

Mit dem digitalen Zwilling in die Zukunft des Infrastrukturbaus

Komplexe Herausforderungen bei der Modellierung eines validen und präzisen Modells bestehender Infrastruktur

FELIX AMBERG | PHILIPP DOHMEN

Die Digitalisierung bietet auch im Infrastrukturbau viele neue Möglichkeiten. Eine davon ist die Modellierung mit Building Information Modeling (BIM). Amberg setzt BIM bereits in der Praxis für eine große Zahl von Projekten ein. Digitale Arbeitsmethoden sind ein Kernelement zur Vereinfachung von Prozessen und zur Automatisierung. Dies gilt auch für bereits gebaute Infrastrukturen, wie das von Amberg initiierte Projekt RetroBIM eindrucksvoll zeigt.

Auf dem letzten BuildingSmart International Summit im März dieses Jahres in Düsseldorf hielt Mark Enzer von Mott MacDonald eine Keynote Speech. Er betrat die Bühne und präsentierte dem Publikum den folgenden Gedanken: 99,5% der Infrastrukturen, die 2020 in Großbritannien der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen sollen, sind bereits gebaut. Dennoch liegt der Schwerpunkt der Architektur-, Ingenieur- und Bauindustrie nach wie vor in der Entwicklung neuer Projekte. Diese Tatsache ist bemerkenswert, da die Kosten für die Verwaltung, Wartung und Reparatur dieser bereits errichteten Anlagen weitaus höher sind als die Ausgaben für den Bau neuer Projekte.

Die Aussage von Mark Enzer führt zum Ziel des Amberg RetroBIM-Projekts: Ein valides und präzises Modell zu entwickeln, das als digitaler Zwilling einer bestehenden Infrastruktur funktioniert. Dies ermöglicht dem Auftraggeber, seinen Planungsprozess einfacher und damit wirtschaftlicher zu gestalten. Weiter steht ihm jederzeit und ortsunabhängig eine digitale Version seines Bauwerkes zur Verfügung.

Die Herausforderungen bei der Modellierung bestehender Infrastruktur

Das Penn State College of Engineering definiert den Use Case „Existing Condition Modeling“ wie folgt: „Ein Prozess, bei dem ein Projektteam ein 3D-Modell der vorhandenen Bedingungen für einen Standort, Einrichtungen auf einem Gelände oder einen bestimmten Bereich innerhalb einer Einrichtung entwickelt. Dieses Modell kann auf verschiedene Weise entwickelt werden, einschließlich Laserscanning, Photogrammetrie und/oder konventioneller Vermessungstechniken, je nachdem, was gewünscht und was am effizientesten ist.“

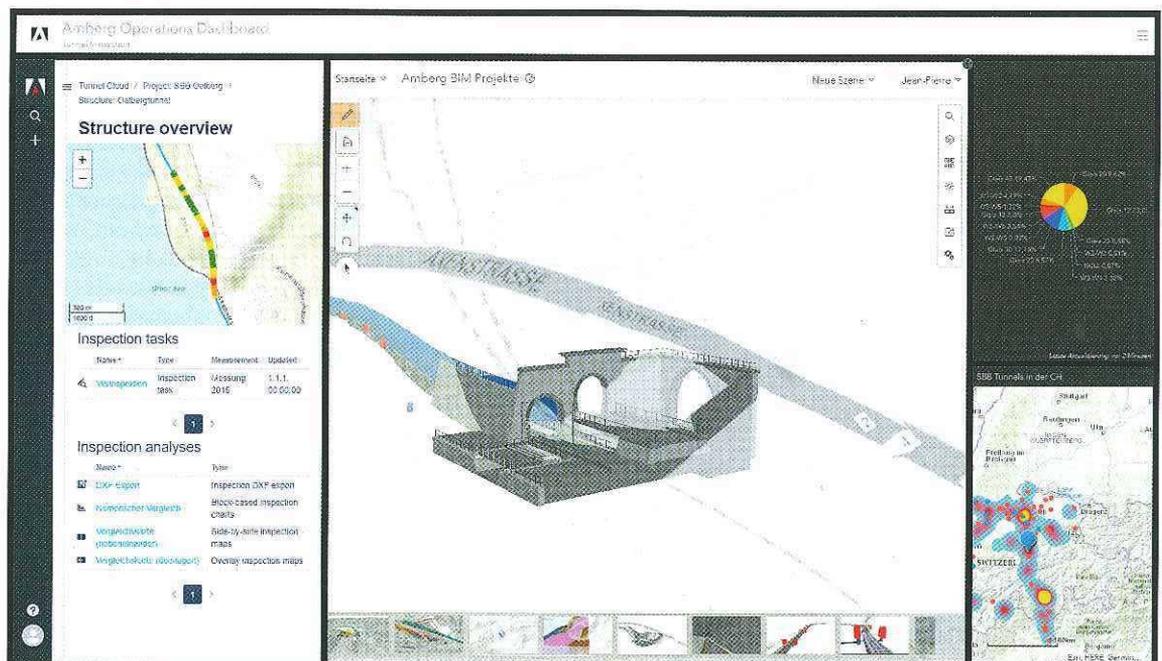
Diese Definition berücksichtigt jedoch nicht, dass die Modellierung einer bestehenden Infrastruktur komplexer ist als die Modellierung neuer Projekte. Zum einen dauert es viel länger, eine Infrastruktur so zu modellieren, wie sie ist, mit all ihren Unvollkommenheiten, Objekten und Verformungen.

