

Potentiale und Herausforderungen der Digitalisierung im Spezialtiefbau am Beispiel von Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton

Dr.-Ing. L. Vavrina, Aarsleff Grundbau, Hamburg
Dipl.-Ing. P. Wardinghus MBA, Aarsleff Grundbau, Hamburg

In allen industriellen Arbeitsprozessen schreitet die digitale Vernetzung der einzelnen Arbeitsschritte konsequent voran. Für die Bauindustrie bietet das Building Information Modelling (BIM), dessen Grundlage das digitale Modell eines Bauwerks bildet, eine Grundvoraussetzung für diese Vernetzung. Das digitale Modell erfasst das komplette Bauwerk über deren gesamten Lebenszyklus und beinhaltet alle relevanten Informationen und Daten. Die Gründung ist zwar ein wichtiger Bestandteil für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, aber im gesamten Lebenszyklus lediglich ein kleiner Teil eines Bauwerks. Insbesondere eine Tiefgründung auf Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton bietet neben den systemunabhängigen Planungsdaten, die Möglichkeit, alle Produktionsdaten in das digitale Bauwerksmodell zu implementieren. Die Produktionsdaten der werksmäßig sehr homogen und einheitlich hergestellten Pfähle können direkt aus dem Werk in das digitale Modell integriert werden. Die Produktionsdaten in Bezug auf die Pfahlinstallation werden automatisch am Rammgerät aufgezeichnet und können in Echtzeit jedem Projektbeteiligten übergeben oder direkt im digitalen Modell implementiert werden. Ein großer Vorteil hieraus ist, dass der Bauablauf transparent und die Leistungserbringung jederzeit kontrollierbar wird, was für die spätere Rechnungstellung sowohl dem Bauherrn als auch dem Auftragnehmer zu Gute kommt. Risiken liegen allerdings bei mangelndem Fachwissen von Projektbeteiligten, wodurch es zu Fehlinterpretationen kommen kann. Deshalb sind neben der notwendigen Fachkenntnis auch eine gute Kommunikation sowie ein partnerschaftlicher Umgang wichtige Bestandteile einer erfolgreichen Projektabwicklung.

1. Einleitung

Mit der fortschreitenden Digitalisierung der Industrie hält auch die Vernetzung von Arbeitsprozessen in der Bauindustrie immer größere Bedeutung. Die vielschichten Arbeitsprozesse, die von der vorauslaufenden Planung über die Ausführung bis hin zur späteren Bewirtschaftung reichen, sind bei umfangreichen Bauvorhaben meist schwierig miteinander zu verknüpfen. Ein Hilfsmittel hierfür kann das sogenannte Building Information Modeling (kurz BIM) sein. BIM ist eine digitale Arbeitsmethode in der Baubranche, die einen Mehrwert schaffen kann, indem Menschen, Arbeitsabläufe und Werkzeuge über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes zusammenwirken. Grundlage ist dabei ein digitales Bauwerksmodell, das sämtliche Abläufe im Lebenszyklus eines Bauwerkes darstellt und einen Zugewinn an Transparenz, Qualität, Kosten- und Terminsicherheit schafft.

Einer der wichtigsten Bestandteile für die Standsicherheit eines Bauwerkes ist die Gründung, die je nach den Anforderungen und der Baugrundbeschaffenheit entweder durch Flach- oder Tiefgründung realisiert werden kann. Bei der Variante „Tiefgründung“

gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Unabhängig davon, welche Tiefgründungsart gewählt wird, haben diese gemeinsam, dass ihre Ausführung im Untergrund und damit nicht sichtbar ist, was die Leistungserfüllung für andere Projektbeteiligte meist nicht nachvollziehbar und intransparent erscheinen lässt.

