

Performance im Betonbau

Paul Ohrwalder / Leopold Winkler

Während in der Planungsphase der Bauprojekte die Digitalisierungsmaßnahmen weitverbreitet sind, bleiben Möglichkeiten im Bereich der Bauausführung meist ungenutzt. Ziel dieses Beitrags ist es, das Potenzial der digitalen Erhebung und Echtzeitdatenauswertung im Hinblick auf den Betonbau aufzuzeigen.

1. Produktivität im Betonbau

Die Produktivität beschreibt die Effizienz, mit der eine bestimmte Arbeit durchgeführt wird. Sie ist global als Verhältnis von Output zu Input definiert. In Bauunternehmen werden nach *Oberndorfer/Jodl*¹ unterschiedliche Produktivitätskennzahlen (wie der Bauproduktionswert je produktive Stunde auf der Baustelle) gebildet. In diesem Beitrag werden die digitale Dokumentation und Berechnung dieser Produktivitätskennzahl für den Stahlbetonbau genauer betrachtet.

Das Produktivitätsniveau der Arbeitsproduktivität beeinflusst maßgebend die Kosten und die Zeit des Rohbaus und ist entscheidend für dessen wirtschaftlichen Erfolg. Über die richtige Wahl und Kombination von Produktionsfaktoren können der Aufwandswert und somit die Produktivität in der Bauausführung beeinflusst werden.

Die Arbeitsproduktivität bezogen auf den Aufwandswert definiert sich nach *Hofstadler*² als Reziprokwert des Aufwandswerts. Bei Stahlbetonarbeiten eines Bauwerks oder Bauteils werden über den Aufwandswert Arbeitsstunden pro verbauten Beton in Kubikmeter angegeben. In der Angebotsphase bildet diese Kennzahl die Grundlage zur Kosten- und Bauzeitberechnung. Die Dauer einzelner Vorgänge in der Arbeitsvorbereitung wird über Nachkalkulationen abgeschlossener Bauprojekte berechnet oder aus der Baubetriebsliteratur³ entnommen. Im Zuge einer Nachkalkulation oder des Baustellencontrollings werden die tatsächlichen Aufwandswerte auf der Baustelle erfasst und im Rahmen eines Soll-Ist-Vergleichs mit den geplanten Aufwandswerten abgeglichen.

In der Bauausführung wird der effizienteste Einsatz der elementaren Produktionsfaktoren angestrebt. Die elementaren Produktionsfaktoren im Betonbau bestehen aus der Arbeitsproduktivität für das Schalen, Bewehren und Betonieren, aus der Materialproduktivität für Betonstahl und Beton, aus der Betriebsmittelproduktivität der Schalung, Rüstung, Betonbeförderungsmittel und Biegenmaschinen sowie aus der dispositiven Produktivität, die durch die Baustellenorganisation beeinflusst wird. Die Produktivität der Arbeiten wird über die Kombination der Produktionsfaktoren maßgebend beeinflusst. Bei Über- oder Unterschreitungen von

Grenzgrößen ist mit Produktivitätsverlusten zu rechnen.

Die optimale Arbeitsgruppengröße bei Schalungsarbeiten von Decken liegt beispielsweise bei fünf Personen. Weicht die effektive Gruppengröße davon ab, sinkt die Produktivität der gesamten Gruppe. Negative und positive Abweichungen beeinflussen außerdem die Produktivität nicht gleich. Eine Verkleinerung von 20 % der Gruppengröße bei Deckenschalarbeit auf vier Personen erhöht den Aufwandswert um zirka 12 %; eine Vergrößerung von 20 % auf sechs Personen erhöht den Aufwandswert um zirka 8 %.⁴ Die Produktivität der Gruppe wird zudem von der Mindestarbeitsfläche und vom Mindestarbeitsraum beeinflusst. Durch das komplexe Zusammenwirken der verschiedenen Faktoren ist die optimale Gruppengröße von der jeweiligen Baustelle abhängig und kann nur schwer ermittelt werden.

