlbau haben in den letzten Jahren mit CNC gesteuerten Werkzeugmaschinen die Qualität der vorgefertigten Bauteile perfektioniert. Der Betonbau kann diese Perfektion bislang nicht erreichen, da bei der Fertigung der einzelnen Elemente bislang noch ein hoher Anteil an manueller Leistung erforderlich ist. Die weiteren Entwicklungen lassen hoffen, mit digitaler und maschineller Unterstützung die Qualität und Präzision von Betonbauteilen zu steigern.

Während der Stahl- und Holzbau mit standardisierten Verbindungen arbeitet, fehlen diese teilweise bei der Betonbau-



Vorgefertigte Deckenelemente mit Sandwichquerschnitt (Ceiltec®-B) zur Nutzung des Deckenhohlraums für die Leitungen der Gebäudetechnik.



Vorgefertigte Deckenelemente (Ceiltec®-A) mit integrierten Leitungen für die Gebäudetechnik - punktuelle Verbindung der Leitungen auf der Baustelle.

weise. Die derzeit eingesetzten Verbindungen müssen große Toleranzen aufnehmen können, und die zugehörigen Montageöffnungen bedürfen noch immer einer Ortbetonergänzung. Leider werden die Möglichkeiten von vorgespannten Bewehrungselementen zur Verbindung ganzer Bauteile noch zu wenig genutzt. Auf diesem Sektor bedarf es jedoch noch einiger Weiterentwicklungen, insbesondere für kurze spannbare Anker Elemente.

Ein weiterer Vorteil der Vorfertigung besteht bei der Integration von Leitungen. Die werkseitige Fertigung ermöglicht, die Leitungen präzise und unter geschützten Bedingungen einzubauen. Auf der Baustelle sind dann die sichtbaren und örtlich präzise platzierten Leitungsenden nur noch zu verbinden. Diese Vorgehensweise entschärft die mühselige Koordination der einzelnen Gewerke und damit deren Fehleranfälligkeit und deren Beschädigung auf der Baustelle.

Die Bauteile haben multifunktionale Eigenschaften

In den letzten Jahren hat man insbesondere bei der Betonbauweise die Mehrfachnutzung erkannt [1]. Dazu zählen vorderhand die Möglichkeiten der thermischen Aktivierung der Bauteile, was sich u.a. darin ausdrückt, dass bereits ca. 33% der erstellten Bürogebäude diese Technik verwenden. Die flächigen Bauteile wie Decke, Wand und Boden verteilen und speichern die thermische Wärmeenergie und klimatisieren somit die Räume. Diese Technologie bildet die Voraussetzung für die erfolgreiche Nutzung von erneuerbaren Energien. Die Übergabe der thermischen Energie an den Raum über die großen Flächen erfolgt mit niedrigen Temperaturen, weshalb die Systeme sehr energieeffizient ausfallen. Darüberhinaus lassen sich auch zusätzlich andere Leitungen wie z.B. Elektrotrassen, Lüftung, Sprinkler etc. bei entsprechend abgestimmter Planung in die tragenden Betonbauteile integrieren. Das führt dazu, die Leitungen für die Gebäudetechnik alternativ direkt in der Konstruktion anstelle innerhalb einer abgehäng-



Vorgefertigte Deckenplatten mit integrierten Lüftungsleitungen, die im Werk bereits montiert werden und auf der Baustelle zu einem Strang verbunden werden (Ceiltec®-B).

ten Deckenkonstruktion zu installieren. Dazu müssen die Bauteile entsprechend angepasst werden. Anstelle von Vollquerschnitten sind aufgelöste Querschnitte wie die Sandwichbauweise zu verwenden. Der Sandwichquerschnitt bietet die Möglichkeit, die beiden äußeren Schalen für die Tragwirkung zu nutzen und den Hohlraum dazwischen wie einen Hohlraumboden für die Leitungen zu verwenden. Beim Wegfall der abgehängten Decken wird zudem Höhe und somit Volumen eingespart.