Tiefgründungen mit Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton bieten durch ihre werkmäßige Herstellung den Vorteil, dass die Maßhaltigkeit und Qualität vor Ort augenscheinlich prüfbar ist. Darüber hinaus werden alle Produktionsdaten im Werk gespeichert, so dass die Qualität der Pfähle über die jeweilige Artikelnummer den geforderten Eigenschaften der Pfähle zugeordnet werden können. Beim Einbringen bieten Fertigrampfpfähle eine zusätzliche Baugrunderkundung, da während des Einbaus gemessene Eindringwiderstände eine Kontrolle der Lagerung des anstehenden Baugrundes direkt am Pfahl bieten. Bei der Rammung werden alle relevanten Ausführungsdaten direkt am Gerät vollautomatisch aufgezeichnet und liegen durch die digitale Vernetzung der örtlichen Bauleitung für eine unmittelbare Beurteilung vor. Der gesamte Ausführungsprozess bietet damit für alle beteiligten Fachplaner eine außergewöhnliche Transparenz. Die Herstell- und Produktionsdaten können neben den herkömmlichen Planungsinformationen in ein digitales Modell übertragen und für eine exakte und tagesgenaue Leistungskontrolle sowie für eine transparente Mengendokumentation genutzt werden.

2. Monitoring von Fertigrampfpfählen

Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton gehören zu den sogenannten Vollverdrängungspfählen nach DIN EN 12699 „Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verdrängungspfähle“ und haben vielseitige Einsatzgebiete, die von infrastrukturellen Baumaßnahmen über Ingenieur- und Industriebauwerke bis hin zur Tiefgründung von Windkraftanlagen reichen (Bild 1). Die in Deutschland aktuell verwendeten Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton haben in der Regel quadratische Querschnitte und eine durchgehende Längs- und Wendelbewehrung.

Die Herstellung erfolgt im Werk vollautomatisch unter höchsten Qualitätsbedingungen und externen Herstellkontrollen zu einem typengeprüften Pfahl. Die werkseitige Herstellung gewährleistet einheitliche Betonquerschnitte und -eigenschaften sowie eine planmäßig ausgeführte Bewehrungslage. Die werkmäßige vollautomatische Herstellung der Bewehrungskörbe ist auf Bild 2 dargestellt.

Die Planung einer Pfahlgründung beinhaltet neben dem Führen der statischen Nachweise von innerer und äußerer Tragfähigkeit sowie der Sicherstellung des Kraftschlusses mit der Hochbaukonstruktion auch die Erstellung der Pfahlpläne und Pfahlkoordinaten. Die Planung dient nicht nur der sicheren Ausführung, sondern auch der abschließenden Dokumentation.

