

Erfahrungen zur 3D-, 4D- und 5D-Ebene im Rahmen der praktischen Anwendung von BIM bei der Planung einer tiefen Baugrube

Janosch Sauerbrey M. Eng.
CDM Smith Consult GmbH, Nürnberg, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt
Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

Dr.-Ing. Hendrik Ramm
CDM Smith Consult GmbH, Bickenbach, Deutschland

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Modellierung der 3D-, 4D- und 5D-Ebenen im Rahmen der BIM-Planung einer tiefen Baugrube. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der praktischen Einbindung von geotechnischer Berechnungssoftware und der Modellierung der Bauzeiten und Baukosten.

1. Einleitung

Building Information Modelling ist eine Arbeitsmethodik, bei der ein digitales Modell eines Bauvorhabens mit allen im gesamten Lebenszyklus benötigten Daten erstellt wird. Für ein Bauwerksmodell werden aufeinander aufbauende Dimensionen definiert. Diese beschreiben die nD-Ebenen für den gesamten BIM Lebenszyklus. In Tabelle 1 sind die Ebenen für Projekte in der Geotechnik basierend auf [1] dargestellt.

Tab. 1: Ebenen in der Geotechnik

Ebene	Bestandteile
3D	- Dreidimensionale, digitale Abbildung des Verbaus mit zusätzlichen Bauteilinformationen - Kollisionsprüfung
4D	- Verknüpfung von in Zeitplänen dargestellten Bauaktivitäten (Bauzeitendauer aus dem Modell) - Simulation des Bauprozesses - Bewertung von Baubarkeit und Arbeitsablaufplanung
5D	- Generieren von modell- bzw. objektbasierten Kostenbudgets im Zeitverlauf
7D	- Nachhaltigkeitskomponente (In der Geotechnik z. B. in Bezug auf Boden und Grundwasserkontamination)
8D	- Entwurfs- und konstruktionsrelevante Sicherheitsaspekte

So wird das 3D-Modell z. B. in der 4D-Ebene um den Zeitfaktor und in der 5D-Ebene mit den dazugehörigen Kosten ergänzt. Während im Umgang mit der geometrischen 3D-Modellierung im Bereich der Geotechnik

mittlerweile ausreichende Erfahrungen vorliegen, sind die praktischen Erfahrungen mit der 4D- und 5D-Ebene nur sehr spärlich. Im Rahmen der praktischen Anwendung wurde für das BIM-Modell einer tiefen Baugrube ein durchgängiger digitaler Planungsprozess durchgeführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bei der Einbindung von geotechnischer Berechnungssoftware in der 3D-Ebene sowie den Erfahrungen bei der Modellierung der 4D- und 5D-Ebenen werden im Rahmen des Beitrages vorgestellt, erläutert und bewertet. Insbesondere wird dabei ein Augenmerk auf die Schnittstellen der einzelnen Softwareapplikationen gelegt.

2. Verwendete Softwareapplikationen

Für die nD-Modellierung wurden verschiedene Softwareapplikationen verschiedener Softwarehersteller verwendet. In Tabelle 2 sind die einzelnen Softwareapplikation und deren Einsatz in den verschiedenen Ebenen aufgeführt.

Tab. 2: Übersicht verwendete Softwareapplikationen

Software	Version	Softwarehersteller	Ebene	Einsatz
Civil 3D	2019	Autodesk	3D	Gelände- und Baugrundmodellierung
Hole-base SI (jetzt: Open-Ground)	2019	Keynetix (jetzt: Bentley Systems)	3D	Zusatzmodul für einfachere und effizientere Baugrundmodellierung
Revit	2020	Autodesk	3D	Modellierung des Verbaus