Hybride Konstruktionen

Die unterschiedlichen Materialien haben in Bezug auf Tragfähigkeit, energetische Nutzung, Nachhaltigkeit etc. ihre jeweiligen Vorzüge. Somit wird es zukünftig auch darum gehen, die Materialien zu kombinieren, um den maximal möglichen Vor-



Hohe Tragfähigkeit durch Stahlverbundkonstruktion in Ergänzung mit einer vorgespannten Bewehrung – lokal hohe Tragfähigkeit für große Öffnungen in den Rippen.

teil in der Kombination der Materialien zu nutzen. Stahlbauelemente und Beton werden bereits dann eingesetzt, wenn lokal hohe Beanspruchungen auftreten und nur durch den Widerstand einer Stahlbetonverbundkonstruktion abgedeckt werden können. So ermöglicht z.B. ein Stegblech innerhalb der tragenden Rippen große Öffnungen, um z.B. die Leitungen durchzuführen zu können. In der Verbindung mit einer vorgespannten Bewehrung werden somit hohe Tragwiderstände erzielt.

Holzkonstruktionen bieten z.B. bei energetischen Überlegungen große Vorzüge. In Verbindung mit Betonbauteilen lassen sich dann diese Anforderungen optimal lösen.

Der Holzwerkstoff darf jedoch wegen der Feuchtigkeit nicht direkt mit dem frischen Beton in Berührung kommen, so dass idealerweise eine getrennte Fertigung vorzuziehen ist.



Verbundkonstruktion von Holz und Beton mit getrennter Fertigung der beiden Bauteile und dem anschließenden Fügen zu einer Verbundeinheit.

Die Fügung zu einer Verbundkonstruktion erfolgt dann später u.U. erst kurz vor der Montage. Deshalb braucht es passende Verbindungselemente, um diese Anforderungen zu erfüllen. Die Anleihe dazu liefern die Elemente, die vorgefertigte Betonbauteile verbinden. Ansätze dazu gibt es bereits. Die Verbindungsteile in den jeweiligen Bauteilen bestehen aus speziell geometrisch geformten Elementen, die im zusammengefügt Zustand und unter Verwendung von Klebern zug- und druckfest wirksam sind.

Vorfertigung einzelner Komponenten innerhalb der Betonfabrikation

Je mehr Komponenten in dem Betonbauteil einzubauen sind, umso mehr müssen die einzelnen Komponenten vorgängig zusammengefügt werden, um dann als zusammenhängende Einheit in die vorhandene Schalung eingefügt zu werden. Wir sprechen dann von einer Vorfabrikation der Komponenten, die entweder im Werk lokal zusammengefügt werden, oder als komplettes Bauteil wie in der Automobilindustrie angeliefert werden. Der klassische Ablauf im Fertigteilwerk verändert sich, indem vermehrt die Montagetätigkeit gefordert wird. Der Werkstoff Beton übernimmt die Funktion als Klebstoff, der schlussendlich alle Komponenten zusammen hält. Durch diese Arbeitsteilung lässt sich die Qualität der Produkte steigern und der Produktionsprozess wird zudem beschleunigt. So lassen sich die integrierten Rohrleitungen an der Bewehrung befestigen. Dazu können eigens erstellte Matten optimal genutzt werden. Weitere Einbauteile können beispielsweise ebenfalls an der Bewehrung befestigt werden. Durch die weitere Nutzung von geschweißten dreidimensionalen Bewehrungseinheiten kann auch eine selbsttragende Schalung mit der Bewehrungseinheit temporär verbunden werden. Dann kann auf zusätzliche Abstützungen verzichtet werden, womit weiter Zeit eingespart wird. Die nachstehende Beschreibung einer computergesteuerten Entwicklung ermöglicht weiteres

Einsparpotential, indem die räumlich stabilen Bewehrungseinheiten konsequent für weitere Anwendungen genutzt werden.

