

Untersuchung des Potenzials für KMU zur Unterstützung der Baulieferkette mit Building Information Modeling: eine Fallstudie eines ETO-Fassadenlieferanten

Patrick Dallasega¹, Christoph P. Schimanski², Andrea Revolti¹, Carmen Marcher², Dominik T. Matt^{1,2}

¹Industrial Engineering and Automation, Freie Universität Bozen; ²Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l., Bozen

1. Einführung

Die termingerechte und budgetgerechte Lieferung von Projekten ist in der Baubranche oft eine Herausforderung. Budgetüberschreitungen werden oft erst in der Endphase eines Bauvorhabens erkannt, sobald jedoch die Eingriffsmöglichkeiten begrenzt sind. Dies liegt nach Ansicht der Autoren vor allem daran, dass 1) wichtige Informationen in der Planungsphase nicht ausreichend berücksichtigt werden und 2) Änderungen vor Ort nicht in Echtzeit berücksichtigt werden können. Building Information Modeling (BIM) kann als eine der wichtigsten Technologien zur Digitalisierung der Bauindustrie betrachtet werden (Eastman et al., 2011). BIM birgt großes Potenzial für den Austausch und die Visualisierung von Informationen sowie für die Berücksichtigung von Planungsänderungen im Laufe der Durchführung eines Bauprojekts. Alle Informationen werden zentral im Modell gespeichert, so dass sie transparent und für alle Baubeteiligten zugänglich sind. Laut (Alizadehsalehi/Yitmen, 2016), "kann BIM als leistungsfähige Basis für die Fortschrittskontrolle und die Visualisierung von Diskrepanzen dienen". Tatsächlich birgt BIM aufgrund seiner mächtigen Fähigkeit, das physische Gebäude in eine digitale Umgebung abzubilden, Potenzial für die Visualisierung des Baufortschritts, da es Informationen intuitiver visualisieren und ausdrücken kann (Jeong et al., 2016, Ding et al., 2012). BIM wird bei zukünftigen Bauprojekten Pflicht. Großbritannien hat es bereits für öffentlich finanzierte Projekte übernommen, Europa wird es kurzfristig (z.B. Deutschland) und mittelfristig (z.B. Italien) einführen (Cheng/Lu 2015, Ingenieurkammer Thüringen 2018, Masterplan Bauen 4.0

2018, Il ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2018). Bisher wird BIM jedoch hauptsächlich zur Unterstützung des Bauplanungsprozesses eingesetzt und es wurde viel weniger Aufwand in die Entwicklung von IT-Tools zur Unterstützung des Ausführungsprozesses vor Ort und zur Anbindung an die Planungsphase investiert (Sacks et al. 2010, Jeong et al. 2016). Im Bauprojektmanagement sowie in der quantitativen Kontrolle des Fortschritts besteht ein großes Potenzial für Effizienzsteigerungen. Derzeit werden in vielen Fällen nach der Entwurfsphase wichtige Informationen, die im Gebäudemodell enthalten sind, bei der Ausführung von Bauarbeiten nicht mehr verwendet. Als praktisches Beispiel kann die Gesamtzahl der Bauteile, die bei einem bestimmten Arbeitsgang vor Ort installiert werden müssen, sehr nützlich sein, um die Dauer des Arbeitsgangs zuverlässig abzuschätzen. Im BIM wird der Detaillierungsgrad für den Austausch von Konstruktionsinformationen (Zeichnung) durch spezifische Level of Developments (LODs) formalisiert. Die LOD-Definitionen wurden vom American Institute of Architects (AIA) für das AIA G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form entwickelt und werden vom Construction Specifications Institute (CSI) Uniformat (American Institute of Architects Contract Documents, 2018; Construction Specification Institute, 2018) gehandhabt. In LOD 100 und 200 wird das Modellelement im BIM mit nicht detaillierten Geometrieinformationen dargestellt. In LOD 300 wird das Modellelement innerhalb des Modells grafisch dargestellt und enthält Informationen über Größe, Menge, Form, Lage und Orientierung. LOD 350 stellt das Modellelement innerhalb des Modells hinsichtlich Menge, Größe, Form, Ausrichtung und Schnittstellen zu anderen Gebäudesystemen grafisch dar. In LOD 400 wird das Modellelement mit detaillierten Fertigungs-, Montage- und Installationsinformationen dargestellt. Der höchste Detaillierungsgrad wird in LOD 500 als feldgeprüfte Darstellung des Bauobjekts in Bezug auf Lage, Form, Menge und Orientierung dargestellt. Allerdings fehlt nach Kenntnis der Autoren bisher eine solche Formalisierung für die Ausführungsphase. Im Detail fehlen bisher noch konkrete Vorgaben über den Detaillierungsgrad bei der Definition von Arbeitsgängen vor Ort, die an benötigte Materialien (Objekte im BIM-Modell) gekoppelt werden sollen, sowie die Definition von Bauabschnitten, die eine quantitative Messung des Baufortschritts ermöglichen. So ist in vielen Projekten eine schwache Ausrichtung der Designphase zur Ausführungsphase zu erkennen. Eine weitere Formalisierung zur Ermittlung des Umfangs und der Art der benötigten Informationen wird mit den BIM-Dimensionen von Stufe 3 bis Stufe 7 festgelegt (Eastman et al. 2008). So wird das 3D-BIM-Modell mit spezifischen Informationen wie Zeit (4D), Kosten (5D) und Nachhaltigkeitsdaten wie Energieverbrauch (6D) angereichert, bis zum sogenannten "As-Build-Modell", welches feldgeprüfte Daten (7D) für das Facility Management enthält. Diese Da-

ten werden jedoch hauptsächlich für die Bauvorbereitung verwendet. a) Zur Identifizierung von Kollisionen im 3D-Modell (3D). b) Zur Simulation des Bauablaufs mit besonderem Fokus auf die Logistik (4D). c) Zur Berechnung von Materialmengen in Bezug auf Größe, Flächennutzung und damit Gesamtkosten (5D). d) Zur Durchführung von Energieverbrauchsanalysen (6D). e) Zur Bereitstellung detaillierter Informationen über Bauelemente und deren Standort für Wartungsarbeiten wie Garantiezertifikate und Wartungsanweisungen (7D). Zusammenfassend wird BIM bisher hauptsächlich für den Planungsprozess (vor Baubeginn) sowie für die Dokumentation und weniger für die Steuerung des Ausführungsprozesses eingesetzt. Für den Austausch von Produkt- und Prozessdesigninformationen zwischen verschiedenen BIM-basierten Softwareprodukten wird hauptsächlich das Dateiformat Industry Foundation Classes (IFC) verwendet. Obwohl das Dateiformat den Austausch von bauprozessbezogenen Informationen unterstützt, wie z.B. erledigte Arbeitsgänge für ein bestimmtes Gebäudeobjekt (z.B. eine Tür oder ein Fenster), nutzt kommerziell erhältliche Software sehr oft nur die während der Entwurfsphase benötigten Entitäten im Dateiformat IFC (Braun 2013). Zudem unterstützen die meisten kommerziellen Softwareprodukte bisher auch nicht das sog. Round Tripping, d.h. ein Projekt aus dem proprietären Dateiformat in das IFC-Format zu exportieren und ohne Informationsverlust wieder korrekt zu importieren (Singh et al. 2017).

Der Artikel zeigt das Potenzial von BIM für das Management des Bauprozesses auf welches im Laufe des Forschungsprojekts "COCKPiT (Collaborative Construction Project Management)" untersucht wurde. Cockpit ist ein Forschungsprojekt in dem die Freie Universität Bozen (Fakultät für Naturwissenschaften und Technik und die Fakultät für Informatik) und Fraunhofer Italia Methoden und digitale Werkzeuge zur Bauablaufplanung und -steuerung entwickeln.