Bauobjekte sind individuelle Fertigungen. Bauzeit, Klima und Standort sind nur einige der variierenden Produktionsbedingungen auf der Baustelle. Kenntnisse über das optimale Zusammenspiel von Faktoren wie Teamgröße und Taktgröße sind nicht einfach gegeben, sie müssen vielmehr explizit erhoben werden. Trotz der sich ständig ändernden Produktionsbedingungen gibt es Arbeitsschritte, die sich abhängig vom Bauteil wiederholen. Im Stahlbetonbau besteht die Bauablaufkette aus Einschalen, Bewehren, Betonieren und Ausschalen. Diese sich wiederholenden Prozesse werden zu einem Takt zusammengefasst. Diesen Takt gilt es zu optimieren. Die manuelle Datenerfassung ist durch einen hohen Ressourcenbedarf gekennzeichnet und wird selten, wenn überhaupt, durchgeführt.⁵

Die zunehmende Komplexität der Baustelle, steigende technischen Anforderungen, mangelnde Produktivität und Verschwendung zwingen die Bauindustrie zu einer Umstrukturierung. Altbekannte Planungsmethoden aus der Automobilindustrie (wie die Taktplanung oder *Lean*-Prinzipien) werden zunehmend in das Baugewerbe übernommen. Nach dem Vorbild der Fertigungsindustrie eröffnen automatisch generierte Felddaten neue Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und Wissensanreicherung. Über das BIM-Modell werden alle projektrelevanten Daten eines Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus und darüber hinaus zentral gespeichert.



Paul Ohrwalder

ist Bauingenieurstudent der Technischen Universität Wien und Datenanalyst für Bauunternehmen.



Dipl.-Ing. Dr. techn. Leopold Winkler

ist Universitätsassistent am Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien.

¹ *Oberndorfer/Jodl*, Handwörterbuch der Bauwirtschaft³ (2010).

² *Hofstadler*, Produktivität im Baubetrieb (2014).

³ Oft verwendete Regelwerke für Aufwandswerte sind *Hofstadler*, Produktivität; *Kropik*, Baukalkulation, Kostenrechnung und ÖNORM B 2061 (2020); *Plümecke*, Preisermittlung für Bauarbeiten²⁸ (2017).

⁴ Siehe *Hofstadler*, Produktivität.

⁵ *Hofstadler*, Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht (2019).

Während die Produktivität der stationären Industrie in den letzten 20 Jahren im Durchschnitt um 3,6 % anstieg, schlummern im Bauwesen nach wie vor ungenutzte Möglichkeiten der Produktivitätssteigerung.⁶ Aktuelle Entwicklungen reichen von Vermessungsdrohnen über ferngesteuerte Baugeräte bis hin zu 3D-Druckern, die einen kompletten Rohbau in Rekordzeit errichten können. Neben den digitalen Unterstützungen in der Bauausführung sorgt der Aufbau von Wissensspeichern für mehr Planungssicherheit bei zukünftigen Bauprojekten. Dabei werden reine Daten durch Vernetzung und Erfahrung zu Information und durch den gezielten Anwendungsbezug zu Know-how aggregiert. Der Trend entwickelt sich bis hin in den Bereich der künstlichen Intelligenz, die anhand der gesammelten Daten die wirtschaftlichste Ausführungsvariante für ein beliebiges BIM-Modell berechnet.