Die Modellierung einer neuen Infrastruktur von Grund auf kann in der Regel viel einfacher und schneller durchgeführt werden. Andererseits gibt es auf dem Markt keine spezielle Software zur Modellierung bereits vorhandener Bauwerke. Dieses Fehlen eines gemeinsamen Werkzeuges für die gesamte Branche erschwert den Planungsprozess. Ein weiterer Punkt ist, dass ältere Tunnel für Straßen oder Schienen eine komplexere Geometrie aufweisen als neue, die mit moderneren Arbeitsmethoden gebaut wurden. Das bedeutet, dass perfekt vertikale Wände oder horizontale Fahrbahnen nicht garantiert und die Profile in der Regel nicht einheitlich sind. Schließlich können Konstruktionsfehler oder Abweichungen von den ursprünglichen Plänen recht signifikant sein. Nur das Laserscanning liefert eine genaue Quelle für geometrische Informationen, den sogenannten As-Built-Zustand.

Der Start des Amberg RetroBIM-Projekts

Mit diesen Herausforderungen vor Augen hat Amberg das Projekt RetroBIM gestartet. Insbesondere konzentrierte sich die Forschung auf Tunnel, aber die Ergebnisse und Erfahrungen können für jede beliebige Infrastruktur genutzt werden. Den Start zur Modellierung eines digitalen Zwillings machte der Ölbergtunnel im Herzen der Schweiz. Er ist Teil der Gotthardbahn

Abb. 1: Die Visualisierung des 3D-Modells in ArcGIS zeigt das Portal sowie den Standort des Ölbergtunnels.



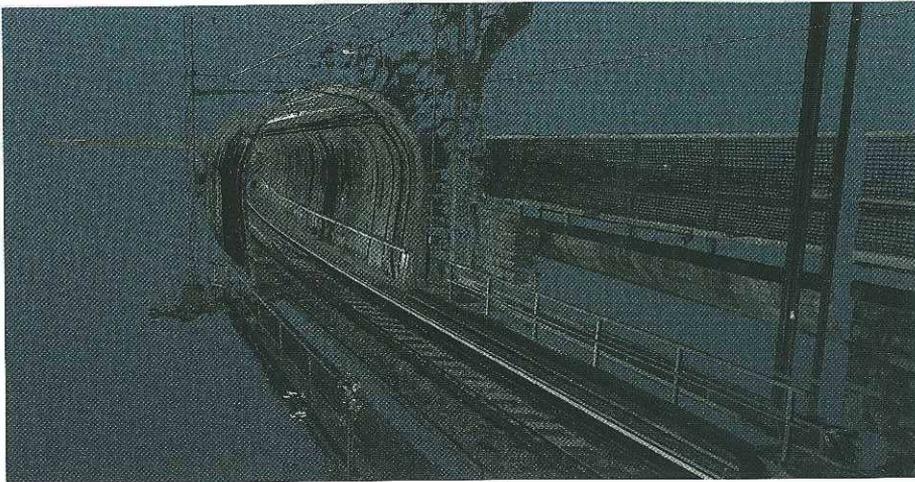


Abb. 2: Punktwolke des Ölbergtunnels nach dem Laserscan

auf der internationalen Transitstrecke zwischen Basel und Chiasso. Die Eigentümerin des zwei Kilometer langen Tunnels, die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), war ein wichtiger Partner in diesem Pilotprojekt.

