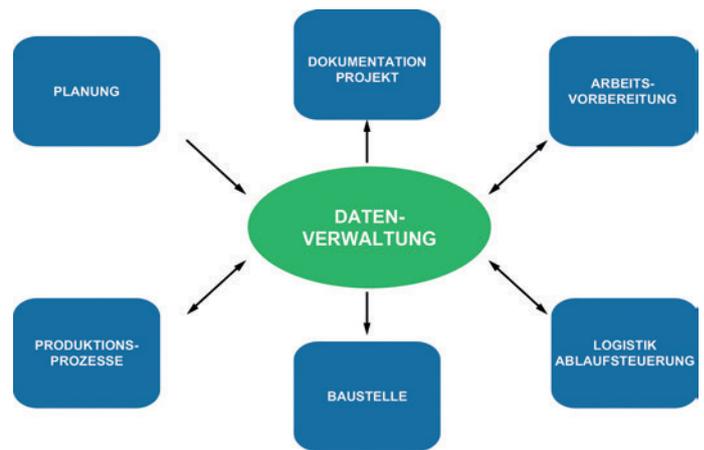


Digitalisierung bei der Herstellung von Betonfertigteilen und deren Montage

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

Die Digitalisierung ist branchenübergreifend ein zentrales Thema, um in der Zukunft die erstellten Daten optimal für jegliche weitere Verwendung zu nutzen. Die Thematik der Digitalisierung geht auch einher mit dem Begriff von Industrie 4.0 und im Bauwesen explizit mit den Möglichkeiten von Building Information Modeling (BIM). Insbesondere in der Planung stößt BIM eine neue Denkweise an, die versucht, den einzelnen Fachgewerken die Möglichkeit eines kompletten Datenaustauschs zu bieten. Diese Vorgehensweise zwingt die einzelnen Fachdisziplinen der Planung notgedrungen, sich untereinander abzustimmen. Während in der Vergangenheit der Baumeister (Architekt + Ingenieur) dank seiner umfassenden Kenntnis alle Bauvorgänge koordinierte, hat die Entwicklung in der jüngeren Vergangenheit zu einer Arbeitsteilung geführt. Viele neue Fachdisziplinen sind entstanden, um das jeweilige Gewerk, aber auch die Koordination untereinander abzudecken. Die Arbeit mit BIM könnte der Versuch sein, die einzelnen Gewerke wieder zusammenzubringen und dank der gemeinsamen Datenbasis eine verbesserte Kommunikation in Gang zu setzen.

Aus der Sicht der Herstellung von Bauteilen und deren Montage braucht es jedoch weitergehende Informationen und Daten. Alle Beteiligten müssen an eine gemeinsame Daten-



Digitalisierung der einzelnen Prozesse in Verbindung mit einer zentralen Datenbank

bank angeschlossen sein, und jeder muss darauf zugreifen können. Innerhalb der Prozesskette werden zu jedem Zeitpunkt Daten aus der Datenbank benötigt, aber auch neue erzeugt. Konsequenterweise müssen die Daten strukturiert abgelegt werden. Die mit der Datenbank verknüpfte digitale Unterstützung des Produktionsprozesses hilft bei der praktischen Umsetzung der geplanten Bauteile und trägt dazu bei, die Fehler auf ein Minimum zu begrenzen. Insbesondere die Prozesse



Schablone für die Herstellung der Heizleitungen in Verbindung mit der Vorbereitung der Bewehrung



Schablone für die Positionierung der Schalungen für die Akustikabsorber



■ 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. Projektengineer 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

bei Umsetzung mit vorgefertigten Betonbauteilen lassen sich idealerweise mit einer digitalen Unterstützung begleiten.

Prozessabläufe digitalisieren

Das Thema der Datenspeicherung und deren Verwendung nimmt jedoch einen viel größeren Stellenwert ein, als derzeit bei den Planern über die Arbeitsweise mit BIM angedacht wird. Das betrifft insbesondere die weiterführenden Prozesse, wenn aus Planungsdaten die zugehörigen Produkte entstehen sollen. Alle Daten von der Planung, der Fertigung und der Montage auf der Baustelle müssen konsequent in einer Datenbank gespeichert werden. Die Daten und die dazugehörigen Hinweise für den Einbau, die Qualitätskontrolle und die Montage müssen jederzeit allen Beteiligten zur Verfügung stehen.

Weitere aktuelle Themen wie der Fachkräftemangel und die Kostenexplosion zwingen das Bauwesen, nach neuen Arbeitsweisen und Produkten zu suchen. Die Digitalisierung

kann unterstützend helfen, diese Probleme teilweise zu lösen. Die Zuversicht in Bezug auf einen positiven Einfluss der Digitalisierung ist insbesondere bei den komplexen Bauteilen gerechtfertigt. So geht der Trend heutzutage zu multifunktionalen Bauteilen, die i. d. R. vollständig im Werk hergestellt werden [1]. Diese Vorgehensweise ist eine vielversprechende Antwort auf den Fachkräftemangel, da der Einbau von Bauteilen bzw. Baugruppen von der Baustelle ins Werk verlagert wird. Die Arbeit im Werk gestaltet sich deutlich angenehmer als auf der Baustelle und ist zudem weniger aufwendig. Diese Arbeitsweise kann durch die digitale Unterstützung noch attraktiver strukturiert werden. Zudem lässt sich die Qualität auf diese Weise erheblich verbessern.