2. Datenerhebungsmethode

Im Folgenden wird eine holistische Datenerhebungsmethode anhand eines ausgewählten Bauprojekts eines Hochhauses mit über 30 Regelgeschossen und 35 Stockwerken beschrieben.⁷ Die Dokumentation der Betonierarbeiten wurde mit einem digitalen Hilfsmittel in einem Zeitraum von sieben Monaten durchgeführt. Die generierten Felddaten ergaben sich aus der Software für die Taktplanung, aus den Sensordaten und aus der Zeiterfassungen mittels einer Smartphone-Anwendung. In der Analysesoftware Power BI wurden diese geprüft, ausgewertet und visualisiert. Der in Abbildung 1 dargestellte Sensor wird über einen Magneten am Eisenrahmen der Rahmenschalung befestigt und misst Bewegungen, Beschleunigung, dreiaxsiges Ausrichtung, GPS, Umgebungstemperatur und über das Sensor-Cable die Betontemperatur und

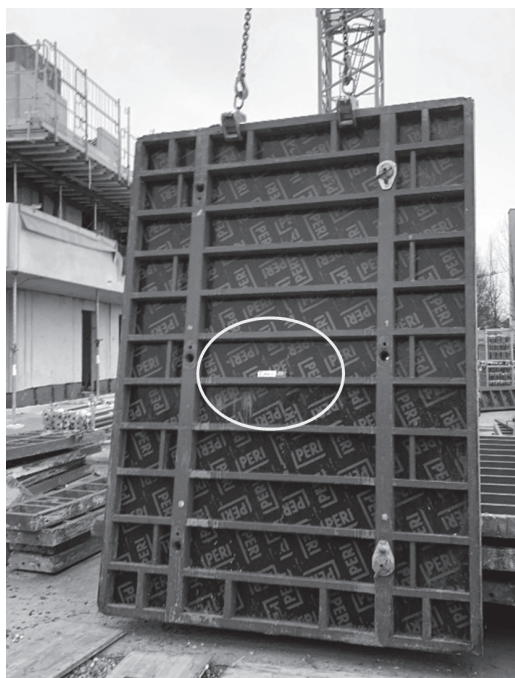


Abbildung 1:
Contact-Sensor auf
einem 2 x 3 m-Rahmen-
schalungselement

den elektrischen Widerstand des Betons. Insbesondere die GPS-Daten und die Lage des Sensors wurde in der späteren Datenauswertung zur Plausibilitätsprüfung herangezogen. Der Sensor identifiziert während der Betonierarbeiten sechs unterschiedliche Positionen für Wand- und Deckenschalung. Daten wie die Umgebungstemperatur werden zyklisch in einem Intervall von 15 Minuten gesendet. Die Lage und Position werden antizyklische bei Auslösen des Beschleunigungssensors gesendet.

Die digitale Taktplanung im Zuge der Tagesplanung ist Voraussetzung, um die Prozesszeiten einem Schalungsabschnitt eindeutig zuzuordnen. Hier werden wichtige Parameter festgelegt, wie beispielsweise welches Team welche Aufgaben bis wann zu erledigen hat. Die Vorgänge innerhalb eines Takts können je nach Anforderungen in Teilvorgänge unterteilt werden. Erfahrungen haben gezeigt, dass ein zu hoher Detaillierungsgrad der Teilvorgänge die Datenqualität mindert. Im aktuellen Beispiel wurden die Takte deshalb in Einschalen, Bewehren, Betonieren und Ausschalen unterteilt. In der Tagesplanung werden zu Arbeitsbeginn die vorgeplanten Takte aus der Vorplanung kontrolliert und angepasst. Durch die Taktplanung am IFC-Modell werden wichtige Informationen zum Bauteil aus dem BIM-Modell in die Software integriert. Die nötigen Arbeitsschritte werden abhängig vom Bauteiltyp vorgegeben und können nach Wunsch angepasst werden. Die Aufgaben für die Herstellung des Takts sind den jeweiligen Baustellenteams zugewiesen. Die zuständigen Teamleiter einer Arbeitspartie erhalten die ihnen zugeteilten Aufgaben in der App auf ihren Smartphones (siehe Abbildung 2).