Ein besonderes Augenmerk in diesem Beitrag liegt darin, zu erörtern, welche Informationen aus dem BIM-Modell extrahiert werden sollen, um die Planung und Terminierung von Bauarbeiten vor Ort zu unterstützen. Darüber hinaus wird anhand eines Demonstrationsmodells gezeigt, wie die Informationen über den Baufortschritt vor Ort in das BIM-Modell importiert und visualisiert werden können, um einen grafischen Überblick über die aktuelle Leistung des Bauvorhabens zu erhalten. Das vorgeschlagene Konzept wurde bei einem Engineer-to-Order (ETO) Fassadenlieferanten aus Norditalien am Beispiel eines mittelgroßen Bauprojekts in der Schweiz umgesetzt.

2. Stand der Forschung

Bereits in den 60er und 70er Jahren hatte die stationäre Industrie (Automotive, Marine, Luft- und Raumfahrt) die Vorteile erkannt, die sich aus dem Einsatz von computergestützter Planungsinstrumente (CAD) ergeben könnten. Diese bestanden insbesondere in einer schnelleren und effizienteren Projektbearbeitung und Einpflege von Änderungen, sowie in der drastischen Reduzierung von Fehlern und einem zunehmenden Automatisierungsniveau. Die Bauindustrie nutzte die Möglichkeiten der neuen Werkzeuge nicht sofort und begann CAD-Systeme erst mit der zunehmenden Preissenkung von Personal Computern (PC) (in der zweiten Hälfte der 70er Jahre) nur schrittweise einzuführen. Gleichzeitig verblieb die Bearbeitungsweise zudem im Wesentlichen im "2D"-Modus. Anschließend (in den 80er Jahren) wurde es möglich, Parameter und Regeln (zunächst geometrischer Art) mit grafischen Objekten zu verknüpfen, um wesentliche Vorteile für das Management des Gesamtprojekts nutzbar zu machen, was gleichbedeutend mit dem Beginn des BIM-Ansatzes zu verstehen ist. In den letzten 20 Jahren wurden diese ersten BIM-Modelle stark weiterentwickelt sowie vermehrt an Schnittstellen zur Übergabe der Modelle an weitere Planungsbeteiligte gearbeitet. Zu den Weiterentwicklungen gehörten insbesondere die Erweiterungen der Informationsdichte der Modellobjekte durch Zeit-, Kosten- und Prozessinformationen.

2.1. Vorteile der BIM-Methode

Einer der Hauptvorteile von BIM ist ein verbessertes Informationsmanagement gegenüber dem traditionellen Prozess. Ein gut strukturiertes und über die Zeit verwaltetes BIM-Modell ermöglicht die einfache Weitergabe von Daten und präzisen Informationen an das gesamte Projektteam. Laut Redwood et al. (2017) und Lin (2014) stellt BIM keine neue oder einzelne Software, sondern eine neue Form der Informationsverarbeitung und Zusammenarbeit auf Basis informationsangereicherten Gebäudemodellen. BIM-Systeme werden zunehmend in Bauprojekten eingesetzt, um mehr Transparenz und offenen Zugang zu Informationen über das Bauprojekt zu schaffen und die damit verbundene Informationsasymmetrie für das Projektteam zu reduzieren (Forsythe et al. 2015). Wichtige Projektinformationen werden zentral in einem einzigen Modell gespeichert und verwaltet, welches sich im Idealfall in einem gemeinsamen Projektdatenraum befindet. Laut Lin (2014) werden während der Bauphase durch die Abfrage des BIM-Modells als einzige verlässliche Informationsquelle (*single source of truth*) weniger Anfragen nach geänderten Aufträgen, eine höhere Produktivität, eine genauere Kostenschätzung und aussagekräftigere Visualisierungen möglich, was letztlich zu einer höheren Kundenzufriedenheit führt. Der Informationsaustausch gewährleistet eine wesentliche Verbesserung der Kollaboration für alle am Bauprozess beteiligten Akteure (Forsythe

at al. 2015). Die Quantifizierung der beschriebenen BIM-Vorteile ist jedoch nach wie vor nicht unmittelbar zugänglich (Lu et al. 2013) und zum gegenwärtigen Zeitpunkt weiterhin Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Barlis/Sullivan, 2012, Won/Lee 2016). Vorläufige Erkenntnisse in diesem Zusammenhang beschränken sich bislang auf einzelne, nicht generalisierbare Kennwerte wie die BIM-bedingte Reduzierung von Informationsanfragen (*requests for information (RFI)*) und damit einhergehender schlanker Entscheidungsfindungsprozesse im Vergleich zum konventionellen Vorgehen (Barlish/Sullivan 2012). Unbestritten ist jedoch, dass der erhöhte Informationsaustausch durch den BIM-Ansatz insgesamt eine wesentliche Verbesserung der Kollaboration für alle am Bauprozess beteiligten Akteure mit sich bringt und somit zu einer partnerschaftlichen Projektabwicklung beiträgt (Forsythe et al. 2015).

Im Sinne der Fortschrittsüberwachung kann die Integration von Modellen mit Echtzeit-Felddatenerfassungssystemen zudem die Automatisierung im Bauprojektmanagement erhöhen. Darüber hinaus können Aktualisierungen, Analysen und das Erzeugen von Statusberichten regelmäßiger durchgeführt werden (Alizadehsalehi et al. 2016). Das geometrisch dreidimensionale Gebäudedatenmodell fungiert als Datenbank sämtlicher Projektdaten, wodurch wesentliche Dokumente und Information bauteilverknüpft visuell dargestellt werden können. Als daraus resultierender Vorteil kann eine wesentliche Unterstützung für den Entscheidungsfindungsprozess im Projekt genannt werden (Lin 2014, Redwood et al. 2017).

2.2. Gegenwärtige Unzulänglichkeiten der BIM-Methode:

Die korrekte Erstellung und Verwaltung eines BIM-Modells stellt viele kritische Punkte dar, welche, wenn sie nicht angemessen behandelt werden, den Nutzen des Ansatzes einschränken. Tatsächlich erfordert das BIM-Modellmanagement ein hohes Maß an Fachwissen, um die große Datenmenge und den hohen Detaillierungsgrad zu kontrollieren, die in einem BIM-Modell enthalten sein können. Außerdem können verschiedene LOD-Stände der einzelnen Fachplaner zu Problemen der Datenkonsistenz bei der Modellübergabe führen (Mikyong Kim et al 2017). Die Bildung von Fachwissen (und / oder deren Aktualisierung) ist für Unternehmen mit hohen Kosten verbunden (Lin 2014) und bei sehr komplexen Gebäudemodellen ist es auch eine primäre Anforderung, das Projektteam mit leistungsfähiger Hardware auszustatten. Laut Forsythe et al. (2015), wirken sich die Kosten für Schulung und Hardware insbesondere bei kleineren und mittleren Unternehmen aus, die oft nicht in der Lage sind, diese hohen Kosten zu bewältigen.

Ein weiteres Manko, das von Forsythe et al. (2015), hervorgehoben wurde, ist die nicht automatische Aufzeichnung von Änderungen in Echtzeit, die zu verpassten

Benachrichtigungen für die Projektgruppe führen kann. Tatsächlich gibt es keine automatischen Benachrichtigungen oder Hinweise auf die neuesten Änderungen oder Upgrades des Modells. Das Projektteam kann Änderungen, die von der letzten Person, die zuvor am Modell gearbeitet hat, nicht sofort erkennen.