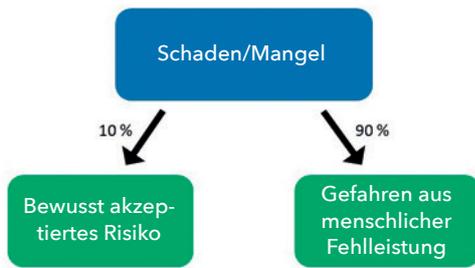
Stand der Rationalisierung im Fertigteilwerk und auf der Baustelle

Da wir derzeit in vielen Betonwerken noch weitgehend von einer automatisierten Fertigung entfernt sind, müssen wir die teilweise manuellen Fertigungsverfahren mit entsprechenden Hilfsmitteln unterstützen. Könnten wir uns auf eine Fertigung mit Robotern abstützen, wäre es einfach, diese mit den Daten aus der Planung zu füttern. In den Fertigteilwerken hat wie z. B. in der Maschinenindustrie eine Teilfertigung mit Robotern die ersten Hürden genommen. So gibt es Schalungsroboter, die die seitlichen Schalelemente gemäß den Vorgaben setzen und auch wieder entfernen. Die Anordnung der Bewehrungsstäbe zu einer Matte werden mittlerweile automatisch verlegt und verschweißt, aber die Bügel müssen manuell ergänzt werden.

Auf der Baustelle sind wir noch viel weiter entfernt von jeglicher Automatisierung. Hier wird überwiegend noch manu-

ELEMENT NR. m+1	PLANUNG	PRODUKTION	BAUSTELLE	DOKUMENTATION BAUHERR
	- GEOMETRIE			
	- MATERIALDATEN			
	- BEWEHRUNG	- PRODUKTIONSREIHENFOLGE		
	- EINBAUTEILE	- TISCHBELEGUNG		
	- CHECKLISTEN	- STAPELUNG		
		- PROTOKOLLE (DICHTIGKEIT)		
		- SPANNPROTOKOLLE		
		- BILDDOKUMENTATION		
	- LAGER: STAPEL		- PROTOKOLLE	
	- FUHRENEINTEILUNG		- ANSCHLUSS HEIZVERTEILER	
		- VERLÄNGERUNG LEITUNGEN	- VOLLSTÄNDIGE DOKUMENTATION VON DER PLANUNG; FERTIGUNG UND AUSFÜHRUNG	
		- PROTOKOLLE		
		- BILDDOKUMENTATION		

Entwicklung der Daten innerhalb der einzelnen Prozesse



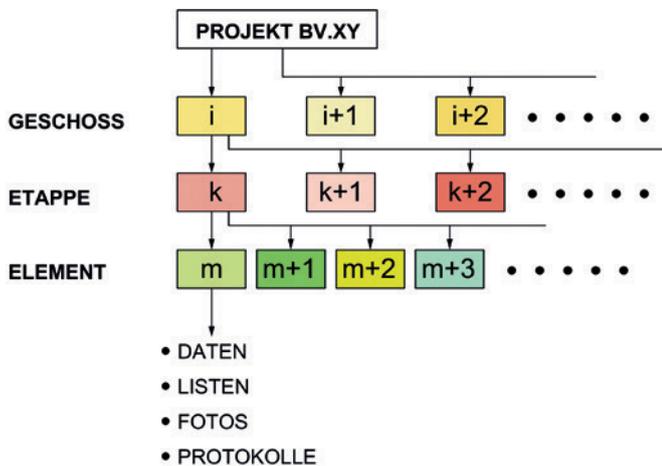
Kategorisierung der möglichen Fehler

elle Arbeit verrichtet. Die Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung bilden fast ausschließlich die Planunterlagen. Pläne sind sehr umständlich in der Handhabung, und oftmals zu groß in ihren Abmessungen, um effizient genutzt zu werden. Zudem sind die Pläne dank der einfachen Erstellung mittels CAD oftmals mit vielen Informationen überladen. Der Fachkräftemangel führt dazu, dass immer weniger qualifiziertes Personal zum Einsatz kommt. Damit einher geht der Umstand, dass immer weniger Personal in der Lage ist, die Pläne korrekt zu lesen, die Inhalte zu verstehen und die Anweisungen entsprechend umzusetzen. Diese Tatsache gibt wenig Anlass, eine perfekte Qualität der Produkte zu erzielen.

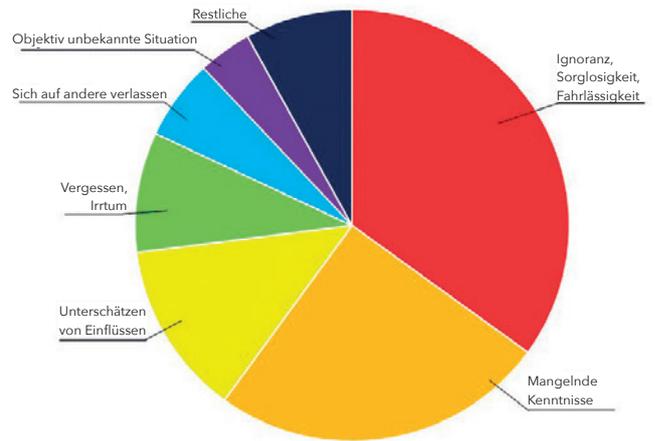
Teilautomatisierung inkl. digitaler Unterstützung

Deshalb bedarf es digitaler Hilfsmittel, um die manuellen Arbeiten zu unterstützen und insbesondere die mit manueller Tätigkeit zwangsläufig verbundene Fehlerquote auf ein Minimum zu reduzieren. Darüber hinaus dienen die in den jeweiligen Fertigungsprozessen erzeugten Daten sowohl der Dokumentation, aber auch dazu, diese in den nachgelagerten Vorgängen zu nutzen.