Die Baustelle wurde mit 50 Schalungssensoren ausgestattet. Diese werden zu Baubeginn mittels Magneten an das mittlere Profil der Rahmenschalung befestigt und verbleiben dort über den gesamten Bauablauf. Für die Befestigung an Aluminium-Rahmenschalungen oder Deckenschalungssystemen gibt es alternativ eine Adapterplatte. Die Verteilung der Sensoren auf der Baustelle erfolgt gleichmäßig. Jeder Schalungsverbund soll mit mindestens einem Sensor ausgestattet sein, sodass möglichst alle Arbeiten an und mit der Schalung von einem Sensor erfasst werden. Komplexe Grundrisse erlaubt oft kein Arbeiten mit Schalungsverbänden; dementsprechend höher ist die Anzahl der benötigten Sensoren. Die Verknüpfung der Sensordaten mit den Daten aus der Smartphone-App erfolgt über Sensor-Pairing. Durch Scannen des QR-Codes am Sensor mit dem Smartphone wird der Sensor dem ausgewählten Takt zugeordnet. Die größte Fehlerquelle liegt bei der Datenerhebung selbst. Die Einschulung des Baustellenteams zusammen mit der gewissenhaften Anwendung von Software und Sensoren ist entscheidend für die Qualität der Rohdaten.

3. Datenverarbeitung

Für die Verarbeitung der gesammelten Daten wird für diesen Beitrag die Business-Intelligence-Software von Microsoft, kurz Power BI, herangezogen. Diese ist eine sich kontinuierlich entwickelnde

⁶ Siehe <https://www.mckinsey.com/de/news/presse/mckinsey-studie-produktivitat-der-baubranche-in-deutschland-stagniert>.

⁷ Diese Methode bildet unter anderem die Grundlage für das Betonmonitoring der Kontakt GmbH.