Schließlich geben Kim et al. (2017) an, dass die BIM-Methode primär für die Planungsphase eines Bauvorhabens entwickelt wurde. Um ebenfalls eine effektive Nutzbarmachung zu ermöglichen und semantische Funktionalitäten für sekundäre Baustellenaktivitäten wie Lieferantenmanagement, Mängelmanagement etc. zu schaffen ist es derzeit noch erforderlich spezifische Plug-Ins oder Zusatzsoftware für die kommerziellen BIM-Modellierungssysteme zu entwickeln. Diese derzeitige Nicht-Berücksichtigung der Ausführungsphase ist vor allem darauf zurückzuführen, dass BIM-Modelle bauteilbasiert und nicht prozessbasiert erstellt werden, wodurch die modellinterne Eingabe von Bauausführungsrandbedingungen und zeitlichen Abhängigkeiten erschwert wird.

Außerdem wird eine Geolokalisierung des BIM-Modells mittels geographischen Koordinaten, die für das Flächenmanagement sehr nützlich wäre, durch die fehlende einfache Anbindung an GIS-Software erschwert (Bansal 2015).

Auch wenn es heute - insbesondere bei komplexeren Projekten - keine Ausnahme mehr ist, dass BIM-Modelle auch für 4D-Bauprozesssimulationen verwendet werden, ist der effektive Einsatz einer solchen Anwendung im täglichen Bauprozessmanagement nicht unbedingt gewährleistet. Dies liegt meist daran, dass der Ersteller des BIM-Modells üblicherweise nicht die gleiche Perspektive wie der spätere Terminplaner einnimmt. Um diesen Mangel zu beheben, müssten die BIM-Objekte nach den Anforderungen der Terminplanung aufgegliedert werden, was derzeit noch nicht vollständig automatisiert möglich ist, so dass ein großer manueller Aufwand verbleibt, um BIM-Modelle unmittelbar für die Ausführungsphase nutzbar zu machen (Tulke/Hanff 2007).

3. Beschreibung der Methode/Ansatz

Der Ansatz für die effektive Anwendung von BIM im Bauprozessmanagement ist in Abbildung 1 dargestellt. Grundsätzlich sind zwei Informationsflüsse dargestellt.

1) *Quantity*: aus dem BIM - Modell werden wichtige Informationen wie z.B. die zu verbauende Menge (in Stück, Kubikmeter, Laufmeter, usw.) extrahiert und für die Planung zur Verfügung gestellt. 2) *Progress*: die Information über den Baufortschritt wird im BIM - Modell importiert und farbig bzw. intuitiv visualisiert bzw. allen beteiligten Akteuren zur Verfügung gestellt.

Die Autoren und auch die einschlägige Literatur haben die Integration mit Methoden des "Lean Construction Management" (LCM) als Ausgangspunkt für die mögliche Nutzung eines BIM-Modells in der Bauausführung identifiziert (Kröger 2018, Sacks et al. 2010). Der in Dallasega et al. (2015) beschriebene "Pitching"-Ansatz und seine Anwendung in der Bauindustrie werden in diesem Zusammenhang als LCM-Methodik verwendet, da sich diese im Kontext von lokalen KMUs bereits als zielführend erwiesen hat (Dallasega et al. 2016, Dallasega et al. 2018).

Dieser im Fassadenbau erfolgreich validierte Ansatz (Dallasega et al. 2016, Dallasega et al. 2018) wird derzeit im Forschungsprojekt "COCKPiT" - Collaborative Construction Process Management - unter Beteiligung norditalienischer KMU aus verschiedenen Baubereichen für eine integrierte Baustellenanwendung weiterentwickelt.

Ziel von COCKPiT ist es, eine geeignete Methodik zu definieren und darauf basierende IT-Tools zur Unterstützung des kollaborativen Prozessmanagements in der Bauausführung zu entwickeln. Das zu entwickelnde IT-System besteht aus den Modulen i) der kollaborativen Prozessmodellierung, ii) einer rollierenden kurzfristigen Arbeitsplanung auf Basis des Prozessmodells und iii) einer Fortschrittsüberwachung in Echtzeit inklusive Feedbackschleifen zur iterativen Optimierung der Vorgängermodule.

Das Modellierungs-Tool soll die kollaborativen Prozessplanungsworkshops unterstützen, in denen (a) die Einbauorte, (b) die dazugehörigen Arbeitsgänge, (c) deren Abhängigkeiten, (d) die benötigten Arbeitskräfte und (e) die sog. *Pitches* definiert werden.

Der Einbauort (EO)-spezifische *Pitch* für einen bestimmten Arbeitsgang steht zu dem in Abhängigkeit zur Einbaumenge, den dafür erforderlichen Arbeitskräften und ist für ein bestimmtes Zeitintervall definiert als:

$$Pitch_{EO_i,Arbeitsgang_j,Arbeitskräfte_k} = \frac{Einbaumenge_{ij}}{Zeitintervall} \quad (1)$$

Das Planungs-Tool soll das Konzept der rollierenden kurzfristigen Arbeitsplanung unterstützen, bei der die jeweiligen Arbeitsgänge entsprechend den Pitches für ein kurzfristiges Vorschauenfenster (z.B. in der Einheit von Wochen) und auf Basis des bisher erreichten Fortschritts eingeplant werden können.

Das Monitoring-Tool hingegen soll die Baufortschrittmessung in Echtzeit unterstützen, was in der Baubranche durch eine tagesscharfe Messung realisiert werden kann (Dallasega et al. 2018).

Der mögliche Workflow für den BIM-gekoppelten COCKPiT-Ansatz ist in Abbildung 1 dargestellt.

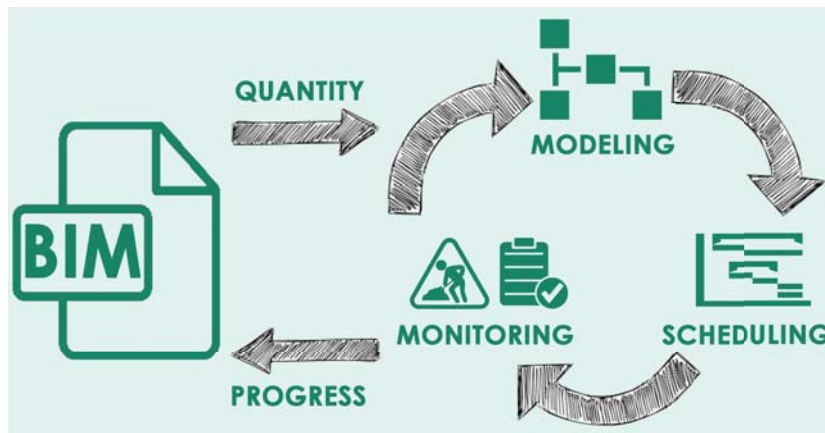


Abbildung 1: BIM Anwendung für das Bauprojektmanagement.

Bei Annahme, dass stets alle einzubauenden Mengen differenziert nach Einbauorten und in Abhängigkeit der jeweiligen Arbeitsgänge bekannt sind, ermöglicht der beschriebene COCKPiT-Ansatz in der Theorie zu jeder Zeit eine exakte Kontrolle des Baufortschritts, ausgedrückt in verbauten Mengen und verbrauchten Mannstunden.