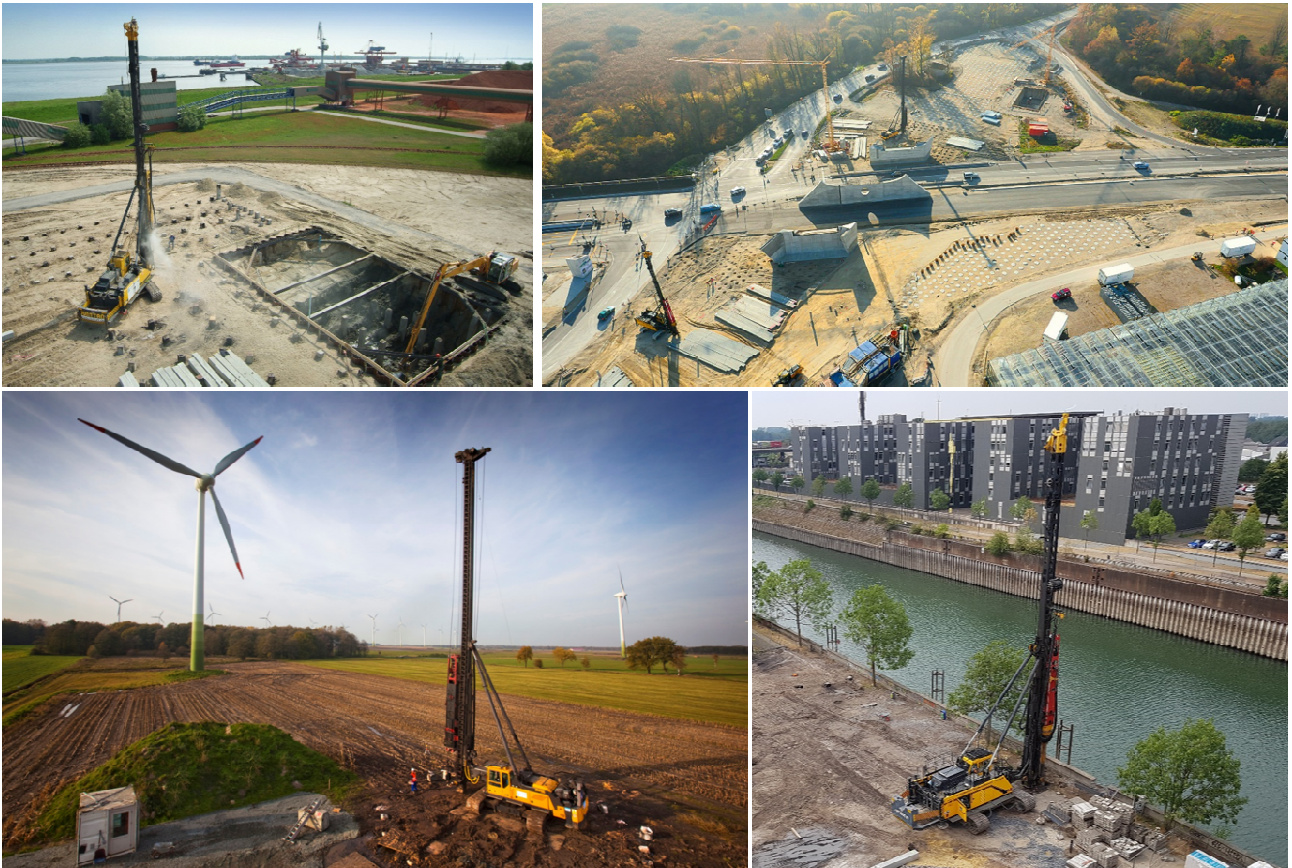


Abb. 1 Einsatzgebiete von Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton



Abb. 2 Herstellung der Bewehrungskörbe und Montage der Abstandshalter

Im weiteren Verlauf werden sowohl Einbau als auch alle erforderlichen begleitenden und abschließenden Prüfungen protokolliert. Dies erfolgt durch automatisch erstellte Rammberichte mit einem sogenannten „Pile Logger“. Der Pile Logger ist ein System, das direkt am Rammgerät installiert ist und den gesamten Rammvorgang vollautomatisch aufzeichnet. Instrumente und Software dokumentieren alle technischen Daten von jedem einzelnen Pfahl, z. B. die Eindringtiefe pro Schlag, und senden die Daten direkt an einen Server zur Speicherung. Diese zeitnahe Aufzeichnung ermöglicht, dass die Bauleitung oder auch andere Projektbeteiligte die Rammarbeiten über eine Internetverbindung nahezu in Echtzeit verfolgen können. Eine aktuelle Aufbereitung der Rammdaten kann jederzeit abgerufen und an Dritte übergeben werden. Auf Wunsch kann für jeden beliebigen Pfahl ein großer Rammbericht und eine dazugehörige grafische Darstellung geliefert werden.

Im großen Rammbericht wird das Einbringen des Pfahls pro Rammschlag über die Tiefe dokumentiert. Über den Einbringwiderstand kann das Erreichen von tragfähigem Baugrund gemessen und die Einbindung in diese Schicht nachvollzogen werden. Somit bietet jeder gerammte Vollverdrängungspfahl einen zusätzlichen Aufschluss über die anstehenden Baugrundverhältnisse.