Wie der Modellierungsprozess funktioniert

Der entwickelte Prozess variiert, je nach den zukünftigen Anwendungsfällen, die in den digitalen Zwilling implementiert werden sollen. Die Hauptziele der Modellierungsprozesse sind jedoch weitgehend die gleichen. Durch die Beobachtung des Modells können zukünftige Anpassungen der Infrastruktur besser visualisiert werden, was den Entscheidungsprozess effizienter macht. Ein weiteres Ziel ist es, 3D-Grafikinformationen schnell und automatisiert zu generieren. Nicht zuletzt unterstützen die Modelle die Entwicklung von Instandhaltungslösungen (Abb. 1).

Der Prozess beginnt mit der Erfassung von Informationen und Basisdaten zur Modellierung. Es gibt sowohl analoge Quellen wie alte Baupläne als auch neuere, digitale Quellen wie Vor-Ort-Messungen oder GIS-Server. Die nützlichsten und zuverlässigsten Daten stammen, wie bereits erwähnt, aus einem Laserscanning des Bauwerks,

welches genaue Informationen über die As-Built-Geometrie liefert.

Je nach Art der Infrastruktur kann der Scan entweder mit stationären Laserstationen oder mit beweglichen Systemen wie Lokomotiven, ferngesteuerten Kleinrobotern, Autos oder manuell geschobenen Messwagen durchgeführt werden. Aufgrund der Länge und der logistischen Komplexität für die Durchführung eines Scans sind bei Straßen- und Eisenbahntunneln solche dynamischen Systeme fast zwingend.

Das Laserscanning erfährt aber auch Einschränkungen in Form von Schatten in den generierten Punktwolken. Diese entstehen aufgrund der Geometrie des Standorts und des für das Scannen verwendeten Systems. Weiter erzeugt das Laserscanning selbst ein Rauschen in Form von ungenauen Punkten. Aus diesen Gründen ist es sehr wichtig, die Punktwolke richtig zu verarbeiten.

Die Datenverarbeitung erfolgt in der Software 3D Reshaper. Zunächst werden die Punktwolkendateien importiert und es wird ein Rauschfilter zum Löschen unerwünschter, ungenauer Punkte angewendet. Danach wird, falls vorhanden, auch die Linienführung des Tunnels als .dxf-Datei aus AutoCAD importiert.

Wenn keine Linienführungsdatei existiert, kann diese mit den vorhandenen Tools der Software erzeugt werden. Sobald die Linienführung erstellt ist, wird die Form des Gewölbes mithilfe der Software erkannt und die weiteren Objekte im Tunnel lassen sich ebenfalls isolieren.

Auch wenn der Prozess bereits bis zu einem gewissen Grad automatisiert ist, sind einige manuelle Qua-

litäts-Checks nötig. In der Regel kann diese Überprüfung in kurzer Zeit durchgeführt werden.

Im nächsten Schritt werden die Punkte des Gewölbes verwendet, um ein Polygonnetz zu erzeugen, das entweder als .dwg- oder als .ifc-Datei exportiert werden kann (Abb. 2). Dieses Polygonnetz enthält Details über Felsspitzen oder Unvollkommenheiten im Gewölbemodell. Da es sich beim Ölbergtunnel aus dem Pilotprojekt um einen Eisenbahntunnel handelt, kann das Netz später dazu verwendet werden, die Kollisionskontrolle in Form eines Lichtraumprofils durchzuführen.

Der nächste Teil des Prozesses besteht darin, die Geometrie aus der Punktwolke zu generieren. Die einzelnen Punktwolken des Gewölbes und der Objekte werden in die 3D-Konstruktionssoftware Rhinoceros exportiert. Das Visual Scripting Plug-in Grasshopper teilt das Gewölbe anschließend in regelmäßige Abschnitte auf. Mit dem Form-Finding Skript Python werden dann die Linien und Kurven mit der Form des jeweiligen Tunnelabschnitts erzeugt.

Der letzte Schritt hin zur starken Informationsquelle

Aus diesem Prozess resultiert eine Polylinie, die hilft, die Form des Gewölbes sowie die Form der Kämpfer, Schienen und Schwellen zu erkennen. Hier liegen die größten Einschränkungen für den neuen Prozess. Es gibt keine Möglichkeit, die tatsächliche Dicke des Gewölbes und der Wände ohne Probenahme oder Standortinspektion zu bestimmen. Außerdem ist es nur mit viel Aufwand möglich zu bestimmen, was genau hinter der sichtbaren Oberfläche der Wand liegt.