Der Nachteil und zugleich eine der grundlegenden Einschränkungen des COCKPiT-Ansatzes ist jedoch, dass diese Annahme in der Praxis nicht immer für jeden Einbauort, welche gemäß einer sog. *Location Breakdown Structure* (LBS) im COCKPiT-Ansatz definiert werden, erfüllt ist. Grundsätzlich werden die einzubauenden Mengen bei Bauprojekten in sogenannten Leistungsverzeichnissen angegeben. Tatsächlich handelt es sich hierbei um Gesamtmengen bezogen auf einzelne Leistungspositionen und spiegeln in der Regel nicht die Struktur der LBS, und damit nicht die Detailplanung einzelner Arbeitsgänge, wider, so dass keine Verknüpfung zwischen den ortsspezifischen Arbeitsgängen und den dazugehörigen Mengen möglich ist. Informationen, die in einem Leistungsverzeichnis zu finden sind - wie zum Beispiel, dass insgesamt 7.000 m³ Beton eingebaut werden müssen - bieten nur die Möglichkeit einer allgemeinen Kosten- und Aufwandskontrolle, geben aber keine tieferen Erkenntnisse für die tägliche Baustellensteuerung. Eine

Möglichkeit, diese Unzulänglichkeit zu umgehen, bestünde in der manuellen Ermittlung der benötigten Mengen für einzelne Einbauorte aus Raumbüchern oder Plänen. Dies bedeutete jedoch einen erheblichen Aufwand im Rahmen der Arbeitsvorbereitung, einer Projektphase, die in der Regel so kurz wie möglich gehalten werden soll, da diese aus Bauherrensicht nicht als unmittelbar wertschöpfend zu betrachten ist. Dies gilt insbesondere im Kontext kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU): Diese sind folgerichtig üblicherweise in Projekten kleiner und mittlerer Größe involviert, in welchen kurze Projektdauern meist keine umfangreichen Maßnahmen zur Arbeitsvorbereitung rechtfertigen.

Eine praktische und intuitiv denkbare Lösung dieser Limitierung - und damit der bis dato fehlende Teil für eine zielführende Anwendung des COCKPiT-Ansatzes - wäre daher eine Kopplung an die BIM-Methode. Dies würde zu dem bedeuten, dass die wertvollen Informationen aus der Planungsphase nicht - wie bereits weiter oben in diesem Beitrag beschrieben - wie üblich mit Beginn der Ausführung verloren gehen, sondern für den Einsatz auf der Baustelle planmäßig zur Verfügung gestellt werden. Diese Sichtweise auf BIM als Katalysator für eine verbesserte Prozesseffizienz während der Bauausführung wurde von den am COCKPiT-Forschungsprojekt beteiligten Industriepartnern¹ durchgängig und insbesondere im Hinblick auf die automatisierte Mengenermittlung bestätigt: Durch die Möglichkeiten von BIM zur einbauortsspezifischen Mengenermittlung gemäß einer zuvor definierten LBS stehen alle Einzelmengen für die Detailmodellierung der Ausführungsprozesse unmittelbar zur Verfügung. Darüber hinaus ermöglicht das *Pitching*-Konzept durch die Integration beider Ansätze eine automatische Berechnung von Vorgangsdauern und des zugehörigen Arbeitsaufwandes für jeden einzelnen Arbeitsgang.

Des Weiteren wäre es zweifelsohne erstrebenswert, das BIM-Modell nicht nur als initiale Datenquelle für die Einrichtung eines Baustellenmanagementsystems zu nutzen, sondern auch den Fortschritt der Baustelle selbst im Model zu visualisieren. Dies bedeutete - mit anderen Worten ausgedrückt - zu jedem Zeitpunkt der Bauphase ein sog. *As-Built*-Modell erzeugen zu können. Wie oben beschrieben, bietet der COCKPiT-Ansatz im Monitoring-Modul die Möglichkeit, den Baufortschritt nahezu in Echtzeit zu erfassen. Im Detail kann der Baufortschritt für jeden Arbeitsgang und dem zugehörigen Einbauort gemäß LBS bestimmt werden. Um diesen Fortschritt innerhalb des BIM-Modells sichtbar zu machen, ist eine Verknüpfung der einzelnen Arbeitsgänge mit den entsprechenden BIM-Objekten auf

¹ Hierbei handelt es sich um norditalienische KMU, die verschiedene Gewerke der Bauindustrie repräsentieren

Datenverarbeitungsebene erforderlich. Dabei ist es wichtig zu wissen, dass einzelne BIM-Objekte mehrere Arbeitsgänge umfassen können, da die physischen Bauteile auf der Baustelle oftmals mehrere verschiedene Installationsschritte erfordern können².

Für diese Verknüpfung bietet die eingangs bereits eingeführte Ifc-Datenstruktur als Austauschsprache für BIM-Objekte standardmäßig Beschreibungsmöglichkeiten auf DV-Ebene an: Auf dieser stellt jedes modellierte BIM-Objekt ein sogenanntes *IfcObject* dar, welches eine Superklasse für sämtliche dieses Objekt betreffende Informationen darstellt. Diese Informationen werden in Instanzen sogenannter Unterklassen gespeichert. Für Informationen, die die Bauausführung betreffen sind insbesondere die Unterklassen *IfcProcess* und *IfcTask* von Bedeutung (Borrmann et al. 2015). Das Prinzip von Super- und Unterklassen ist auch in Abbildung 3 ersichtlich.

Dank der prozessrelevanten Unterklassen können den Objekten der Gebäudestruktur innerhalb eines BIM-Modells Vorgangsdauern zugeordnet werden (Braun 2013). Seit der Einführung von Ifc Version 4 ist es sogar möglich, diesen Objekten explizite Start- und Enddaten zuzuordnen. Abbildung 2 zeigt diese hinzugekommene Funktionalität: *IfcTask*-Objekten können die neu eingeführten *IfcTaskTime*-Objekte direkt zugeordnet werden, welche Eigenschaften wie *ScheduleStart* und *ScheduleFinish* aufweisen. Darüber hinaus verdeutlicht das Instanzierungsdiagramm die Möglichkeit zur Gliederung von Arbeitsgängen, wie sie beispielsweise bei der Modellierung von Stahlbetonbauteilen notwendig ist (Relation von *1st* und *2nd level tasks*).

² Beispielsweise erfordern Stahlbetonbauteile neben dem eigentlichen Betoniervorgang u.a. auch das Errichten einer Schalung und das Einlegen der Bewehrung

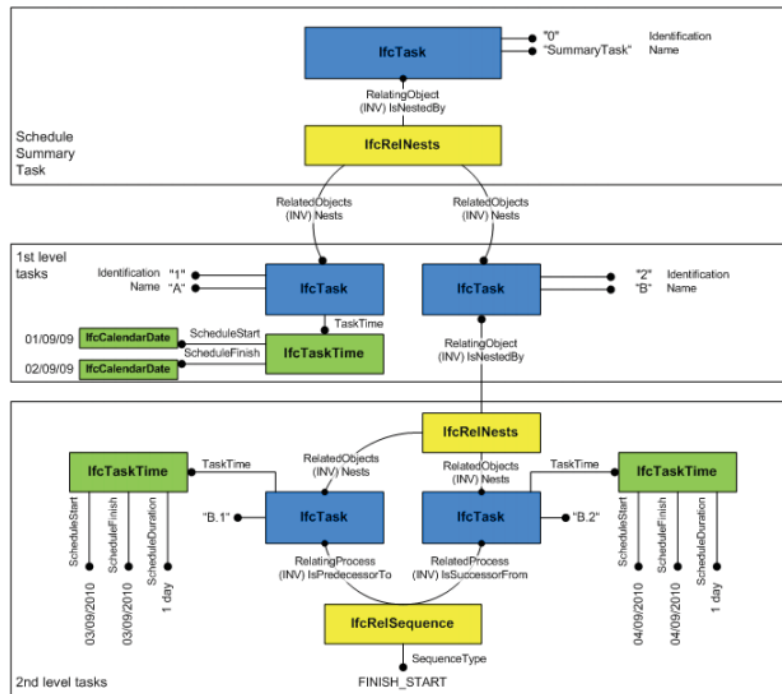


Abbildung 2: ifcTask Instanzierungsdiagramm (buildingSMART 2018).