Die Bestimmung des Rammwiderstandes erfolgt über die vollautomatische Erfassung der Auftreffgeschwindigkeit (bei beschleunigten Hämmern) oder der Fallhöhe, der Schlagzahlen und der dabei zurückgelegten Eindringung des Pfahls in den Boden. Aus diesen Messwerten errechnet sich die Rammenergie, die nötig war, um den Pfahl in den Boden zutreiben.

Eine exakte und tagesgenaue Ausführungskontrolle setzt neben der technischen Vernetzung der ausführenden Maschinen und Personalkräfte eine interdisziplinäre Schnittstelle voraus.

Wie in Bild 3 veranschaulicht, werden zurzeit die Produktionsdaten in Echtzeit am Gerät aufgezeichnet, drahtlos an einen Server übermittelt und automatisch gespeichert. Die örtliche Bauleitung prüft die Produktionsdaten und verteilt diese Daten an die Projektbeteiligten. Ein direkter Zugriff der Projektbeteiligten auf die Produktion kann aber nicht erfolgen. Zum einen fehlt die gemeinsame Datenschnittstelle und zum anderen ist die vorhergehende Überprüfung der Daten durch die fachkundige Bauleitung unumgänglich, da trotz technischer Optimierung Fehler aufgrund äußerer Störungen auftreten können.

Neben den technischen Herausforderungen setzt die transparente Kooperation eine partnerschaftliche Projektabwicklung auf Basis eines Vertrauens voraus, welche insbesondere bei Großprojekten, wo unterschiedliche Subunternehmer tätig werden, oft verbesserungswürdig ist.