Die aktuellen Randbedingungen führen zu neuen Bauweisen wie z. B. hybride Konstruktion, aber auch zu sehr anspruchsvollen, vorgefertigten Elementen mit z. B. den vollständig integrierten Komponenten der Haustechnik. Auch hier fehlen noch die Möglichkeiten für den automatisierten



Strukturierung der Daten für ein Gebäude



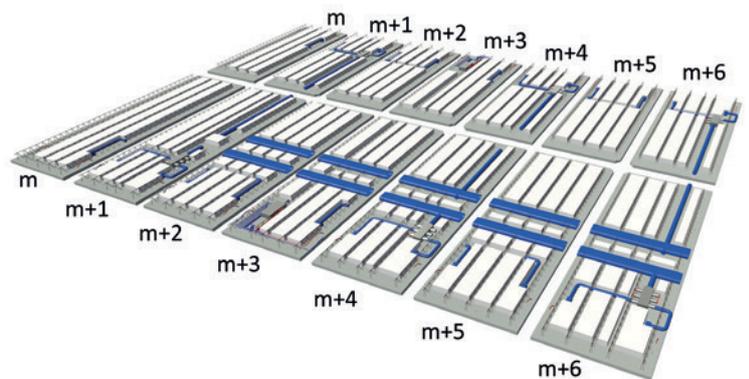
Anteilige Verteilung der Fehler aus menschlichem Verhalten

Einsatz. Ersatzweise kommen hier Hilfsmittel wie einfache, wiederverwendbare Schablonen zum Einsatz. So werden die Heizleitungen für die Bauteilaktivierung über eine Schablone präzise angeordnet und dann an der Bewehrungsmatte befestigt. Die Positionierung von Schalungskörpern für die Akustikabsorber kann ebenfalls über Schablonen vorgenommen werden. Die Arbeit für die immer wieder neu zu positionierende Randabschalungen lässt sich durch flexible Einsätze reduzieren. Eine einmal fixierte Umrandung dient dazu, die flexiblen Einsätze aufzunehmen. Dank der Flexibilität der Einsätze lassen sich die Ränder für die Abschalung verschieben, ohne dass eine neue Positionierung erforderlich wird.

Je anspruchsvoller die Einbauteile werden, umso mehr muss eine über alle Prozesse reichende Digitalisierung die händische Arbeit unterstützen bzw. kontrollieren.

Fehlerminimierung durch digital unterstützte Prozesse

Aufgrund der Erfahrung mit der manuellen Tätigkeit sowohl im Fertigteilwerk als auch auf der Baustelle muss die digitale Unterstützung der Fertigungsprozesse die Fehlerquellen

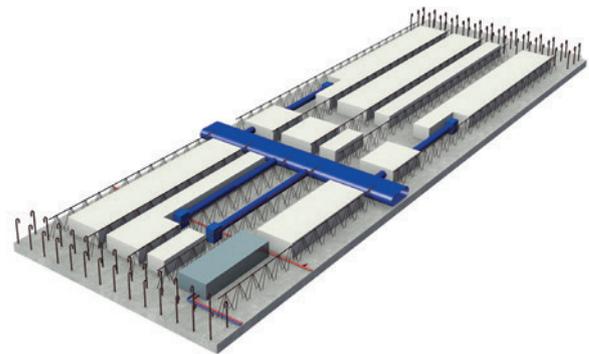


Übersicht einer Etappe mit den verschiedenen Einzelplatten inkl. der Einbauteile für die Komponenten der Haustechnik

minimieren. Fehler führen zu Mängeln an den Bauteilen, die einerseits am Image der Fertigteilbranche nagen, und andererseits kosten- und zeitaufwendig zu beseitigen sind.

Eine Untersuchung von M. Matousek [2] zeigt auf, dass Schäden bei Bauwerken und Bauteilen auf bewusst akzeptierte Risiken oder auf Gefahren aus menschlichen Fehlleistungen zurückzuführen sind. Anhand der prozentualen Verteilung der Art der Fehler im menschlichen Verhalten, erkennt man, wie und mit welchen Mitteln eine digitale Unterstützung mit-helfen kann, diese zu vermeiden.

Auf die digitalen Hilfsmittel müssen die Personen mit manu-eller Tätigkeit jederzeit zugreifen können. Die Daten müssen in grafisch aufbereiteter Darstellung von Plänen, Details und Einbauvorgänge zur Verfügung stehen. Darüber hinaus müs-sen Hinweise für die geregelte Fertigung in Form von Check-listen und Ablaufdiagrammen angeboten werden. Qualitäts-checks und Prüfprotokolle sollten direkt in digitaler Form erstellt werden und mit einem Foto vom erstellten Produkt dokumentiert werden. Bei der Auswahl von Produkten oder Teilen davon (z. B. die Elementplatte) via QR-Code können dann die einzelnen Arbeitsschritte zur Erstellung dieses Pro-dukt Schritt für Schritt angezeigt werden, so dass die Ausfüh-rung der manuellen Tätigkeit auf analoge Weise umgesetzt werden kann.