Grundsätzlich würde diese Datenstruktur es also ermöglichen, den Fortschrittsstatus verschiedener Arbeitsgänge zeitabhängig mit den zugehörigen BIM-Objekten zu verknüpfen. Diese bereitgestellten Informationen könnten dann u.a. zur Visualisierung des Baufortschritts verwendet werden, indem nur Objekte mit bestimmten Attributen selektioniert werden.

Ein vollständiges Zuweisen und Aufrufen aller existierenden Ifc-Informationen innerhalb einer Modellierungsumgebung wird zurzeit jedoch von den meistgenutzten Modellierungstools auf dem Markt nicht unterstützt. Obwohl diese Modellierungstools in der Regel die Möglichkeit bieten, einzelnen Objekten, z.B. Fenstern oder Wandabschnitten Materialeigenschaften zuzuweisen (ausgedrückt durch die Ifc-Klasse *IfcMaterial*), ist der Zugriff auf andere Klassen wie z.B. die zuvor angesprochenen Prozessparameter (*IfcProcess* und *IfcTask*) oft programmintern nicht möglich. Abbildung 3 verdeutlicht diesen Zusammenhang in vereinfachter Dar-

stellung nochmals: Materialbetreffende Informationen können an den grün dargestellten Speicherplatz abgespeichert werden (*IfcMaterial*), während die blau dargestellten Speicherplätze programmintern nicht angesprochen werden können, obwohl diese datenstrukturell vorgesehen sind (*IfcProcess* und *IfcTask*). Die gelb dargestellten Felder beschreiben lediglich die Relationen der einzelnen Bauteilparameter.

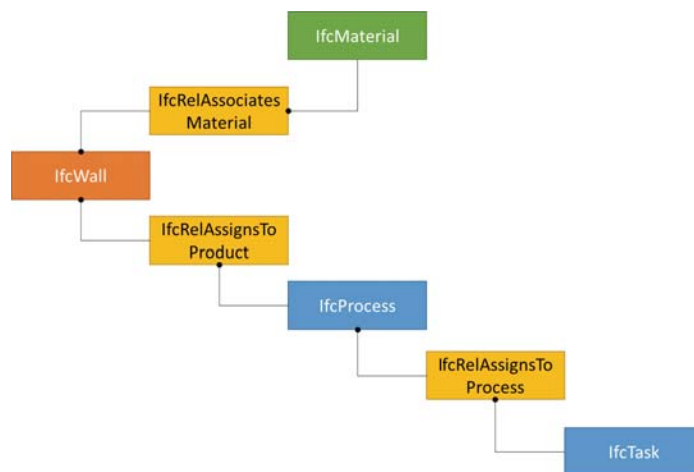


Abbildung 3: Prinzipiell mögliche Objekt-Relationen in der IFC Datenstruktur.

Als weitere anschauliche Erklärung kann man sich in diesem Zusammenhang des Bildes eines Schrankes mit vielen abschließbaren Schubladen bedienen: Jede Schublade ist zur Lagerung spezifischer Gegenstände vorgesehen. Allerdings fehlt für einige dieser Schubladen der Schlüssel zu deren Öffnung, sodass weder neue Gegenstände des jeweiligen Typs hinein, noch bereits vorhandene Gegenstände herausgeholt werden können.

Um die zuvor beschriebenen Vorteile der Echtzeit-Fortschrittsvisualisierung im BIM-Modell trotz dieser Unzulänglichkeiten der auf dem Markt existierenden Modellierungstools nutzen zu können, wurde in der nachfolgend beschriebenen Fallstudie ein Workaround innerhalb einer dieser Standard-Modellierungssoftware (Graphisoft ArchiCAD) etabliert. Dieser Workaround ermöglicht die farbliche Hervorhebung einzelner BIM-Objekte in Abhängigkeit ihres Fertigstellungsgrades ohne auf die entsprechenden IFC-Prozessklassen zugreifen zu müssen.

Der hier vorgestellte Workaround wird derzeit als Fallstudie zur Überprüfung des Konzepts bei einem Fassadenhersteller getestet: Im nächsten Abschnitt wird in diesem Zusammenhang darüber hinaus erläutert, wie der Workaround in diesem Testszenario verwendet wird, um den COCKPiT-Ansatz mit BIM zu koppeln.

4. Fallstudie

Der vorgeschlagene Ansatz wurde in Zusammenarbeit mit einem Engineer-to-Order (ETO) Fassadenlieferanten in Norditalien entwickelt. Das Unternehmen entwirft, beschafft (Einkauf und/oder Eigenfertigung) und montiert hochwertige Designfassaden in weltweit verteilten Projekten. Da das Unternehmen ein schnelles Wachstum erzielte und wichtige Projekte in Großbritannien, den USA und Europa akquirierte, begann es, die Untervergabe von Montagearbeiten vor Ort zu erhöhen. Daher wurde eine detaillierte Planung und Überwachung der verschiedenen Bauprojekte ein wichtiger Aspekt, um eine akzeptable Rentabilität des Unternehmens zu garantieren. In Abbildung 4 ist die Übersicht der Baulieferkette und die in der Fallstudie verwendeten Tools zur Steuerung dargestellt. Die Zulieferkette d.h. die technische Planung der Bauteile und deren Produktion bzw. Beschaffung wird mit dem Enterprise Resource Planning (ERP) System des Unternehmens gesteuert. Die Tätigkeiten vor Ort werden mit dem vorher beschriebenen Cockpit Tool geplant und gesteuert. Die Endmontage im Produkt d.h. im Gebäude wird mit BIM unterstützt. Um einen reibungslosen Informations- bzw. Materialfluss zu gewährleisten wird in den nächsten Textabschnitten der Ansatz zur Synchronisierung vorgestellt.

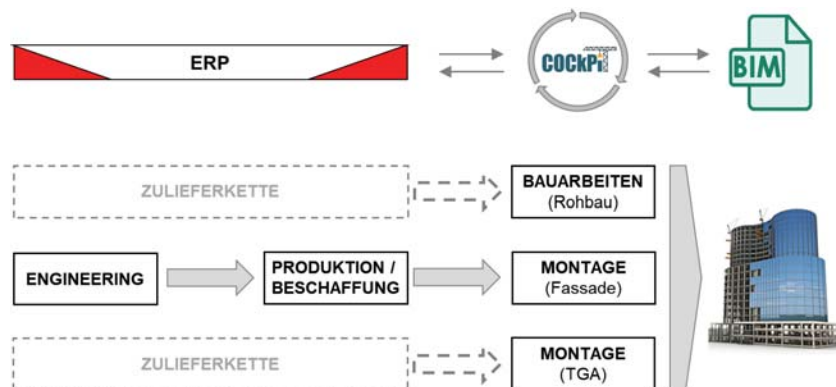


Abbildung 4: Übersicht der Baulieferkette und Steuerungstools.