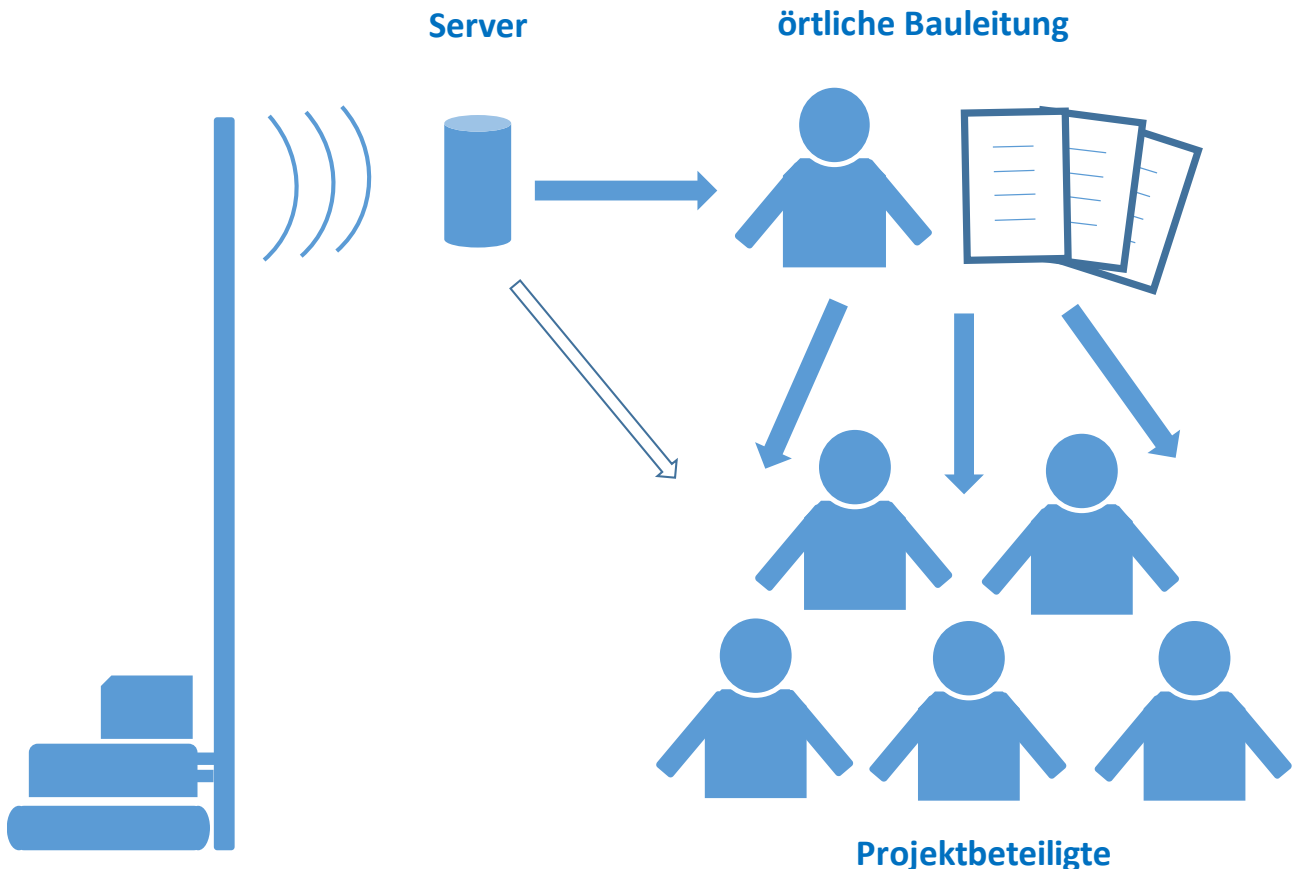


Abb. 3 Umgang mit Monitoringdaten

3. Nutzen von Planungs- und Produktionsdaten

Die Anwendung des Building Information Modeling (BIM) wird derzeit in allen Bereichen der Bauwirtschaft vorangetrieben. Die Grundlage dieser Anwendung ist ein digitales Bauwerksmodell, das sämtliche zum Bauwerk gehörenden geometrischen und numerischen Kennwerte beinhaltet, die allen Projektbeteiligten zur Verfügung stehen sollen.

Das digitale Bauwerksmodell geht dabei weit über die bereits selbstverständliche 3D Modellierung hinaus und erweitert das Modell um eine 4. bis 7. Dimension. In der 4. Dimension werden die drei bekannten Dimensionen des Raumes um die Zeitkomponente erweitert. In der 5. Dimension kommen neben der Zeitkomponente zusätzlich die Kosten hinzu und in der 6. Dimension werden den Modellelementen die Herstellungsdaten hinzugefügt. Damit wandelt sich das bislang visuelle Modell in ein Modell, das den IST Zustand darstellt und mit dem realen Objekt vergleichbar ist. Die 7. Dimension berücksichtigt die gesamte Phase des Gebäudebetriebs.

Die Gründung eines Bauwerkes wird in der Regel als separates Bauteil betrachtet, das durch spezialisierte Fachplaner geplant und vom Spezialunternehmen umgesetzt wird. Um dieses Bauteil in ein digitales Bauwerksmodell zu integrieren, wird zunächst auf die Planung des Architekten oder anderer Ingenieure zurückgegriffen. In der Konzept- und Planungsphase der Pfahlgründung werden alle Planungsdaten eingelesen und eine Ausführungsplanung erstellt.

Systemunabhängig bietet die Planung innerhalb des BIM Modells den Vorteil, dass ohne größeren Planungsaufwand verschiedene Varianten der Pfahlgründung (z.B. Änderung der Querschnitte oder Längen) betrachtet werden können und durch die Verknüpfung mit der Zeit und den Kosten eine direkte Bewertung möglich ist. Somit kann bereits vor Baubeginn eine optimale Gründungslösung entwickelt werden.

In der folgenden Produktions- und Installationsphase werden die Daten aus den automatischen Berichten eingefügt und so das digitale Modell um die Zeitkomponente erweitert. Durch die Implementierung der Installationsdaten kann die Rammleistung definiert und bei Bedarf in der Terminplanung angepasst werden. Gleiches gilt auch für die Baukosten. Werden Pfähle beispielsweise länger oder kürzer, hat dies einen direkten Einfluss auf die Kosten, kann erkannt und ebenfalls angepasst werden.