Navisworks	2020	Autodesk	3D	Übersichtliche 3D-Darstellung des Baugrundmodells
DC-Integra	5.0	DC-Software	3D	Modellierung des Verbaus für nachfolgende Bemessung
DC-Baugrube	7.64	DC-Software	(8D)	Bemessung des Verbaus
Plaxis 2D	20.3.0.60	Bentley Systems	(8D)	Finite-Element-Berechnung des Verbaus
Sofistik Reinforcement Detailing	2020	Sofistik	3D	Zusatzmodul für einfachere Bewehrungsmodellierung
iTwo	2020	RIB Software	4D, 5D	Bauzeiten- und Baukostenplanung

3. Angaben zum Bauprojekt und zur tiefen Baugrube

Im Rahmen eines Projektes, bei dem ein Gebäudekomplex aus vier Gebäuden mit Bauwerkshöhen bis zu 75 m errichtet werden soll, wurde eine tiefe Baugrube geplant. Die Grundfläche der Baugrube beträgt ca. 10.000 m² (ca. 145 m x 75 m). Die Baugrube wurde mit einer Tiefe von maximal ca. 8 m geplant. Aufgrund der Nähe zu einem Fluss steht ein hoher Grundwasserspiegel an, so dass sich die Baugrube ca. 3 m im Grundwasser befindet. Daher wurde bei der Baugrube eine Bohrpfahlwand, die wassersperrend ist, als Verbau vorgesehen. In Bereichen ist auf die Bohrpfahlwand eine 2 m hohe Trägerbohlwand aufgesetzt. Außerdem wird die Bohrpfahlwand in tiefen Bereichen mit einer Ankerlage gesichert. Die Fläche wurde vorher industriell genutzt. Somit waren bei der Planung auch die umwelttechnische Randbedingungen von besonderer Bedeutung.

4. 3D-Modellierung

Die Baugrubenplanung erfolgte durch eine 3D-Modellierung. Mit der Software Civil 3D wurde zuerst ein Modell des bestehenden Geländes erstellt (s. Abb. 1).

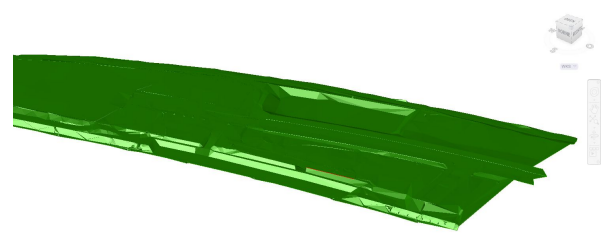


Abb. 1: Geländemodell für die Verbauplanung

Dieses Modell wurde als Grundlage für die weiteren Modelle verwendet. Die Daten der Bohrungen aus der Baugrunduntersuchung wurden mit der Software Holebase SI in die Software Civil 3D überführt. Dort wurde mit Hilfe von Schnitten das geotechnische Baugrundmodell konstruiert (s. Abb. 2).

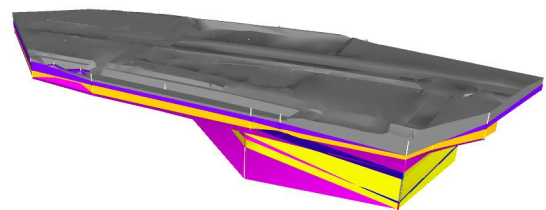


Abb. 2: Dreidimensionale Darstellung des Baugrundmodells

Ebenso wurde das umwelttechnische Baugrundmodell mit der gleichen Herangehensweise erstellt. Bei der Baugrunduntersuchung wurden Daten zur LAGA-Bodenklassifizierung sowie zur Grundwasser- und Bodenluftbelastung gesammelt, die in das umwelttechnische Baugrundmodell überführt wurden (s. Abb. 3).