Ziel der Zusammenarbeit des Fassadenlieferanten ETO mit den Forschungsinstituten war es zu analysieren, wie BIM zur Unterstützung der Bauausführung eingesetzt werden kann. Die Fallstudie besteht aus einem Bürogebäude in der Schweiz, das für rund 600 Mitarbeiter konzipiert wurde. Die Fassadenmontagetechnik besteht aus der konventionellen Gebäudetechnik, dem so genannten Pfosten-Riegel-System, bei dem jedes einzelne Halbfertigteil separat zur Montage auf die Baustelle geliefert wird. Das Bauvorhaben besteht aus einer Innen- und einer Außenfassade. Die Innenfassade dient der Wärmedämmung des Gebäudes, während die Außenfassade hauptsächlich für Designzwecke konzipiert wurde. Die Arbeiten zur Montage der Fassaden vor Ort begannen Ende Mai 2017 (KW 21 - 2017) und sollen voraussichtlich bis Ende September 2018 (KW 39 - 2018) abgeschlossen sein.

Zunächst wurde vom Forschungsteam ein kollaborativer Prozessplanungsworkshop mit dem Projektleiter, dem Vorarbeiter vor Ort und dem verantwortlichen Konstrukteur organisiert. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise in den Prozessplanungsworkshops finden Sie unter Dallasega et al. (2018). Kurzgefasst, die Arbeitsgänge vor Ort, die benötigten Arbeitskräfte und die spezifischen Bauabschnitte (in Englisch Construction Areas CAs) werden definiert. Abbildung 5 veranschaulicht die Definition der CAs. Das Gebäude wurde zunächst in Ebenen von 1 bis 3 unterteilt, danach wurde jede Ebene nach der Sonnenausrichtung (Nord, Ost, Süd und West) weiter unterteilt. Jede Orientierung wurde weiter in zwei Abschnitte aufgeteilt. Der auf der linken Seite der Grundrisszeichnung dargestellte Fassadenteil wurde mit der Nummer eins und die Fassade auf der rechten Seite mit der Nummer zwei benannt. Danach wurden Baueinheiten (in Englisch Construction Units CUs) als Bereich zwischen zwei Hauptachsen des Gebäudes festgelegt. Die Fallstudie bezieht sich im Detail auf den Bauabschnitt Süd und den Teil 1. Hier besteht die erste Ebene aus 25 CUs, die zweite Ebene aus 24 CUs und die dritte Ebene aus 23 CUs. Jede Ebene der Außenfassade besteht aus 23 CUs.

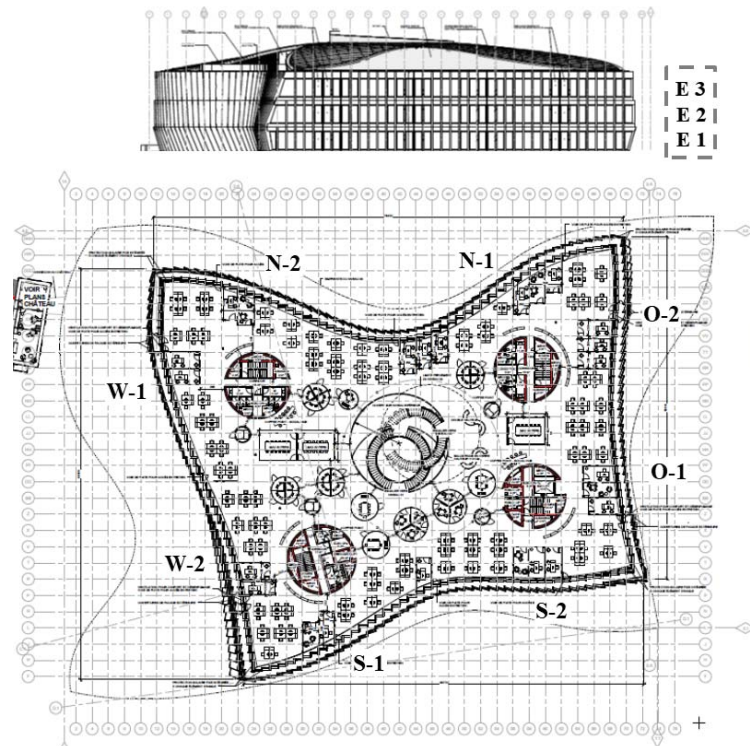


Abbildung 5: Definition der Bauabschnitte.

4.1. BIM-Schnittstelle zur Bauprozessplanung

Zur Anwendung des vorgeschlagenen Ansatzes wurde das BIM-Modell vom Generalunternehmer angefordert und ArchiCAD als Software-Tool eingesetzt. Jeder CU einer bestimmten Ebene und Ausrichtung wurden die erforderlichen Arbeitsgänge zugewiesen. Darüber hinaus wurden die benötigten Bauteile, die in jeder einzelnen CU installiert werden müssen, spezifiziert. Als praktisches Beispiel wird der Arbeitsgang für die Montage von Konsolen mit dem Akronym B verwendet. Hierbei soll eine Menge von 2 Stück in jede CU der Innenfassade eingebaut werden. Aus dem BIM-Modell wurde eine Menge von 582 CUs extrahiert. Für diesen Arbeitsgang wurde eine Dauer von 24 Tagen bei einer Truppstärke von zwei Mitarbeitern und drei Truppen (6 Mitarbeiter) während der Prozessplanung geschätzt. Daraus ergibt sich ein Pitch von 24,3 CUs/Tag. In praktischen Worten bedeutet dies, dass eine Menge von mindestens 25 CUs pro Tag abgeschlossen werden soll, um das zur Verfügung stehende Budget einhalten zu können.

4.2. BIM-Schnittstelle zur Bauprozessplanung und -überwachung

In Tabelle 1 ist der im Monitorings-Modul von Kalenderwoche (KW) 23 - 2017 erreichte Fortschritt dargestellt. Hier wurde am Montag KW 23 - 2017 in den Bauabschnitten W1 und W2 ein Fortschritt von 25 CU erreicht. Somit entstand an diesem Tag keine Abweichung zum Pitch. Am Dienstag konnte jedoch nur 18 CUs in W2 abgeschlossen werden, da es zu einem Fertigungsfehler, insbesondere zu einer größeren Abweichung bei den Bohrungen der Konsolen gekommen ist. Dies hat zu einer Abweichung von -13,44 Stunden geführt. Obwohl am Mittwoch, Donnerstag und Freitag mehr als die Vorgabe des Pitch abgeschlossen werden konnte, ergab sich am Ende von KW23 - 2017 eine Gesamtabweichung von -4 CUs und -7,68 Stunden.

	KW 23 - 2017					
	Mo.	Di.	Mi.	Do.	Fr.	Total
Pitch [CU/Tag]	25	25	25	25	25	125
Fortschritt [#CU]	25	18	26	26	26	121
Fortschritt [CA]	W1-W2	W2	W2	W2-S1	S1	
Fortschritt [CU]	0	-7	1	1	1	-4
Abweichung [h]	0	-13,44	1,92	1,92	1,92	-7,68

Tabelle 1: Fortschritts Monitoring von KW23 - 2017.

In Tabelle 2 ist die Schnittstelle des Prozessüberwachungsmoduls zum BIM-Modell mit einem Detaillierungsgrad von LOD 300 dargestellt. Hier wird die Zuordnung von Arbeitsgängen und Bauteil-Mengen zu jeder CU für den Bauabschnitt S-1 dargestellt. Die Variable "Fortschritt" gibt die Anzahl der bis zu einem bestimmten Zeitpunkt installierten Bauteile an. Die Variable Nichtkonformitätsbericht (Non Conformity Report) zeigt an, ob für einen bestimmten Arbeitsgang in einer CU Qualitätsprobleme aufgetreten sind, auf die ein Bericht verwiesen wird. Außerdem gibt die Variable "time delay" an, ob ein Arbeitsgang in einem CU zu spät erledigt wurde.