In der Dokumentations- und Auswertungsphase können die Produktions- und Herstellern Daten an das Modell übergeben werden. So wird ein Vergleich von SOLL zur IST Planung ermöglicht, wodurch neben der genauen Lage der Pfähle auch die jeweiligen Eigenschaften gesichert und für die nachfolgenden Gewerke oder auch für spätere Bauwerksnutzung abgerufen werden können.

4. Beispielanwendung der Daten im digitalen Modell

Der Umgang und der mögliche Nutzen der Daten, die sowohl im Planungs- als auch im Ausführungsprozess von Tiefgründungen mit Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton gewonnen werden, soll anhand eines einfachen Hochbauprojektes veranschaulicht werden. Bei diesem Bauvorhaben sollen insgesamt 38 Fertigrampfpfähle mit Querschnitten von 40 cm x 40cm als lotrechte Pfähle verbaut werden. Der anstehende Baugrund besteht aus oberflächennah anstehenden Auffüllungen, darunterliegenden Weichschichten und in größerer Tiefe tragfähigen Sanden.

Auf Grundlage eines zweidimensionalen Schalplans der Streifenfundamente des Tragwerksplaners wird zunächst ein Pfahlplan erstellt, in dem die Lage der Pfähle festgelegt wird. Da der Prüferingenieur seine Prüfvermerke klassisch in eine Papiervorlage einträgt, wird der Pfahlplan zunächst als Papierversion (bzw. als PDF) zur Prüfung eingereicht.

Grundsätzlich kann, unabhängig von der Prüfung ein vollständiges dreidimensionales Modell inklusive der Baugrundsichtung erstellt werden (Bild 4). Diese Erstellung eines dreidimensionalen Modells bei der Ausführungsplanung einer Pfahlgründung stellt jedoch keinen zwingend erforderlichen Planungsstandard dar. Die Erstellung eines 3D Modells bietet aber Vorteile, wie zum Beispiel die Möglichkeit der Identifikation einer nicht realistischen Einbindung der Pfähle in schwer oder nicht rambbare Bodenschichten, Identifikation einer ggf. notwendigen Abtreppung der Pfähle wegen Lastausbreitungen oder die Veranschaulichung einer ungewollten Verbindung von zwei Grundwasserstockwerken. Bei der Verwendung von Neigungspfählen kann außerdem eine geometrische Kollisionsprüfung durchgeführt werden.