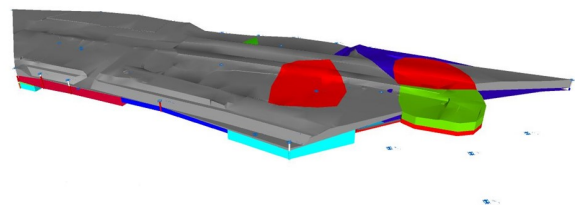


Abb. 3: Umwelttechnisches Baugrundmodell

Abschließend wurde neben einem Baugrubenmodell in Civil 3D, auch ein Modell des Baugrubenverbaus mit der Software Revit erstellt (s. Abb. 4).

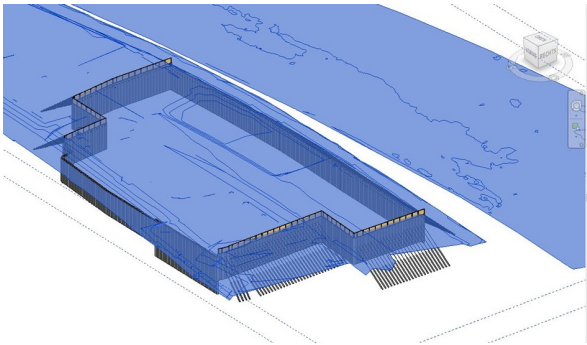


Abb. 4: 3D Modell des Verbaus

5. Geotechnische Berechnung

Zur Dimensionierung und geotechnischen Bemessung des Baugrubenverbaus wurden zwei Softwareapplikationen, DC-Baugrube und Plaxis, angewendet.

Die DC-Baugrube ist eine Software, die für die Erstellung von Standsicherheitsnachweisen und die Bemessung von Baugrubenverbauten verwendet wird. Plaxis ist ein universell einsetzbares Programm, das mit der Finite Elemente-Methode Spannungen und Verschiebungen im Baugrund ermittelt.

Für die Anwendung DC-Baugrube mussten die Daten des Verbaus zuerst in das Tool DC-Integra übertragen werden. In DC-Integra kann der Lageplan der Baugrube als dxf-Datei sowie Geländepunkte als txt-Datei eingeladen werden. Sowohl der Verbau als auch einfache Baugrundmodelle können auf Basis dieser Grundlagen in DC-Integra modelliert werden. Aus dem Modell können Schnitte erzeugt werden, anhand derer die Bemessung in DC-Baugrube durchgeführt werden kann. Das 3D-Modell (ohne die Bewehrung) kann über das IFC-Format in Revit überführt werden. Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine solche IFC-Datei (blau) in dem Modell des Verbaus in Revit.

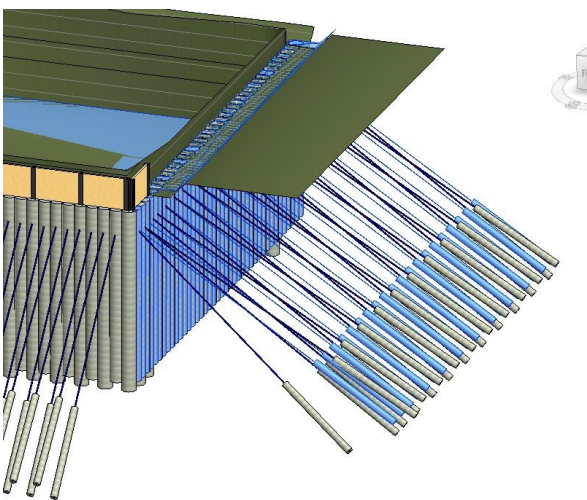


Abb. 5: IFC-Export aus DC-Integra

Ein sehr interessanter Ansatz, mit dem die DC-Software effizient genutzt werden könnte, wäre es, zu Beginn des Projektes den Verbau zuerst in DC-Integra

zu modellieren, die verschiedenen Positionen zu bemessen und den Verbau abschließend als IFC-Datei zu exportieren. Diese IFC-Datei könnte dann in Revit importiert und nachmodelliert werden und für die folgende Planung weiterverwendet werden. Ein Baugrundmodell für die Bemessung mit der DC-Software zu erstellen, ist nicht effizient. Es ist jedoch sinnvoll, die bereits vorhandenen Bohrpunkte in DC-Integra zu importieren, damit mit diesen und den dazugehörigen Bohrprofilen der Baugrund zumindest grob modelliert werden kann. In der Tabelle 3 ist eine Bewertung der DC-Software dargestellt.