Der Baufortschritt wird durch die Verwendung von Farben im digitalen Modell laut dem Ampelsystem visualisiert. Wenn alle Arbeitsgänge in einer CU erledigt sind, wird sie mit der Farbe Grün dargestellt. Sobald ein Arbeitsgang im Gebäudemodell gestartet wird, werden die CUs mit der Farbe Gelb visualisiert. Wenn Zeitverzögerungen auftreten, werden die CUs mit der Farbe Orange visualisiert und wenn sie von Qualitätsproblemen betroffen sind, werden sie rot dargestellt.

Die Montagesequenz der Konsolen wurde mit dem Generalunternehmer vereinbart. Die Montagesequenz soll ab der Ostfassade starten, gegen den Uhrzeigersinn und von unten nach oben durchgeführt werden. Bis KW23 - 2017 wurden die Konsolen in der erste Ebene montiert. Jedoch wurden 5 CUs in der zweiten Ebene zu spät fertig gestellt. So wie bereits erwähnt sind im Projekt zwei Konsolen pro Bauabschnitt vorgesehen. In Anbetracht der CU "2-S-1-6" wurde eine Konsole richtig eingebaut und die Andere konnte aufgrund eines Fertigungsfehlers (Löcher wurden falsch gebohrt), nicht eingebaut werden. Als solche wird diese CU mit der Farbe Rot visualisiert und enthält den Code des NCR, in dem das Problem detailliert beschrieben wird. Abbildung 6 veranschaulicht den bis zu KW23 2017 erreichten Baufortschritt grafisch im BIM-Modell.

CU	Fassade	Arbeitsgang	Menge [#]	Fortschritt [#]	NCR	Zeit Verzögerung [Ja/Nein]
1-S-1-1	Interne	B	2	2		
...
1-S-1-25	Interne	B	2	2		
2-S-1-1	Interne	B	2	2		

2-S-1-2	Interne	B	2	2		
2-S-1-3	Interne	B	2	2		
2-S-1-4	Interne	B	2	2		
2-S-1-5	Interne	B	2	2		
2-S-1-6	Interne	B	2	2		Ja
2-S-1-7	Interne	B	2	2		Ja
2-S-1-8	Interne	B	2	2	201608-NCR-019	Ja
2-S-1-9	Interne	B	2	2		Ja
2-S-1-10	Interne	B	2	2		Ja

Tabelle 2: Schnittstelle Modul Monitoring mit BIM LOD 300 von CW23 - 2017.

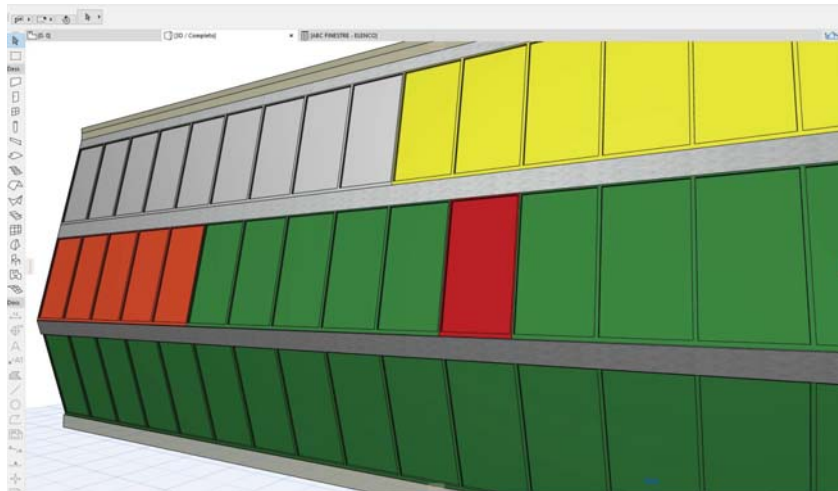


Abbildung 6: Grafische Visualisierung des Baufortschritts in BIM LOD300.

4.3. Potentiale von BIM für Baulieferketten

So wie bereits in Kapitel 2 angekündigt birgt BIM ein großes Potential um die Transparenz des Bauprozesses zu steigern. Wichtige Informationen welche zur

https://doi.org/10.30844/wgab_2018_13

Steuerung der Baulieferkette dienen werden zentral im Gebäudemodell gespeichert und stehen für alle Baubeteiligten möglichst in Echtzeit zur Verfügung.

- 1) Frühzeitige Identifizierung von potentiellen Problemen: dies ermöglicht ein zeitgerechtes Umsetzen von Maßnahmen welches eine Explosion der Kosten vermeidet.
- 2) Transparente Visualisierung des Baufortschritts: dies ermöglicht eine bedarfs-synchrone Materialanlieferung zur Baustelle. Frühzeitige Lieferungen welche kostspielige Zwischenlagerungen erfordern werden somit vermieden. Späte Lieferungen welche verschwenderische Baustopps durch fehlendes Material verursachen können drastisch reduziert werden. Als Fazit kann gesagt werden, dass eine bedarfs-synchrone Materialanlieferung verschiedene nicht wertschöpfende Tätigkeiten (wie z.B. Warten, Suchen oder übermäßiges Handhaben von Material) drastisch reduzieren kann.
- 3) Durch eine detaillierte Information der benötigten Bauteile im Gebäude (z.B. Anzahl der zu verbauenden Konsolen) welche frühzeitig den Beteiligten zur Verfügung steht, wird eine detaillierte und zuverlässige Planung des Ausführungsprozesses möglich.

5. Diskussion

Dieser Beitrag hat aufgezeigt, dass die Ifc-Datenstruktur prinzipiell die Eingabe von Prozessdaten in das BIM-Modell erlaubt. Aktuelle, kommerziell erhältliche und weit verbreitete Modellierungsprogramme wie Revit, Allplan, Archicad setzen dem Anwender bei der Modellierung von BIM-Objekten jedoch weiterhin proprietäre Grenzen: Während Zuordnungen von Modellobjekten zu Materialeigenschaften oft noch innerhalb der Modellierungsumgebung erfolgen können, können andere Klassen nicht angesprochen werden, wodurch deren Verwendung - wie z.B. die Zuweisung von Arbeitsgängen - bis dato programmintern nicht möglich ist.

Um diese Verknüpfungen beliebiger Objekte zu ermöglichen, wäre es notwendig, die Ifc-Datenstruktur in eine ausführbare Programmstruktur zu überführen, wozu objekt-orientierte high-level Programmiersprachen wie beispielsweise Java oder C++ sehr gut geeignet wären. Zu diesem Zweck stehen bereits zahlreiche Ifc-Bibliotheken zur Verfügung, die ein *late* oder *early binding* von BIM-Objekten an die Instanzen solcher Programmiersprachen zur weiteren Manipulation ermöglichen.

Im Laufe des Forschungsprojekts "Cockpit" ist zudem geplant den Ausführungsprozess von Gewerken im Rohbau (wie z.B. Maurerarbeiten) und Gewerken im Innenausbau (wie z.B. Technische Gebäudeausstattung) zu berücksichtigen.

Zudem ist geplant Open Source Bibliotheken in das COckPiT-Tool zu integrieren, um die BIM-Modelle mit Pitch-Informationen sowie Start- und Endzeit- und Fortschrittsinformationen anzureichern.