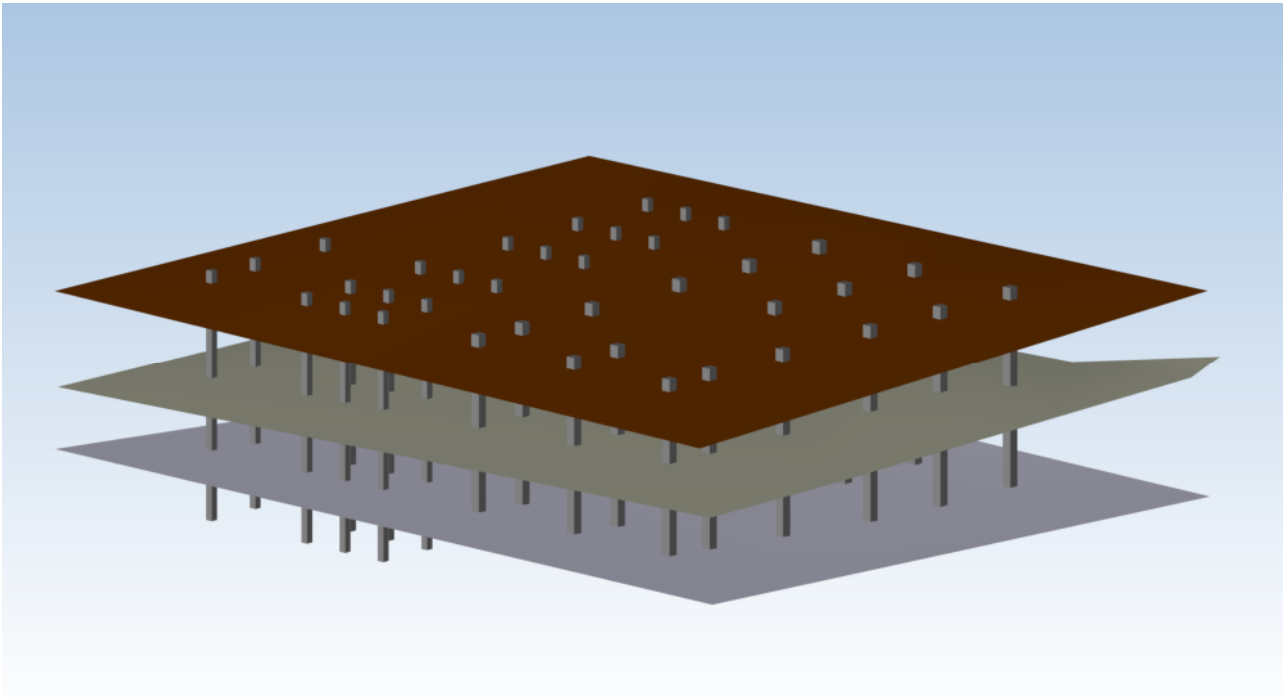


Abb. 4 Beispiel einer Planung im 3D-Modell

Diese Vorteile können genutzt werden, um mögliche Planungsrisiken im Vorfeld zu erkennen und damit verbundene kosten- und zeitintensive Umplanung zu vermeiden.

Die weitere Ausführung soll mit Hilfe von Bild 5 veranschaulicht werden. Der Pfahlplan wird im Verlauf der mit allen relevanten Daten, wie Pfahlnummer, Pfahlabsetztiefe, Pfahlkopfhöhen, Pfahlkoordinaten etc. hinterlegt und in ein Modell überführt, das allen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt werden kann. Das Modell mit den zugehörigen Daten kann der Bauleiter auf der Baustelle Ort mittels seines Tablets sofort abrufen. Hier kann er alle relevanten Informationen abrufen und die Pfahlgründung auf dieser Grundlage ausführen. Umgekehrt kann der Bauleiter die IST Daten in das Modell einpflegen, so dass die nicht vor Ort tätigen Projektbeteiligten den Ausführungsstand nachvollziehen können.

In Bild 5 sind die grün markierten Pfähle bereit zur Ausführung. Der gelb markierte Pfahl bereits wurde eingebaut, aufgrund eines Hindernisses im Boden eine Abweichung von der geplanten Lage festgestellt. Diese Abweichung liegt dem technischen Büro direkt vor, so dass mögliche Zusatzmaßnahmen umgehend angeordnet werden können. Der rot markierte Pfahl wurde ebenfalls gerammt und es kam zu einer Schädigung am Pfahl. Die Daten dieses Pfahls sind ebenfalls bekannt, so dass auch hier alle Projektbeteiligten direkt erkennen, dass an dieser Stelle eine Änderung der Planung vorgenommen werden muss. Nach der Rammung aller Pfähle können die Daten gesammelt und in jeder Form zu weiteren Auswertung weitergegeben werden.