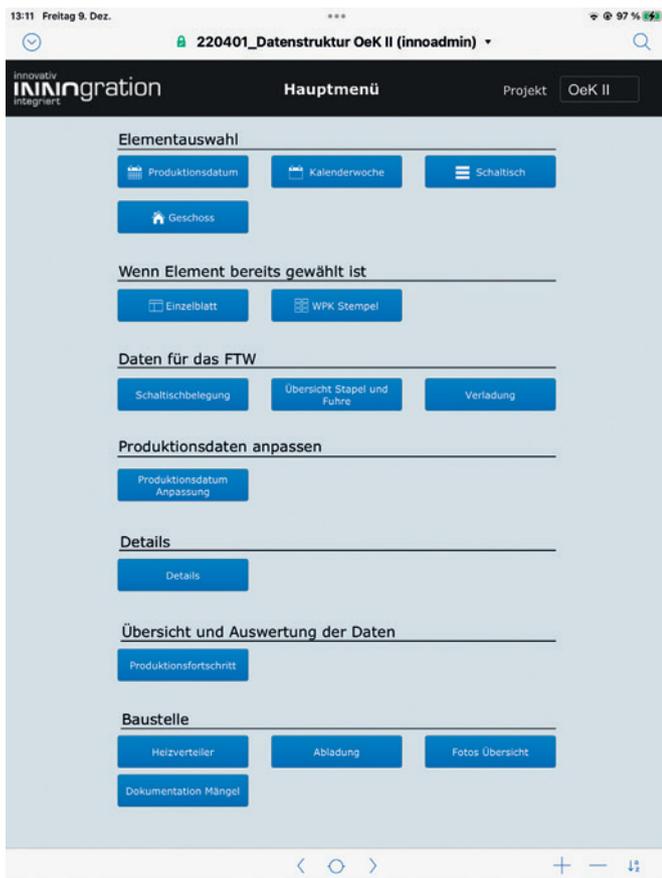


Gitterträger					
Pos.	Anzahl	Bezeichnung/Typ ØUG/Dia/UG	Länge	Ges. L	Gew. (kg)
G1	5	E26 (10/8/8)	740	3700	86,85
Einbauteile					
Pos.	Bezeichnung				Stück
D-1	Dämmung H/L/B = 18cm/250cm/45cm A = 1,125 m ² ; V = 0,2025 m ³				2
D-2	Dämmung H/L/B = 18cm/310cm/45cm A = 1,395 m ² ; V = 0,2511 m ³				1
D-3	Dämmung H/L/B = 18cm/310cm/22,5cm A = 0,698 m ² ; V = 0,126 m ³				1
D-4	Dämmung H/L/B = 18cm/60cm/22,5cm A = 0,135 m ² ; V = 0,024 m ³				4
D-5	Dämmung H/L/B = 18cm/60cm/45cm A = 0,270 m ² ; V = 0,049 m ³				4
D-6	Dämmung H/L/B = 18cm/230cm/45cm A = 1,035 m ² ; V = 0,186 m ³				1
D-7	Dämmung H/L/B = 18cm/130cm/45cm A = 0,585 m ² ; V = 0,105 m ³				1
D-8	Dämmung H/L/B = 18cm/170cm/22,5cm A = 0,383 m ² ; V = 0,069 m ³				1
HL5-1	Heiz und Kühlschlangen D=20mm; U=0,20m; L= 71,20 m; A=15,40 m ²				1
HZ1	Heizungsauslass nach oben mit Schutzrohr				2
HZ2	Einbaukasten für Heizkreisverteiler				1
AK1	Akustikelemt. L=2200mm				12
L1	Lüftungsauslass parallel				4
BU1-1	Bügel 14Ø10/15, l=1,11; 11,60 kg				2
BU2-1	Bügel 14Ø10/15, l=0,93; 10,00 kg				1

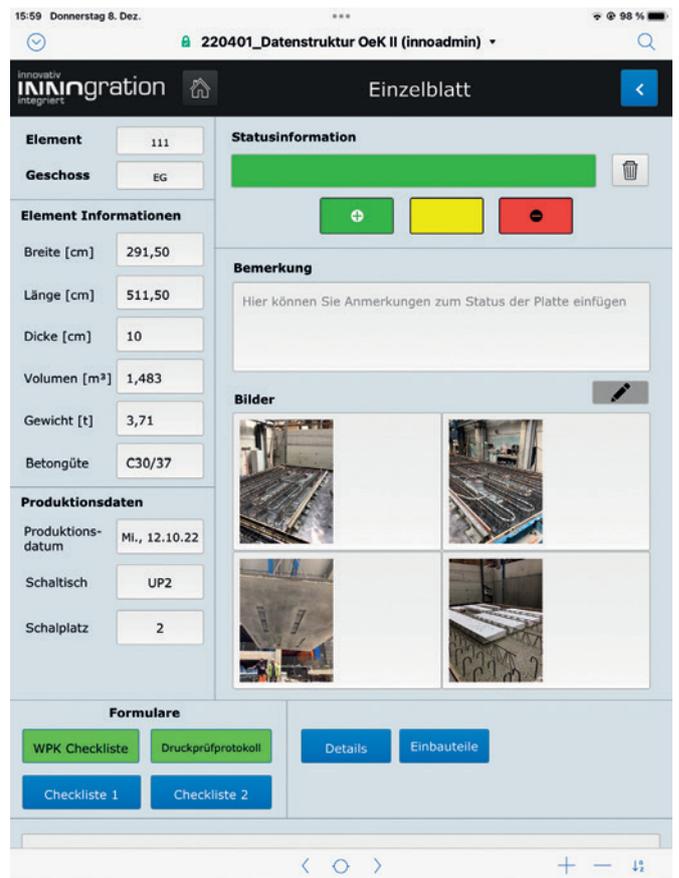
Einzelplatte mit den Daten aus der CAD-Planung