Computergesteuerte Fertigung

Die bisherige Nutzung von mobilen Greifern für die Positionierung von Abschälern und Einbauteilen ist als erster Ansatz für eine computergesteuerte Fertigung zu sehen. Die Durchgängigkeit der während der Planung erstellten Daten ermöglicht die präzise Positionierung. Mattenschweißanlagen erfüllen teilweise auch diese Anforderungen. Die Möglichkeit dreidimensional geformte Bewehrungseinheiten herzustellen, eröffnet dann in Verbindung mit der vorgenannten Entwicklung ein weiteres Rationalisierungspotential [2]. Bei der individuellen starren Verbindung von einzelnen Bewehrungsstäben mit dreidimensionaler Ausrichtung lassen sich auch weitere Elemente fest mit der Bewehrungseinheit verbinden. Der individuell erstellte Bewehrungskorb dient als Schablone bzw. als Gerüst für die Integration weiterer Bauteile. Damit eröffnen sich weitere Möglichkeiten zur Vorfertigung von zusammenhängenden Einheiten, die dann innerhalb des üblichen Ablaufs im Fertigteilwerk eingesetzt werden. Z.B. umfasst der Bewehrungskorb für eine Rippenkonstruktion sowohl die Stäbe für die Platte als auch die Bügel für die Rippen. An den Stäben werden dann z.B. die Leitungen zum Heizen/Kühlen fixiert. Eingeschweißte Ankerhülsen an der Bügelbewehrung dienen der Fixierung der selbst tragenden Seitenschalung für die Rippe. Eine zusätzliche seitliche Abstützung der Schalung für die Rippen ist dann nicht mehr erforderlich.

Dreidimensionale Planung mit Anschluss an BIM

Voraussetzungen für die Fertigung von morgen ist und bleibt eine umfassende Planung, sodass die einmal erzeugten Daten jederzeit für die weitere Verarbeitung konsequent ver-



Vorgefertigte Bewehrungseinheit mit fixierten Rohrleitungen für den Einbau in die Schalung im Fertigteilwerk.



Komplett vorgefertigte Bewehrungseinheit für eine Rippendecke (inkl. der Rohrleitungen zum Kühlen/Heizen; dem Vorspannkabel; dem Verankerungsdetail für die Abschalung mit einem vorgefertigtem Blech).

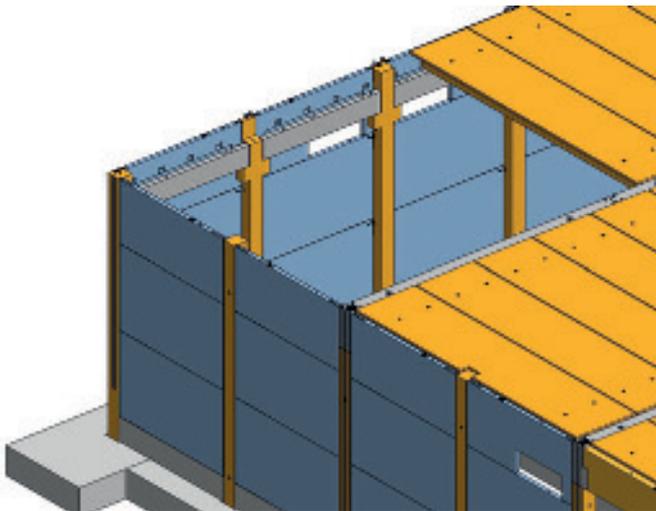


Dreidimensionaler Bewehrungskorb (Korbwand®) wird komplett und ohne weitere manuelle Tätigkeiten von Robotern zusammengesetzt und zug- druckfest verschweißt.



Derzeit konventionell in Handarbeit erstellte Bewehrungskörbe für eine Rippendecke werden zukünftig von Robotern vollständig zusammengesetzt.

wendet werden. Die Planung von räumlichen Konstruktionen hat deutlich gezeigt, dass alle Einbauteile präzise und zudem kontrollierbar nur in einem dreidimensionalen Modell angegeben werden können. Deshalb ist es in der Zukunft so wichtig, die einzelnen Bauteile als dreidimensionales Konstrukt abzubilden. So lassen sich die Verbindungen untereinander übersichtlicher darstellen und das Fügen der einzelnen Bauteile nachvollziehbar überprüfen. Die Bewehrung und die Einbauteile für die volumenartigen Konstruktionen werden eindeutig gesetzt und deren Kollision am dreidimensionalen Modell ausgeschlossen. Diese Vorgehensweise gilt für die ein-