Tab. 3: Bewertung der DC-Software

Positiv	Negativ
Vordefinierte Verbauarten (kombinierbar)	Import von Baugrundmodell benutzerunfreundlich, bei vielen Geländepunkten nicht sinnvoll
Einfache Handhabung der Funktionen	Modellierung des Baugrunds aufwendig
Schnelle und einfache Bemessung der Bauteile	Objektfang für Punkte aus dxf-Lageplänen funktioniert nicht durchgängig
Schnelle und einfache Ergebnisausgabe	In Teilen unübersichtliche Bedienelemente
Alle erforderlichen Nachweise werden automatisch erstellt und können auf Plausibilität überprüft werden	Berechnungsparameter nicht komplett in DC-Integra darstellbar -> Anpassungen des Berechnungsschnitts noch erforderlich
Ermittelter Verbau exportierbar	Viele Dateien (unübersichtliche Ordner)

Neben der DC-Software wurde auch das Programm Plaxis 2D bzw. Plaxis 3D im Hinblick auf die potenzielle Nutzung in einem BIM-Projekt untersucht. Dazu wurde ein Schnitt aus Revit in Plaxis importiert und berechnet (s. Abb. 6).

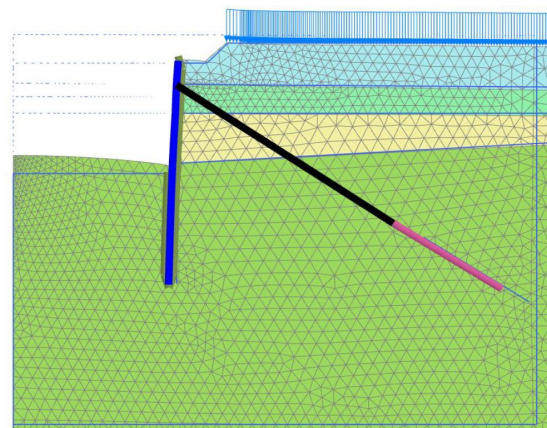


Abb. 6: Berechneter Querschnitt in der Software Plaxis 2D

Der Import ist jedoch nicht direkt möglich. Aus Revit muss der Schnitt als dxf-Datei exportiert werden, in Autocad angepasst werden und kann dann erst in Plaxis eingefügt werden. Außerdem ist anzumerken, dass hiermit nur die Geometrie aus dem Modell übernommen wird. Die Bodenparameter müssen in Plaxis eingearbeitet werden. Weiterhin können die Daten aus Plaxis nicht in Revit zurückgeführt werden. In der Tabelle 4 ist eine Bewertung von Plaxis dargestellt.

Tab. 4: Bewertung von Plaxis 2D

Positiv	Negativ
Jegliche Art von dxf-Datei ist importierbar	Kein Export des Verbaus möglich
Import von IFC-Datei möglich	Ergebnisausgabe nur einzeln möglich und zeitaufwendig
Einfache Handhabung der Funktionen	Nachweise nicht als Ergebnis ausgebbar
Übersichtliches Arbeitsfenster	Ungenauigkeiten oder doppelte Linien in der dxf-Datei führen zu Problemen in Plaxis, deren Lösung teils aufwendig ist
Universelle geotechnische Berechnungen möglich	Überführung von Revit in Plaxis aufwendig
Baugrundmodell gut integrierbar	

Plaxis kann während des gesamten Planungsprozesses immer wieder verwendet werden, um bestimmte Verschiebungen im System zu berechnen. Der Import der Geometrien ist jedoch aufwendig und die Ergebnisse können nicht automatisch, sondern nur manuell, in das zentrale Modell zurückgeführt werden. Es ist aber auch hier zu hinterfragen, ob es sinnvoll ist, die Ergebnisse aus Plaxis in das Zentralmodell zu integrieren.