CEILTEC® Deckensystem - Digitale Prozesse





Darstellung vom Hauptmenü mit den digitalen Möglichkeiten



Darstellung vom Einzelblatt mit den maßgeblichen Daten, inklusive der laufenden Bilddokumentation

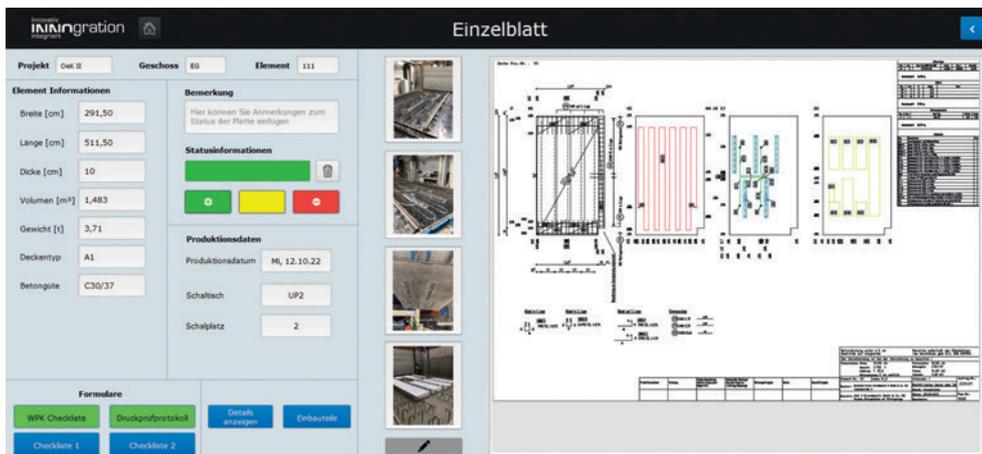
Die derzeitigen Möglichkeiten erlauben die Speicherung aller Daten in einer Datenbank. Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt über eine App, die sowohl auf dem Smartphone, einem Tablet oder am PC benutzt werden kann. Aufgrund der geografisch unterschiedlichen Orte von der Planung, der Fertigung im Werk und der Montage auf der Baustelle ist es zwingend erforderlich, dass der jeweilige Zugriff auf die Datenbank über eine Cloud erfolgen muss.

Im vorliegenden Fall wurde die Programmierumgebung von „Filemaker“ der Firma Claris verwendet. Die Firma Claris wirbt damit „Prozessabläufe zu automatisieren“. Claris bietet eine

Plattform für die Anwendungsentwicklung, um perfekte Apps zu erstellen. Datenbankeinträge lassen sich einfach mit entsprechenden Abhängigkeiten verknüpfen. Die zugehörige Oberfläche für die Bedienung erfolgt nach dem Prinzip des Low-Code. Diese Plattform ermöglicht die Erstellung einer App auch von Fachleuten ohne Programmierkenntnisse.

Daten aus der Planung für die einzelnen Fertigteile

Genau diese Überlegungen hat die Innogration GmbH mit der Implementierung der Prozessvorgänge angestellt. Bei der Datenstruktur hat man sich an dem Aufbau eines Bauob-



Erweitertes Format für das Einzelblatt mit den Zeichnungen für die Produktion



Fotodokumentation einer Einzelplatte mit allen Einbauteilen

jekt es orientiert. Das Objekt besteht aus mehreren Geschossen, die wiederum aus einzelnen Bauabschnitten bestehen. Die Elemente einer Etappe sind festgelegt durch den Elementplan. Jedes einzelne vorgefertigte Plattenelement ist mit seiner Bezeichnung ein Bestandteil der Datenbank. Diesem Element werden nun im Verlauf der einzelnen Prozesse Daten zugeordnet.