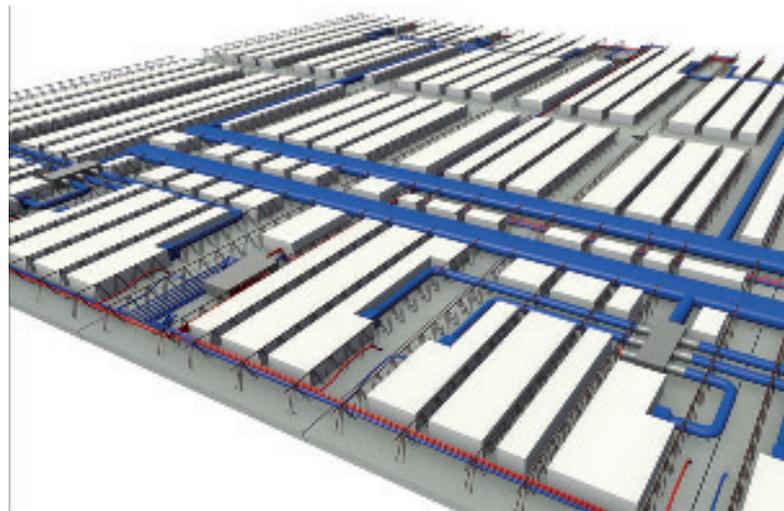


Dreidimensionale Gebäudeplanung mit vorgefertigten Wänden, Stützen, Unterzügen und Deckenelementen inkl. der Verbindungen (BIM-Fähig).

zelnen Bauteile und deren gegenseitige Verbindung, aber noch mehr für die in den Konstruktionen enthaltenen Leitungen und Einbaukästen der Gebäudetechnik. So z.B. werden die einzelnen Leitungen innerhalb der Decke geplant, und die Lage im Raum innerhalb der Decke festgelegt. Die Leitungen werden dann in dieser Phase auf Kollision untereinander aber auch mit anderen z.B. tragenden Elementen geprüft. Wo z.B. müssen Gitterträger aufgeschnitten werden, oder wo müssen Bügel in größerem Abstand angeordnet werden. Die konsequente Konstruktion der einzelnen Elemente in der dreidimensionalen Darstellung erlaubt den konfliktfreien Einbau von allen Einbauteilen. Nur die räumliche Darstellung ermöglicht die Überprüfung der geometrischen Lage auch in Verbindung mit allen übrigen Elementen. Damit wird die Ausführung von multifunktionalen Bauteilen erheblich erleichtert oder überhaupt erst möglich.

Datenfluss und Datendokumentation

Selbst wenn wie angekündigt der Datenfluss zukünftig von einer Bearbeitungsstelle zur nächsten automatisch erfolgt, bedarf es immer noch der Dokumentation der Daten, so dass man jederzeit darauf zugreifen kann. Es geht dabei nicht nur um die Dokumentation der Planung, sondern auch um die Ergänzung während der gesamten Fertigung, bzw. der nachfolgenden Prozesse. Üblicherweise sind diese Informationen auf einem Datenserver abgelegt und über den Zugriff via Soft- und Hardware einsehbar. Änderungen werden mit angeschlossenen und lokal verteilten Computern vorgenommen. Teilweise werden bereits die großen Bildschirme als Planersatz in der Fertigung eingesetzt. Weitergehende Möglichkeiten bietet jedoch das Smartphone, insbesondere unter dem Aspekt einer ständigen Verfügbarkeit bei jedem der bearbeitenden Personen. Während es derzeit noch immer sehr aufwändig ist, die entsprechenden Programme für die Anwendung auf dem Smartphone zu erstellen, bietet eine neue programmierähnliche Umgebung die Option, mit einfachen Mit-



Leitungen der Gebäudetechnik als Strang in den Decken werden dreidimensional geplant und auf Kollision mit den übrigen Bauteilen geprüft (BIM-fähig).