6. Modellierung der Bewehrung

Die Bohrpfahlbewehrung kann in Revit ohne zusätzliche Software modelliert werden. Hierfür muss zuerst ein Plan mit verschiedenen Grundrissen, Ansichten und Schnitten erstellt werden. In diesen können dann die Bewehrungsbestandteile modelliert werden. Die Querkraftbewehrung kann nach dem Einstellen der Überdeckung eingearbeitet werden. Damit die Längsbewehrung korrekt im Bohrpfahl platziert werden kann, wurde eine Hilfskonstruktion gezeichnet (s. Abb. 7).

Für weitere Bewehrungselemente, wie Montagering und Fußkreuz mit Fußplatte, müssen Familien, vordefinierte Bauteile, erstellt werden. Die Abstandshalter sind nicht in Revit vordefiniert. Um diese einzufügen, wurde das Sofistik-Add-In für Revit verwendet. Dieses Add-In hilft nicht nur bei speziellen Bewehrungsformen, sondern es vereinfacht und beschleunigt die Be-

wehrungsmodellierung und vor allem auch die Erstellung der Bewehrungspläne.

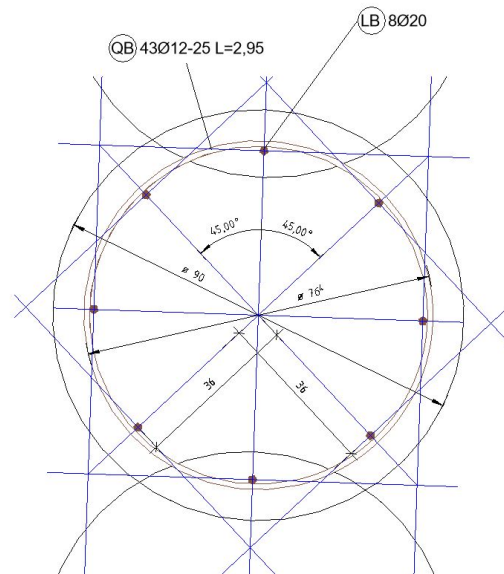


Abb. 7: Hilfskonstruktion Bewehrungsmodellierung

7. 4D- und 5D-Modellierung

Für die Bauzeiten- und Baukostenplanung wurde das Programm iTwo von RIB Software SE verwendet. Das Modell des Verbaus und der Baugrube kann aus Revit mit einem Add-In direkt über das CPIXML-Format in iTwo exportiert werden. Vor dem Export sollte darauf geachtet werden, dass im 3D-Modell die Objekte durch Parameter genau unterschieden werden können. Hierfür kann der SPTB1.0-Code verwendet werden. Dieser wurde vom Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V. [2] definiert. Weiterhin ist es empfehlenswert mit Phasen in Revit zu arbeiten. Dies vereinfacht die 4D-Planung in iTwo.

7.1 4D-Modellierung

Damit in iTwo die Bauzeit anhand des 3D-Modells geplant werden kann, müssen in iTwo die Aufwandswerte in einem Katalog vordefiniert werden. Dieser wird nicht für ein Projekt, sondern projektübergreifend erstellt. Für die projektinterne Planung muss zuerst eine Art Leistungsverzeichnis erstellt werden. Die maßgebenden Bauteilmengen im LV werden aus dem 3D-Modell gezogen. Das Leistungsverzeichnis ist jedoch auf die Bauzeitenplanung abgestimmt und kann nur schwer für Kostenberechnung und Ausschreibung verwendet werden. Weiterhin muss das Grundgerüst des Balkenplans ohne die Dauer der einzelnen Bauschritte erstellt werden. Die Dauer der einzelnen Bauschritte kann in iTwo über die vordefinierten Aufwandswerte und die Mengen aus dem LV berechnet werden. Da in den Bauschritten die zugehörigen Objekte hinterlegt sind, kann abschließend eine Simulation des Bauablaufs erstellt werden (s. Abb. 8). Hiermit kann kontrolliert werden, ob der geplante Bauablauf in der Realität auch möglich ist.