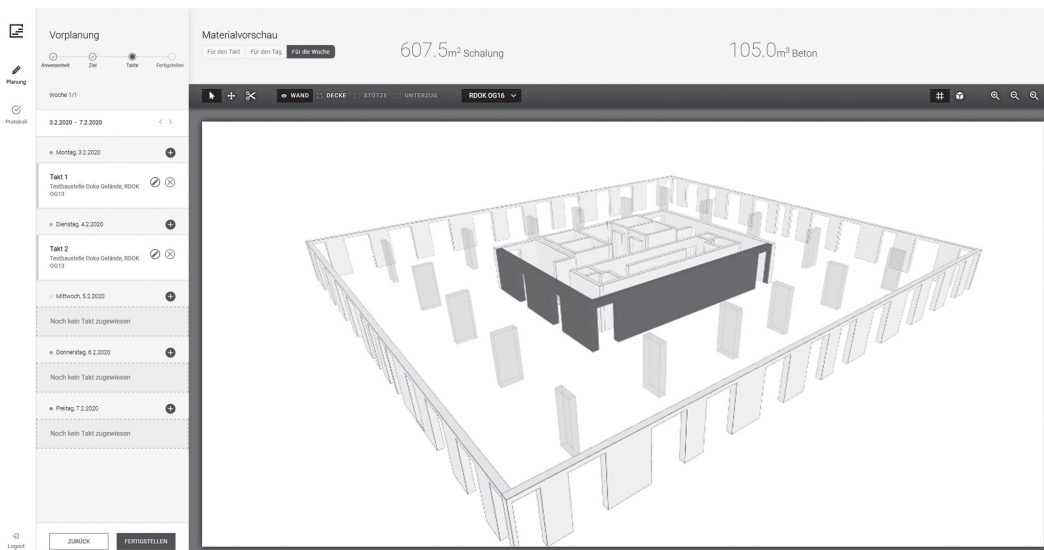


Abbildung 2: Taktplanung am Gebäudemodell

Software, welche Technologien (wie HTML 5.0, Cloud-Computing, mobile Anwendungen) zugänglich macht und eine große Anzahl an Schnittstellen bereitstellt, welche eine Verbindung mit anderen verwendeten Softwaresystemen (wie SharePoint, Blob Storage, Teams, Excel und der Cloud-Computing-Plattform Microsoft Azure) ermöglicht. Der Vorteil gegenüber einem selbst programmierten Dashboard⁸ liegt in der flexiblen Anpassbarkeit. Benutzer können mit vordefinierten Steuerelementen ein individuelles Übersichtsboard zusammensetzen. Im Zentrum der Datenauswertung steht das dreidimensionale Gebäudemodell, welches in Power BI über den Forge Viewer eingebunden werden kann. Die Takte, welche mit der Taktplanungssoftware bei der Tagesplanung erstellt wurden, können über GUID⁹ einem bestimmten Bauteil eindeutig zugeordnet werden. Diese Verknüpfung zwischen Daten- und Gebäudemodell wird direkt in Power BI erstellt und ermöglicht dadurch beispielsweise das Einfärben der Bauteile nach Aufwandswerten oder Bauteilkategorien. Das ergibt eine sehr anschauliche und leicht verständliche Art der Datenvisualisierung.

Die Berichte können in der cloud-basierten Plattform anderen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt oder in unternehmenseigene Websites eingebunden werden. Vor der Visualisierung werden die Daten über eine geeignete Schnittstelle importiert. Die verwendeten Abfragen laufen auf API-Basis,¹⁰ wodurch die Daten im JSON-Format importiert werden. Ist eine solche Abfrage eingerichtet, können die Daten automatisch in einem vorgegebenen Zeitraum aktualisiert werden. Die importierten Daten werden in einem Datenmodell miteinander verknüpft. Das Datenmodell ähnelt einem Sternschema mit der Faktentabelle „tact“ im Zentrum. In dieser zentralen Tabelle wird jeder Takt in einer separaten Zeile gelistet. Aus den

umliegenden Dimensionstabellen werden die Daten auf die Taktebene aggregiert. Die wichtigsten Tabellen des Datenmodells sind in Abbildung 3 dargestellt. Darin ist zu erkennen, dass jeder Takt mehrere Zeilen aus der Tabelle „task“, gekennzeichnet durch die Verknüpfung „one (1) to many (*)“, enthält. Ein Task kann wiederum mehrere Zeitmessungen aus der Tabelle „task_working_time“ enthalten. Jeder der Takte kann nur einer Bauteilkategorie („tact_type“) zugeordnet werden. Die unveränderlichen Projektinformationen (wie Normalarbeitszeiten oder Auftraggeber) sind in der Tabelle „project_information“ gespeichert. In „forge_assets“ sind die GUID für alle Bauteile des Gebäudemodells gelistet. Damit wird das Gebäudemodell in einem Viewer gefiltert.

Die Datenqualität wird bei der Auswertung der Daten ersichtlich. Prozesse für das Einschalen eines Bauteils können beispielsweise nicht nach dem Betoniervorgang erfolgen. Falls die Pausen bekannt sind, können auch diese zur Prüfung der Plausibilität herangezogen werden. Beispielsweise finden die geregelten Pausen auf der behandelten Baustelle von 9:00 Uhr bis 9:30 Uhr und von 12:00 Uhr bis 12:30 Uhr statt. Tätigkeiten, die über die Grenzen der Schichten dokumentiert

Abbildung 3: Ausschnitt aus Datenmodell in Power BI



⁸ Ein Dashboard beschreibt eine Übersicht von relevanten Daten mithilfe dynamischer Visualisierungen.

⁹ Globally Unique Identifiers werden in der BIM-Technologie zur eindeutigen Kennzeichnung von Objekten und Attributen verwendet.

¹⁰ Ein Application Programming Interface (API) ist ein Satz von Befehlen, um mit einem externen System zu interagieren.



Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung des Betonmonitoring-Dashboards

werden, fallen durch die überdurchschnittliche Dauer und die daraus resultierenden hohen Aufwandswerte auf. In der Baupraxis haben die Autoren erkannt, dass zu Baubeginn die Menge an gesammelten Daten hoch, die Qualität der Daten jedoch vergleichsweise niedriger ist. Die Entwicklung auf Basis der gesammelten Daten zeigt einen klaren Trend zu einer erhöhten Datenqualität über die Zeit von 46 % bis zu über 90 % valider Datensätze innerhalb des Erhebungszeitraums von sieben Monaten. Im konzipierten Dashboard werden die Informationen zu Datenqualität und Aufwandswerte visuell aufbereitet. Wichtig für eine kontinuierliche Verbesserung ist die laufende Überprüfung der Datenqualität.

4. Datenanalyse

Die importierten, geprüften und aggregierten Daten bilden die Basis für die visuelle Datenanalyse im Dashboard. Die Berechnung von Kennwerten erfolgt über Spaltenberechnungen oder sogenannten Measures.¹¹ Der Unterschied liegt darin, dass sich Spaltenberechnungen auf eine bestimmte Tabelle beziehen. Mit Measures werden Daten aus Tabellen unterschiedlicher Ebenen im Datenmodell miteinander zu Kennwerten verrechnet. Ist die Berechnungslogik erstellt, folgt die Visualisierung der Daten intuitiv.

Die zentrale Rolle im Dashboard, welches in Abbildung 4 beispielhaft dargestellt wird, spielt das dreidimensionale Gebäudemodell. Durch das Anklicken von Bauteilen im Viewer werden die nebenstehenden Daten nach diesen Bauteilen gefiltert. Durch die Wahl der vordefinierten Filterkategorien Baufortschritt, Massen, Aufwandswerte und Stunden werden die zugehörigen Bauteile im Modell angezeigt. Diese Veranschaulichung der Daten wird durch unterschiedliche Variationen von Einfärbungen unterstützt. Beispielsweise können die Bauteile nach der Höhe ihrer Aufwandswerte in Ampelfarben eingefärbt werden. Ist der Bauteil rot (in Abbildung 4 als dunkelgrau dargestellt) eingefärbt, weist er einen vergleichbar hohen Aufwandswert auf. Die grüne Farbe (in Abbildung 4 als hellgrau dargestellt) hingegen symbolisiert einen Bauteil mit einem vergleichbar geringen Aufwandswert. Dadurch können un-

produktive Abschnitte im Gebäude identifiziert werden. In Kombination mit einer tabellarischen Taktübersicht, welche die Parameter der gefilterten Bauteile untereinander vergleicht, ergibt sich eine gute Möglichkeit zur Optimierung von Regelgeschossen.

Die Aufwandswerte der Bauteile werden über eine dynamische Berechnung in hoch und nieder bewertet. Die Einstufung basiert nicht auf literarischen Grundwerten, sondern wird durch einen Algorithmus¹² bauteilabhängig für das jeweilige Projekt ausgehend vom 25 %- und 75 %-Quantil der gemessenen Werte bestimmt. Dadurch ist sichergestellt, dass nur gleiche Bauteiltypen miteinander verglichen werden.

Weitere Visualisierungsmöglichkeiten sind das Schalungseinsatzdiagramm, in welchem die eingesetzte Schalungsmenge in Quadratmeter über den ausgewählten Zeitraum dargestellt wird, oder ein Gantt-Chart, in dem die geplanten mit den tatsächlich ausgeführten Takten verglichen werden.

5. Geschoßoptimierung

Ein möglicher Mehrwert der Datenanalyse beim Betonbau stellt die kontinuierliche Optimierung eines Regelgeschosses während der Bauausführung dar. Beim beschriebenen Musterprojekt zeigte sich, dass die Arbeiten wesentlich schneller abgewickelt wurden als in der Bauablaufplanung berechnet. In diesem Fall wären Optimierungsversuche normalerweise nicht durchgeführt worden.