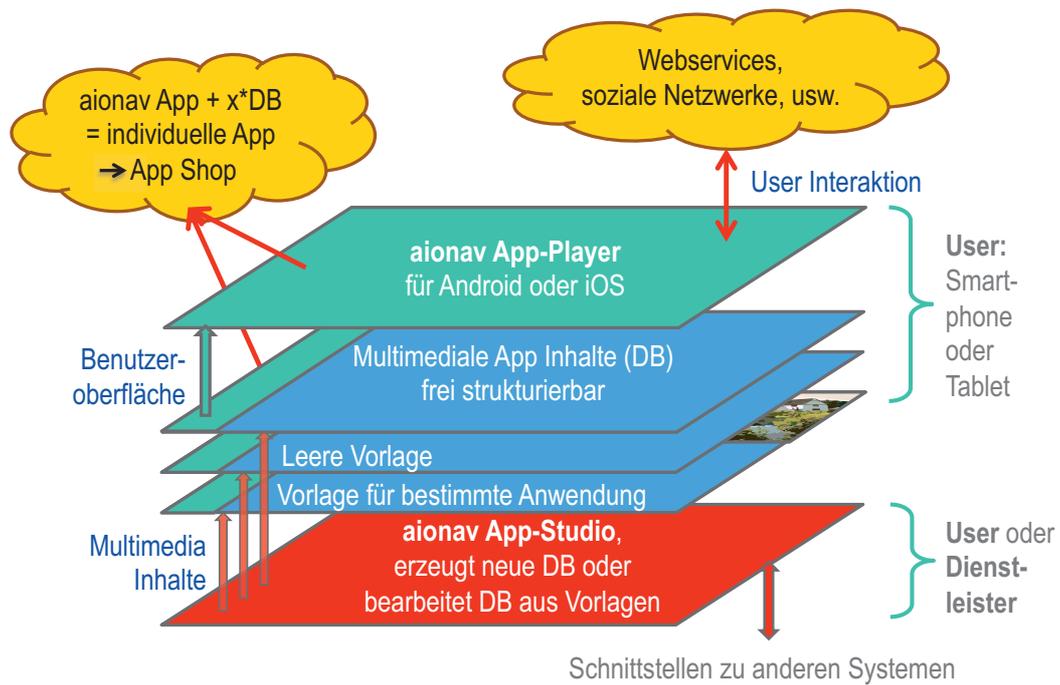
teln das entsprechende Programm (APP) zu erstellen [3]. Daten wie z.B. die Pläne lassen sich speichern, mit und ohne direkten Zugriff über das mobile Netz auf die Datenbank, welcher auf dem Server oder einer Cloud abgelegt ist. So können sämtliche Information und insbesondere die Details für ein Bauvorhaben in einer APP gespeichert werden. Der direkte Zugriff via Smartphone erlaubt vor Ort, die Ausführung zu überprüfen. Ergänzend lassen sich zu dem entsprechenden Stand weitere Informationen hinzufügen. Das kann entweder über Text, Bilder, Video etc. oder über eine Sprachnachricht erfolgen. Die ergänzende Information lässt sich auch direkt einem bestimmten Detail in dem vorhandenen Datenbestand zuordnen.



Endprodukt der vorgefertigte Betondecke: Nutzbar wie eine angehängte Decke mit den verschiedenen Komponenten für die Gebäudetechnik.

Die aionav App-Technologie

AIONAV



Dokumentation und Fortschreibung der Planunterlagen durch digitale Fortschreibung (Wort und Bild) via Smartphone während der Ausführung für die Bestandsunterlagen (System AIONAV®)

Somit wird die vorhandene Information laufend ergänzt und bereits dem jeweiligen Detail zugeordnet. Diese APP dient der Überprüfung der Ausführung, der Dokumentation während der Ausführung und der Vervollständigung der Bestandsunterlagen. Durch die einfache Nutzung dieser Programmierumgebung lassen sich die maßgeschneiderte Anwendungen erstellen und zur Unterstützung von Ausführung und Bestandsunterlagen nutzen. In Verbindung mit der BIM-fähigen Planung steht dann ein einfaches Dokumentationsmittel zur Begleitung der gesamten Baumaßnahme zur Verfügung. Auch hier steht man erst am Anfang und die weiteren Entwicklungen sind derzeit noch nicht vollumfänglich auszumachen.

Speicherfähigkeit von Betonbauteilen als Wärmespeicher

Im Rahmen der Klimawende mit dem Ziel den CO₂-Ausstoß zu verringern geht es zukünftig auch darum, den Wärmebedarf in den Wohngebäuden drastisch zu reduzieren. Dazu gehört auch, die fossilen Brennstoffe durch erneuerbare Energien zu ersetzen. Das wird allerdings nur gelingen, wenn wir neben den dezentralen Stromspeichern auch dezentrale Wärmespeicher zur Verfügung stellen. Da Beton selbst ein guter Wärmespeicher ist, lassen sich die Massivbauteile für eine kurzfristige Speicherung nutzen. Für eine längerfristige Speicherung müssen dann einzelne Bauteile wie z.B. die Boden-

platte isoliert werden, um die Wärme auch über einen längeren Zeitraum einlagern zu können. Es gibt bereits Entwicklungen, die mit schaltbaren Vakuumisolationen [4] gleichzeitig auch die Steuerung für das Be- und Entladen übernehmen. In Verbindung mit den integrierten Rohrleitungen in den Betonbauteilen können Wärmeenergien innerhalb einer Vielzahl von Betonelementen verschoben werden. Das entsprechende Management für die Steuerung der Klimatisierung unterscheidet zwischen den Möglichkeiten zum Ernten, Speichern und Verteilen von Wärmeenergie.