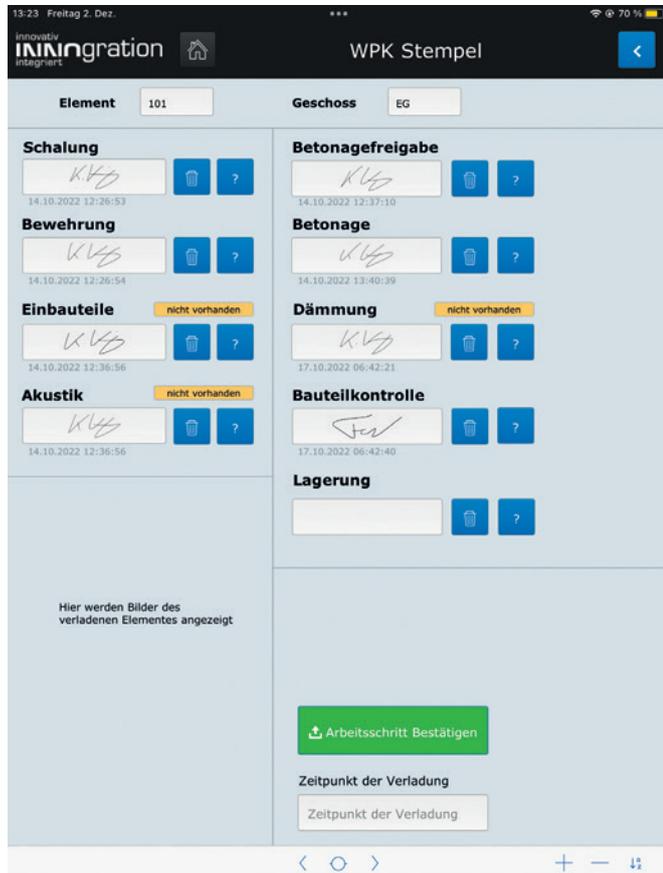
Aus der Planung ergeben sich die Daten für die Geometrie, die Bewehrung und für die Einbauteile (siehe Einzelblatt).

Zur Vorbereitung der Fertigung wird entsprechend der Produktionsreihenfolge das Datum und die zugehörige Fertigungspalette sowie der Platz auf dieser festgelegt. Während der Fertigung stehen alle bisherigen Daten des Einzelblatts via App auf dem Smartphone/Tablet dem Hallenmeister zur Verfügung. Neben den relevanten Daten lassen sich auch die Pläne des Einzelblatts abrufen. Die Details spezieller Punkte bzw. Einbauteile können jederzeit in vergrößertem Maßstab dargestellt werden.

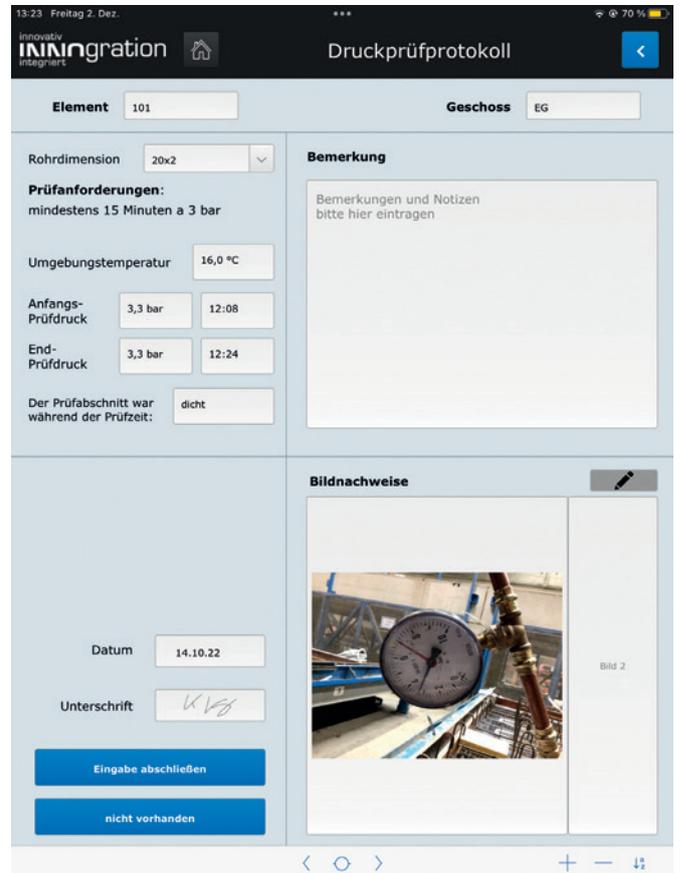
Daten für die Fertigung im Werk und währenddessen

Für den Fertigungsvorgang stehen in der Maske des Einzelblatts mehrere Buttons für eine detaillierte Information zur Auswahl. Bei den dort hinterlegten Formularen stehen Checklisten und Protokolle für einen weiter detaillierten Vorgang zur Verfügung.

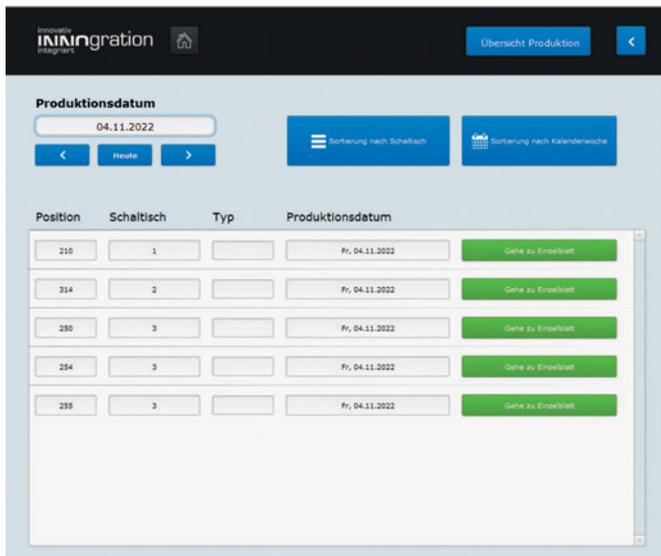
Innerhalb des Fertigungsprozesses im Werk müssen die einzelnen Arbeitsschritte von der jeweiligen ausführenden Person durch einen Eintrag in der Datenbank für den nächsten Vorgang freigegeben werden (Siehe WPK-Stempel). Ergänzend lassen sich die zu prüfenden Punkte über Checklisten abrufen, um mithilfe des digitalen Ablaufs gezielt angeleitet zu werden. Diese Punkte müssen zur weiteren Verarbeitung frei gezeichnet werden. Analog verhält es sich mit den Prüfprotokollen. So werden in einer Maske der App die einzustellenden und einzuhaltenden Werte vorgegeben. Datum und