Durch die Anwendung der beschriebenen Methodik zeigt sich, dass der gemessene Takt aufwand über die Geschosse weiter zunahm und effektiv kein Einarbeitungseffekt über die Regelgeschosse zu erkennen war.

Die Tatsache, dass der gemessene Baufortschritt in Kubikmeter eingebautem Beton pro Tag während der ersten Regelgeschosse konstant war und der Takt aufwand in Stunden pro Kubikmeter Beton gleichzeitig zunahm, lässt darauf schließen, dass die Anzahl der Bauarbeiter auf der Baustelle erhöht wurde.

Für die Optimierung eines Regelgeschosses wurden in der Auswertung insgesamt 378 abgeschlossene, auf der Baustelle gemessene Takte der ersten 10 Regelgeschosse auf mögliche Gemeinsamkeiten untersucht. Daraus wurden Parameter ermittelt, die Einfluss auf den Aufwand eines Bauteils haben können (wie beispielsweise die Geometrie, die Betonfestigkeitsklasse oder die Betoneinbaumethode). Einbaumethode sowie Betonfestigkeitsklassen variierten nicht im Beobachtungszeitraum. Für die Einteilung der Takte eigneten sich Gemeinsamkeiten in der Taktgeometrie (wie die Parameter Bauteildicke, Betonvolumen, Schalungsfläche, Anzahl der Öffnungen und Anzahl der Ecken). Das Regelgeschoss wurde in 13 unterschiedliche Takttypen und insgesamt 33 Takte eingeteilt.

Ein Takttyp für die Wand beispielsweise beschreibt die Außenwände mit einer Bauteildicke von 40 cm, Betonfestigkeitsklasse C25/30, durch-

¹¹ Ein Measure ist eine zusammenfassende Kalkulation über eine bestimmte Menge von Objekten.

¹² Rechenvorgang nach einem bestimmten, sich wiederholenden Schema.

schnittlich einer Ecke pro Takt, acht Wandöffnungen pro Takt und einem Betonvolumen von 8 m³ pro Takt. Dieser Typ kommt im Regelgeschoß genau sechsmal vor und beinhaltet die umgrenzenden Außenwände.

Bei der Suche nach Referenztaktten wurde das interaktive Gebäudemodell herangezogen. Mithilfe der Einfärbung der Bauteile nach Aufwandswerten konnte nach den schnellsten Taktten des beschriebenen Takttyps gesucht werden. Auch die Einflussparameter (wie Teamgröße und Takttdauer) wurden in gleicher Weise ermittelt. Für die Optimierung wurde nicht der beste Aufwandswert, sondern ein Mittelwert aus den besten fünf Aufwandswerten dieses Typs herangezogen.

Der nächste Schritt war die Planung der optimierten Takte in der Taktplanungssoftware. Die Taktplanung wurde auf Basis der Referenztaktdauer durchgeführt. Es gibt zu jedem optimierten Takt mindestens einen Referenztakt in den darunter liegenden Geschoßen, der identisch geplant wurde. Dieser Punkt ist sehr wichtig, da Takte selten frei gewählt werden können, sondern über Einschränkungen durch Statik, Geräte, Material und Personal vorgegeben sind. Die Daten zu Taktgrößen für Säulen und Decken wurden in der gleichen Herangehensweise ermittelt und geplant. Das Ergebnis waren 33 optimierte Takte für das Regelgeschoß. Die Optimierung diente als Referenzwert für die restlichen 25 Regelgeschoße.