Unabhängig von der direkten Nutzung der Materialien für die Bewirtschaftung der Wärmeenergie muss innerhalb der Konstruktion Platz für die Installation von kleinen dezentralen Speicherelementen geschaffen werden. Diese Speichereinheiten arbeiten vorzugsweise mit Phasen-Wechsel-Materialien, um Energie aus der Umwelt bei hohen Energiewerten einzuspeichern und bei Bedarf für die Klimatisierung der Räume zu nutzen [4]. In Verbindung mit den in den Betonteilen zukünftig noch stärker integrierten Leitungen für die Bauteilaktivierung entstehen Verbindungen mit den übrigen Installationen der Gebäudetechnik.

Fazit

In den dargestellten Einflüssen und Entwicklungen liegt großes Potential, insbesondere um die Bedeutung und die Ver-



Dezentrale Wärmespeicher (Ceiltec®-Container) innerhalb des Deckenhohlraums mit Anschluss an die integrierte Rohrleitung der Bauteilaktivierung und der Lüftung.

breitung der Betonfertigteile weiter zu steigern. Dazu muss man allerdings auch den Blick über die traditionelle Fertigung hinaus auf andere Ereignisse lenken, um die Konstruktionen aus Beton für diese Entwicklungen vorzubereiten. Der Blick über den Tellerrand tut Not und die Vernetzung des Wissens erlaubt neue Anwendungen und damit neue Produkte auch für die Betonfertigteile. Darin liegt auch eine Chance, die Betonfertigteile aufzuwerten und neue Absatzmärkte zu schaffen.

In diesem Übersichtsartikel wurden die einzelnen Möglichkeiten nur kurz angerissen. Deshalb ist geplant, anhand der einzelnen Themen eine detaillierte und umfassende Erläuterung mit weitergehenden Informationen vorzubereiten. Diese Angaben sollen in einer Serie von Publikationen in der BWI dargestellt werden. Der Autor hofft, mit diesen Angaben einen Blick in die Zukunft der Fertigung von Betonfertigteilen zu geben. Diese und die weiteren Betrachtungen basieren auf den Erfahrungen eines Planers, und Anwenders von Betonfertigteilen, der sich insbesondere auch mit den neueren Entwicklungen befasst, und diese versucht in den neueren Produkten aus Beton zu integrieren. Das Planungsteam um den Autor hat bereits vielfältige Erfahrungen in der Anwendung dieser neuen Entwicklungen gesammelt. Die meisten dieser Entwicklungen sind in verschiedenen interdisziplinären Forschungsvorhaben gemeinsam mit der TU in Kaiserslautern (Institut für Massivbau, Stahlbau, Bauphysik) entstanden. Die eingangs erwähnten Punkte für die Veränderungen entstammen diesen jahrelangen Arbeiten und sie sind insbesondere durch die jeweiligen praktischen Anwendungen gekennzeichnet. Diese Serie von Artikeln soll auch zu einem Feedback derjenigen mit der Fertigung von Betonbauteilen involvierten Fachleute animieren. Eine kontroverse Diskussion wäre für alle Beteiligten hilfreich, um mit dem Blick über den Tellerrand zu neuen Anwendungen zu gelangen. ■

Literatur

- [1] Thomas Friedrich: Multifunktionale Betondecken als vorgefertigte Bauteile; BWI BetonWerk International, Heft 2, 2016
- [2] H. Rappersdorfer: Die Korbwand - Revolution in der Erzeugung von Doppelwand-Elementen; BWI BetonWerk International. Heft 6, 2015
- [3] Ulrich Walder: AIONAV Handbuch V4.5 - AIONAV Systems AG; CH-3072 Gümlingen
- [4] Th. Friedrich, J. Kerspe: Utilization of the Heat-Storage capacity of Walls and Ceilings for climatisation of buildings with renewable Energy; IHRES - 10th International Renewable Energy Storage Conference Düsseldorf, März 2016

WEITERE INFORMATIONEN

innovativ
INNgration
integriert

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