6. Schlussfolgerungen

In diesem Beitrag wurde aufgezeigt, wie BIM zur Unterstützung des Bau-Projektmanagements eingesetzt werden kann. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, wie BIM zur Unterstützung der Planung und Überwachung eines Bauvorhabens verwendet werden kann. Es wurde untersucht, inwieweit das Dateiformat *Information Foundation Classes* (IFC) den Informationsaustausch zwischen der technischen Gebäudeplanung und Bauausführung unterstützt.

BIM, wie auch andere Konzepte im Industrie 4.0 Zeitalter, werden zuerst von größeren Unternehmen übernommen. Wir sind jedoch der Meinung, dass auch kleine und mittlere Unternehmen BIM-Modelle nicht nur für den Entwurfsprozess, sondern für die Steuerung des Bauprozesses verwenden können. Einschlägige Literatur und Industrieakteure sind sich zudem einig, dass BIM im heutigen Verständnis digitale Innovationen im Bauwesen repräsentiert und überhaupt erst ermöglicht und deshalb als Grundlage zur sogenannten Baustelle 4.0 gesehen werden muss (Günthner/Borrmann, 2011). Die Autoren möchten mit diesem Beitrag unterstreichen, dass die systematische BIM-Anwendung in Bauausführungsprozessen auch für KMU sinnvoll und - durch die Fallstudie belegt - absolut umsetzbar ist, sodass ein möglicher Weg in Richtung KMU 4.0 für Unternehmen des Bausektors aufgezeigt wurde. Aus diesem Grund sind zukünftige Forschungsvorhaben notwendig, um den Prozess zur Handhabung von BIM-Modellen für die Unterstützung des Baustellenmanagements zu automatisieren.

Die Autoren arbeiten derzeit am Forschungsprojekt COckPiT (Collaborative Construction Process Management) mit dem Ziel, Methoden und Softwaretools zur Modellierung, Planung und Überwachung kleiner und mittlerer Bauvorhaben zu entwickeln. Der Ansatz zur intuitiven Visualisierung des Baufortschritts soll in Zukunft in webbasierten Open-Source-BIM-Viewern mittels Filterung nach den IfcTask-Einträgen dargestellt und damit dem gesamten Projektteam jederzeit und von überall zugänglich gemacht werden.

7. Danksagung

Die in diesem Artikel vorgestellten Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des Forschungsprojekts "Collaborative Construction Process Management (Cockpit)" durchgeführt, das vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Grant FESR1008 finanziert wird.

Literatur

- Alizadehsalehi, S., Yitmen, I. (2016). The Impact of Field Data Capturing Technologies on Automated Construction Project Progress Monitoring, *Procedia engineering*, Vol. 161, S.97-103.
- American Institute of Architects Contract Documents (2018). Online verfügbar unter: <https://www.aia.org/digitaldocs>, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
- Barlish, K., Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM - A case study approach. *Automation in Construction*, Vol. 24, S. 149–159.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J., Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J., (2015). *Building Information Modeling*, VDI-Buch.
- Braun, A., (2013). Entwicklung eines 4D-BIM-Viewers mit graphbezogener Darstellung von Bauabläufen und – alternativen (Master's Thesis). Technical University of Munich. Germany.
- Cheng, J. C., Lu, Q. (2015). A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 20 (27), S. 442-478.
- Construction Specifications Institute. Online verfügbar unter: <https://www.csiresources.org/home>, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
- Dallasega, P., Marengo, E., Nutt, W., Rescic, L., Matt, D.T., Rauch, E., (2015). Design of a Framework for Supporting the Execution-Management of Small and Medium sized Projects in the AEC-industry. In 4th International Workshop on Design in Civil and Environmental Engineering, Taipei, Taiwan. S. 12.
- Dallasega, P., Marcher, C., Marengo, E., Rauch, E., Matt, T., Nutt, W., (2016). A Decentralized and Pull - Based Control Loop for on - Demand Delivery in Eto Construction Supply Chains. In Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. S. 33–42.
- Dallasega, P., Rauch, E., Frosolini, M. (2018). A Lean Approach for Real-Time Planning and Monitoring in Engineer-to-Order Construction Projects, *Buildings*, Vol. 8 (38), S. 1-22.
- Ding, L. Y., Zhou, Y., Luo, H. B., Wu, X. G. (2012). Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction, *Automation in Construction*, Vol. 21 (7), S. 64–73.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Forsythe, P., Sankaran, S., & Biesenthal, C. (2015). How far can BIM reduce information asymmetry in the Australian construction context?, *Project Management Journal*, Vol. 46 (3), S.75-87.

- Günthner, W., Borrmann, A., (2011). Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen, Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Springer Verlag.
- Il ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2018) Codice dei contratti pubblici articolo 23 decreto 50/2016 comma 13.
- Ingenieurkammer Thüringen. DIB Thüringen – Ingenieurblatt regional Nummer 03/2017. Online verfügbar unter <https://www.ikth.de/>, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
- Jeong, W., Chang, S., Son, J., Yi, J., (2016). BIM-Integrated Construction Operation Simulation for Just-In-Time Production Management, Sustainability, Vol. 8, S. 1106.
- Kröger, S., (2018). BIM und Lean Construction - Synergien zweier Arbeitsmethodiken. Berlin: Beuth Verlag.
- Lin, Y. C. (2014). Construction 3D BIM-based knowledge management system: a case study, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 20 (2), S. 186-200.
- Lu, W., Peng, Y., Shen, Q., Li, H., 2013. Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks. J. Constr. Eng. Manag., Vol. 139, S. 195–203.
- Masterplan Bauen 4.0. Online verfügbar unter <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/strategiepapier-masterplan-bauen.html>, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
- McArthur, J. J. (2015). A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance and sustainability, Procedia engineering, Vol. 118, S. 1104-1111.
- Ratajczak, J., Schimanski, C.P., Marcher, C., Riedl, M., Matt, D.T., (2017). Mobile Application for Collaborative Scheduling and Monitoring of Construction Works According to Lean Construction Methods. In: Luo, Y. (Hrsg.): Cooperative Design, Visualization, and Engineering: 14th International Conference, CDVE 2017, Mallorca, Spain, September 17-20, 2017, Proceedings. Cham: Springer International Publishing, S. 207–214.
- Rauch, E., Dallasega, P., Matt, D. T. (2018). Complexity reduction in engineer-to-order industry through real-time capable production planning and control. Production Engineering, Vol. 12 (3-4). S. 341-352.
- Redwood, J., Thelning, S., Elmualim, A., Pullen, S. (2017). The proliferation of ICT and digital technology systems and their influence on the dynamic capabilities of construction firms. Procedia Engineering, Vol. 180, S. 804-811.
- Sacks, R., Radosavljevic, M., Barak, R., (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. Automation in Construction, Vol. 19 (5), S. 641–655.
- Singh, N., Singh, B., Singh, H., Singh Rai, H., (2017). Building Information Modeling Interoperability Issues. Int. J. Eng. Technol. Sci. Research, Vo. 4, S. 1–21.
- Tulke, J., Hanff, J., (2007). 4D Construction Sequence Planning – New Process and Data Model. Proc. CIB-W78 24th Int. Conf. Inf. Technol. Constr. 79–84.
- Won, J., Lee, G., 2016. How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach. Automation

Untersuchung des Potenzials für KMU zur Unterstützung der Baulieferkette mit Building
Information Modeling: eine Fallstudie eines ETO-Fassadenlieferanten 241

in Construction, Vol. 69, S. 34–43.

https://doi.org/10.30844/wgab_2018_13