Im Beispiel zeigte sich, dass der Aufwandswert des optimierten Regelgeschoßes 250 % unter dem höchstgemessenen Aufwandswert im Regelgeschoß lag. Eine detaillierte Untersuchung ergab, dass auch im Geschoß mit dem geringsten Aufwandswert nicht alle Takte optimal geplant und ohne Störfaktoren hergestellt werden konnten. Der Referenzwert des optimierten Regelobergeschoßes zeigt, welche Aufwandsminderung für genau dieses Bauprojekt mit den gegebenen Kapazitäten möglich ist. Das Ergebnis liefert einen realistischen Wert, da er auf tatsächlich gemessenen Taktten auf dieser Baustelle beruht. Ein weiterer Mehrwert einer Optimierung besteht darin, die bauteilbezogenen Aufwandswerte für die Planung zukünftiger Projekte heranzuziehen. Bei einem vergleichbaren Bauprojekt kann das Modell genutzt werden, um den Aufwand für die Herstellung gleicher Bauteile abzuschätzen und die Bauverfahrenstechnik anzupassen.

Fazit und Ausblick

Die beschriebene Methodik der Datenerfassung, Auswertung und Visualisierung sowie die darauf basierende Optimierung ermöglichen eine Objektivierung der Performance im Betonbau. Dafür werden eine digitale Taktplanung, ein Schalungssensor und eine Zeittracking-App verwendet. Die echtzeitbasierte Analyse und Visualisierung ermöglichen es dem Baustellenpersonal, zukünftige Arbeiten effizient zu planen und durchzuführen. Neben dem Aufzeigen der Aufwandsentwicklung über die Regelgeschoße und der Berechnung des Optimierungspotenzials ist die Ermittlung von realistischen Kennwerten für zukünftige Bauprojekte gefragt. Im beschriebenen Beispiel wurde das *As-built*-Modell mit den berechneten Kennzahlen der Rohbauarbeiten als Attribute angereichert.

Im Zuge des Pilotprojekts erkannten die Autoren, dass Baustellenpersonal im Umgang mit geeigneten Softwareanwendungen verstärkt unterstützt werden muss, damit repräsentative Daten im Baubetrieb erzeugt werden können. Dies zeigte die Auswertung der Datenqualität. Für eine sinnvolle Dateninterpretation sind zusammenhängende Kenntnisse im Betonbau, in der Digitalisierung und im Bereich der Analytik vorausgesetzt.

Einer der wichtigsten Entwicklungsbereiche im Baubetrieb sind die cyber-physischen Systeme. Das sind Systeme wie Sensoren, die Daten automatisch erzeugen, empfangen und auswerten können. Diese Systeme bilden die Verknüpfung zwischen dem digitalen Abbild und der Realität. Vergleichbar mit einem Navigationssystem, das seinen Nutzern nach jahrelanger Datenerhebung immer exaktere Reisezeiten vorgibt, wird die Prognostizierbarkeit der Bauausführung immer besser. Nicht die punktuelle Zeiterfassung von Prozessdaten, sondern die Erfahrung aus unzähligen automatischen Messungen ermöglicht die genaue Kenntnis von baubetrieblichen Abhängigkeiten durch Process Mining.¹³ Projekterfolge der Zukunft beruhen auf der stetigen Wissensanreicherung über das optimale Zusammenwirken von Produktionsfaktoren aus vergangenen Bauprojekten.

¹³ Van der Aalst, Process Mining (2016).

Veranstaltungstipp der Redaktion

15. Grazer-Darmstädter 2-Tages-Sichtbetonseminar

Datum/Ort: 27. und 28. 1. 2022, Online-Symposium der Technischen Universität Graz.

Themen: Ziel des Seminars ist es, eine vertiefende Auseinandersetzung mit dem Thema „Sichtbeton“ zu erwirken und eine offene Diskussion zwischen Referenten und Teilnehmern herbeizuführen. Hierbei werden insbesondere folgende Themen behandelt: Planung, Anforderungen, Regelwerke, Ausschreibung, Ausführung, Abnahme, Bauvertrag, Betontechnologie, Wechselwirkungen, Sachverständigengutachten und Entwicklungspotenzial.

Informationen: <https://www.tugraz.at/events/sichtbeton/home>