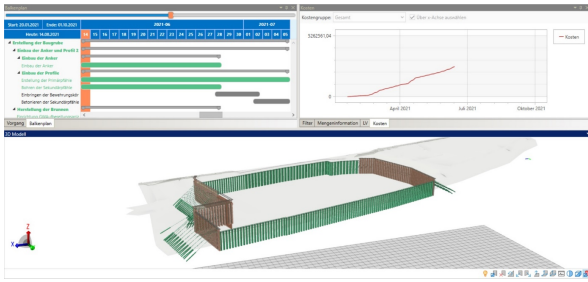


Abb. 8: Simulation der Bauzeiten und Baukosten

7.2 5D-Modellierung

Die Baukosten wurden mit Hilfe eines Leistungsverzeichnisses berechnet. Hierfür wurde ein zweites Leistungsverzeichnis erstellt (s. Abb. 9).

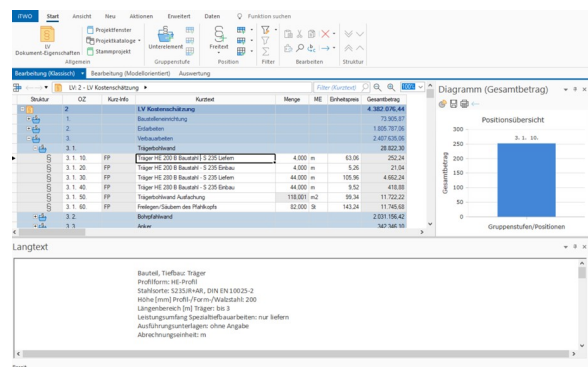


Abb. 9: Berechnung der Baukosten

Das Leistungsverzeichnis, das für die Bauzeitplanung erstellt wurde, beinhaltet Positionen, die für Baukosten nicht relevant sind bzw. relevante Positionen fehlen. Während für den Aushub bei der Terminplanung pro Phase eine Position notwendig ist, gibt es bei der Baukostenermittlung nur eine Gesamtposition. Weiterhin werden beispielsweise bei den Ankerpositionen verschiedene Einheiten verwendet (Terminplanung: Meter, Baukosten: Stückzahl). Die Mengen im LV wurden wiederum zum größten Teil aus dem 3D-Modell ermittelt. Die Daten für die Vorhaltekosten wurden aus der Terminplanung übernommen. Die Einheitspreise sind in iTwo auch in den Katalogen unternehmensweit für alle Projekte vordefiniert. Die mit dem LV ermittelten Kosten sind nach Positionen gestaffelt und können dadurch den einzelnen Bauschritten zugeordnet werden. Somit sind die Kosten abschließend in der Bauzeitsimulation darstellbar und die Entwicklung der Kosten kann übersichtlich nachvollzogen werden. In der Tabelle 5 sind die positiven und negativen Aspekte bei der Anwendung der Software iTwo aufgeführt.