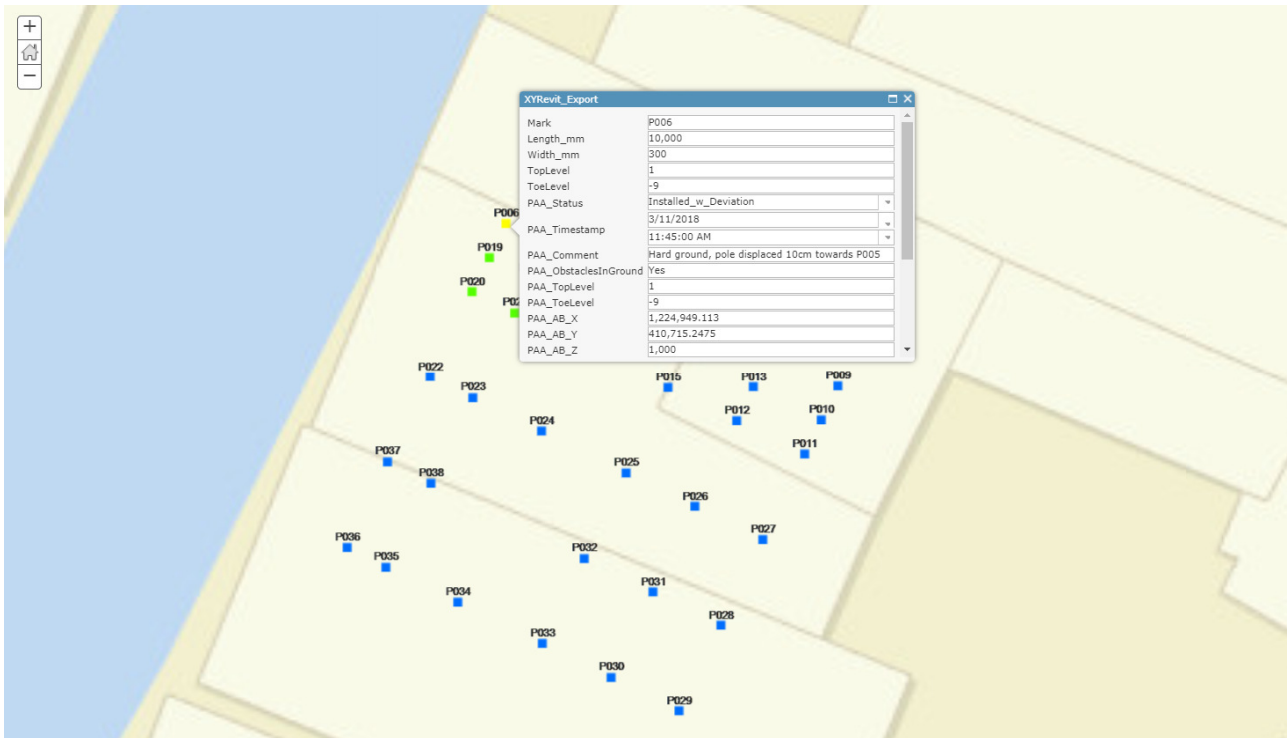


Abb. 5 Digitales Modell der Planung einer Pfahlgründung mit Fertigrampfpfählen

Diese Vorgehensweise steigert die Produktivität der Baustelle und erhöht die Transparenz für alle Projektbeteiligten. Zudem ist die Planungs –und Ausführungsleistung stets vergleichbar und bei eventuellen Zusatzmaßnahmen wird die Entscheidungsfindung beschleunigt und Planungsänderungen erleichtert.

5. Fazit

In Zeiten der fortschreitenden Digitalisierung bietet das Pfahlsystem Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton neben den systemunabhängigen Planungsdaten zusätzliche Vorteile im Nutzen der Produktionsdaten, da diese automatisch im Werk oder der Maschine erfasst und ins digitale Modell implementiert werden können. Ein Vorteil in der Planungsphase liegt darin, dass bereits zu Planungsbeginn eine optimale Gründungslösung vorliegt und ohne erhöhten Aufwand mehrere Varianten verglichen werden können. Während der Ausführung kann die Rammleistung tagesgenau exakt erfasst werden. Somit kann eine Transparenz hinsichtlich entgültiger Kosten und Terminplanung erzeugt werden. Zudem werden SOLL-IST Abweichungen direkt dokumentiert, so dass eventuelle Zusatzmaßnahmen unmittelbar berücksichtigt werden können. Risiken der geschaffenen Transparenz birgt jedoch eine mögliche Missinterpretation der Daten oder ein Missbrauch durch Dritte.