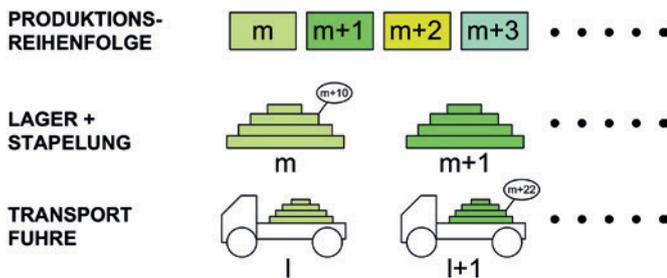
Begleitende Kontrolle der einzelnen Prozessschritte im Fertigteilwerk



Dokumentation Druckprüfprotokoll für eine dichte Heizleitung



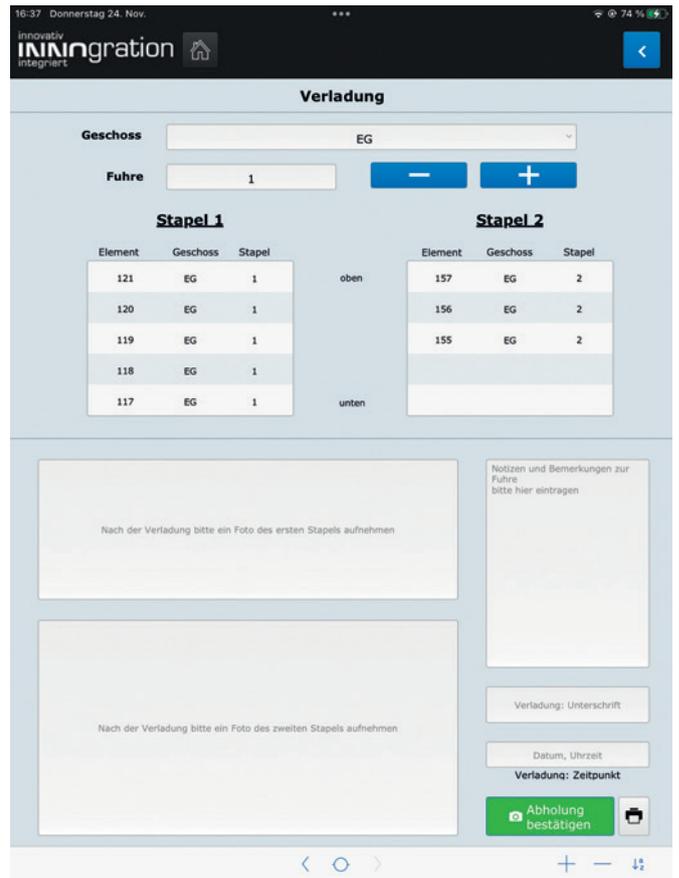
Zuordnung der einzelnen Elemente zum Produktionstermin und dem Schaltisch



Zuordnung Produktionsreihenfolge zum Stapel und der Fuhre

Uhrzeit werden automatisch ergänzt. Ein nach dem erfolgreichen Vorgang anzufertigendes Foto von dem zu erreichenden Sollwert dokumentiert die korrekte Durchführung der jeweiligen Prüfung (siehe Druckprüfprotokoll). Weitere Bilder von der fertig erstellten Deckenplatte werden dem jeweiligen Einzelblatt direkt beigefügt. Während der Produktion werden die Daten für das jeweilige einzelne Elemente ergänzt. Sind alle Checks/Prüfungen erfolgreich verlaufen, kann die Platte für den weiteren Produktionsvorgang freigegeben werden. Analog zu einer Verkehrsampel wird der Status der Platte in den Farben Rot/Grün/gelb markiert. Ist die Platte nicht mit der Farbe „Grün“ markiert, muss nachgearbeitet werden, bevor sie innerhalb des gesamten Fertigungsablaufs weitergeleitet werden kann.

Nach der Erhärtung wird die Platte gemäß der Reihenfolge in einem nummerierten Stapel angeordnet. Die Zuordnung des Stapels zu der jeweiligen Fuhre schließt den Vorgang der Datenübertragung ab. Die Fuhre als weiterer Datenbankeintrag wird mit dem Lieferdatum versehen. Nach der Verladung dokumentiert ein Foto mit automatisch erstelltem Datum und Uhrzeit den Transport und die Qualität der Fertigteile auf dem Stapel mit Verlassen des Werks.