Tab. 5: Bewertung von iTwo

Positiv	Negativ
Cloud-Nutzung und somit paralleles Arbeiten am gleichen Projekt ist möglich	Kein Rückgängig-Machen möglich

Importschnittstelle ist einfach bedienbar und mit Kontrollfunktionen versehen	Erstellung von verschiedenen LVs für Bauzeitsimulation und Kostenschätzung
Parameter aus Revit sind einfach in iTwo weiter verwendbar (Erleichterung der Arbeit in iTwo)	Teils unübersichtlicher Aufbau von Fenstern und Funktionen
Große Teile vordefiniert bzw. aus anderen Projekten übertragbar	Problem mit „Generic Models“ (z. B. Anker) bei Import der Modelle
Leistungsverzeichnis einfach und schnell (mit automatischer Mengenermittlung) erstellbar	In der Bauzeitsimulation manche Bauteile, Prozesse nicht optimal darstellbar (DGM, Bohrung Bohrfahl und Bohrschablone)
Schnelle Kalkulation der Bauzeiten, sofern gut vordefinierter Katalog „Kostenarten“ vorhanden	Bestimmte Massen (Aushub) nicht aus Modell ermittelbar, sondern manuelle Übertragung erforderlich
Einfache und übersichtliche Verknüpfung von Kosten und Bauzeiten	Keine automatische Aufrundung der berechneten Bauzeit möglich
Weiterführende Funktionen, wie Vergleich der Kosten von verschiedenen Varianten oder Kostenkontrolle	Anpassung der Druckvorlagen nicht selbsterklärend, vordefinierte Vorlagen teils zu klein/nicht optimal

8. Fazit

Es wurde gezeigt, dass die durchgehende Anwendung von BIM bei der Planung von tiefen Baugruben mit derzeit angebotenen Programmen im Prinzip möglich ist. Die Softwareapplikationen funktionieren in den einzelnen Planungsschritten jedoch unterschiedlich gut. Die Programme, die für die geotechnische Bemessung und Berechnung verwendet wurden, haben verschiedene Stärken und Schwächen. Bei beiden Programmen funktioniert der durchgehende BIM-Planungsprozess jedoch noch nicht einwandfrei. Die DC-Software ist sehr gut für die Planung der Elemente des Baugrubenverbau auf Grundlage eines Lageplans geeignet. Eine Einschränkung hierbei ist jedoch, dass das Einladen aufwendiger Baugrundmodelle in das Programm ineffizient ist. Der berechnete Verbau kann schließlich als IFC-Datei exportiert werden. Somit ist der offene Datenaustausch gewährleistet. Plaxis hingegen lässt sich besser im fortgeschrittenen Planungsprozess verwenden, bei dem die Modellierung des Verbau im Wesentlichen abgeschlossen ist. Bemessungsschnitte mit genauem Baugrundmodell können mit einer vorherigen Bearbeitung einfach importiert werden. Die Ergebnisse können jedoch nicht mehr in das zentrale Revit-Modell zurückgeführt werden.

Die Termin- und Kostenplanung einer Baugrube mit iTwo funktioniert gut. Die Importschnittstelle zwischen Revit und iTwo ist anwenderfreundlich zu bedienen. Jedoch wurden teilweise bei den geotechnischen Bauteilen kleine Probleme beim Import festgestellt. Elementar für das effiziente Arbeiten mit iTwo sind gut definierte Standards für die Modellierung. Außerdem müssen die Grundlagewerte für die Planung, wie Aufwandswerte, Einheitspreise etc. vordefiniert sein. Sofern diese Elemente und Erfahrung im Umgang mit der Software vorhanden sind, kann das Programm sehr effizient genutzt werden. Durch die weiteren Funktionen von iTwo, Kostenkontrolle etc. kann BIM somit durchgehend in der Planung und im Bau einer Baugrube angewendet werden.

Durch die Weiterentwicklung der Programme, vor allem durch die Nutzung von Clouds, sollte sich die Effizienz dieser Programme und dieses Planungsprozesses in den nächsten Jahren weiter steigern.

Literatur

- [1] Stange, M.: Building Information Modelling im Planungs- und Bauprozess, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2020.
- [2] BIM im Spezialtiefbau, Technisches Positionspapier der Bundesfachabteilung Spezialtiefbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., 2. Auflage, Dezember 2019.