Angaben zum Stapel und der zugehörigen Fuhre

Daten für die Montage und währenddessen

Die Montage erfolgt nach dem Elementplan. Dabei ist die Reihenfolge bereits in der Planung dem jeweiligen Element beigefügt. Das Element lässt sich dann auf der Baustelle eindeutig identifizieren, indem der an dem Element angebrachte QR-Code eingelesen wird. Mithilfe dieser Information lassen sich nun die Aufgaben am Bildschirm auflisten, die innerhalb der Platte und im Anschluss zu den Nachbarplatten ausgeführt werden müssen. Ist z. B. ein Heizverteilerkasten innerhalb einer Platte eingebaut, dann markiert das Programm diejenigen Platten bzw. Heizkreise, die an diesem Verteiler angeschlossen werden müssen. Die Quittierung durch den ausführenden Monteur und ein Bild von dem Verteiler mit allen Anschlussleitungen bestätigt die erfolgreiche Umsetzung der Planvorgaben.

Mit der Vorgabe einer Liste der auszuführenden Punkte wird die Reihenfolge der Aktionen auf der Baustelle vorgegeben. Diese Vorgänge müssen nun bestätigt werden, um schlussendlich die Platte für ihren endgültigen Zustand freizugeben. Eventuelle Mängel werden mittels Fotos und textlichen Ergänzungen dokumentiert. Die Platte ist so lange mit dem Sta-

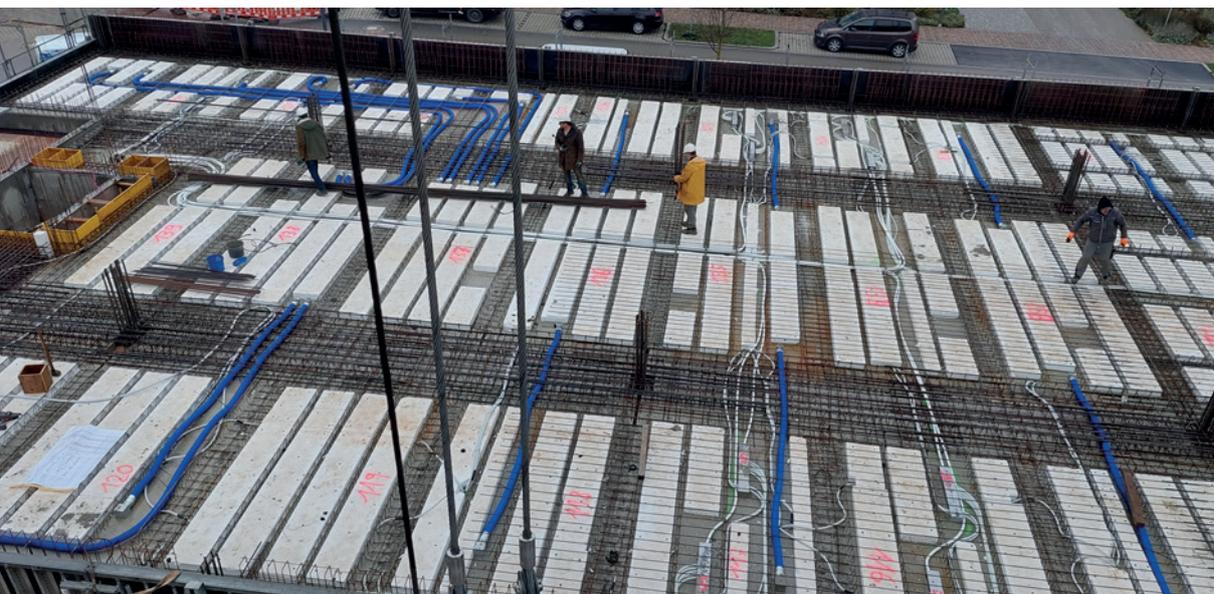


Bild von der Baustelle mit den verlegten Platten und den ergänzenden Leitungen

tus „Mängel“ versehen (mit der Farbe Rot markiert) bis dieser behoben wurde.

Konsistente Verfolgung des Fertigteils von der Planung bis zur Abnahme

Durch die konsequente Dokumentation von der Planung über die Fertigung bis zur Montage ist jeder Vorgang, der zu

dem Fertigteil gehört, festgehalten. Damit lassen sich zu jeder Zeit alle Aktionen in und um das Fertigteil herum nachvollziehen. Eine abschließende Dokumentation über alle durchgeführten Prüfungen zur Übergabe an den Bauherrn erfolgt auf Knopfdruck. Anhand der erstellten Bilddokumentation lässt sich jederzeit nachvollziehen, ob die entsprechenden Einbauteile verbaut wurden. Zudem lässt sich kontrollieren, ob alle Leitungen angeschlossen wurden. So können auch die komplexen Fertigteile erfolgreich umgesetzt werden.



Detailbild vom Heizverteiler Nr. 4 auf der Platte Nr. 116 mit den angeschlossenen Leitungen der einzelne Heizkreise

Ergänzend zu den sonst üblichen Planunterlagen werden mit der hier beschriebenen App Hilfsmittel angeboten, um manuelle Tätigkeiten zu unterstützen und gleichzeitig alle Vorgänge auch zu dokumentieren. Dank der Bereitstellung über Smartphone bzw. Tablet sind alle Informationen direkt an jedem Ort und zu jeder Zeit verfügbar. ■

Literatur

- [1] Th. Friedrich: Extrem kurze Bauzeiten dank vorgefertigter Deckenelemente mit integrierten Haustechnikkomponenten; Beton- und Stahlbetonbau 116 (September 2021) S 79 - 86
- [2] M. Matousek: Schäden bei Bauten und Anlagen: Ursachen und Verbesserungsmaßnahmen, SIA-Heft 26 1998

WEITERE INFORMATIONEN

innovativ
INNgration
integriert

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