Zur Lösung dieses Problems bieten sich zwei Möglichkeiten an: Entweder können die Informationen aus einem der Originalpläne oder Bohrungen abgerufen werden. Die unsichtbaren Strukturen des Tunnels können dann mit einer Mischung aus theoretischen Informationen und Laserscanning vor Ort rekonstruiert werden. Die zweite Möglichkeit besteht darin, nur die sichtbaren Flächen als Geometrien ohne die Ausbaustärke zu modellieren. Die unsichtbaren Rohre, Kabel, Schächte und Objekte werden dann nicht im Modell integriert.

Egal welcher Lösungsansatz in Betracht gezogen wird: Wenn der Tunnel Nischen oder seitliche Strukturen aufweist, muss die Form des Gewölbes manuell angepasst und deren Geometrie dem Modell hinzugefügt werden, da sie bei dynamischen Laserscans nicht leicht zu erkennen ist.

Zusätzliche Objekte, die sich im Tunnel befinden, können anschließend in die Punktwolke integriert werden. Wenn das Objekt nur einmal erscheint, kann es einfach manuell mit der richtigen Position und Größe modelliert werden. Wenn sich jedoch Objekte oder Systeme wie Kabel, Rohre, Schienen, Schwellen usw. über die gesamte Länge des Tunnels erstrecken, können sie automatisch mit Scripts entweder in der Software Grasshopper oder Python erzeugt werden.

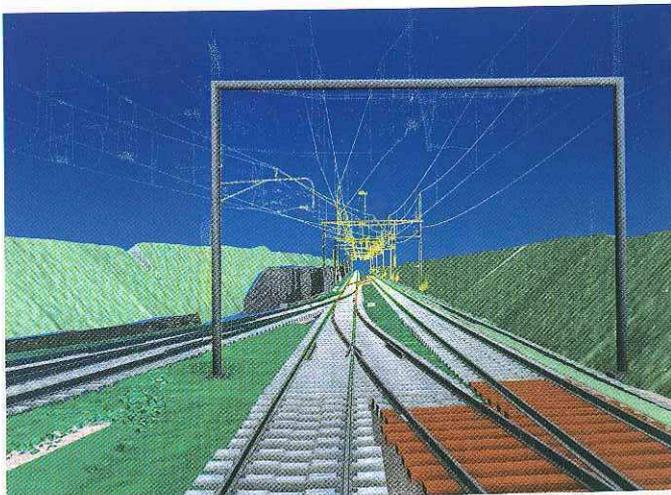


Abb. 3: Das 3D-Modell der Gleisanlage in Mellinger

Sobald jedes Element im Tunnel richtig definiert ist, wird das Plug-in VisualArq verwendet, um die Objekte über Skripte mit den für das Projekt relevanten Informationen versehen. Dazu gehören Name, Objekttyp, Material, Kilometerstand, GUID etc.

In einem letzten Schritt kann das Modell als .ifc-Datei exportiert und in jede handelsübliche Software eingelesen werden, um das Projekt mit dem Kunden und relevanten Anspruchsgruppen weiter zu koordinieren.

Die 3D-BIM-Modellierung einer bestehenden Infrastruktur ist erst der Ausgangspunkt eines Projekts. Aber es ist bereits eine starke Informationsquelle inklusive aussagekräftiger Metadaten wie Graustufenbilder, Lichtraumprofil, Fotodokumentation, Vermessungs- und Inspektionsdaten etc. Es erleichtert die Kommunikation zwischen allen Beteiligten für weitere Projektschritte wie zum Beispiel Sanierungsmaßnahmen und Unterhalt maßgeblich. Das auf diesem Weg erstellte 3D-Modell vom Pilotprojekt Ölbergtunnel ist in einem GIS-Umfeld georeferenziert und lässt sich übersichtlich auf einer Landkarte visualisieren. Weiter kann es einfach mit anderen BIM-Modellen, Clouds, Datenbanken und Sensorinformationen verknüpft werden.

Weitere BIM-Einsatzmöglichkeiten bei bestehenden Infrastrukturen

Die Modellierung einer bestehenden Infrastruktur hat viele Vorteile. So können dank Laserscanning Daten schnell und ohne lange Sperrzeiten erfasst und in guter Qualität mit hohem Automatisierungsgrad verarbeitet und modelliert werden.

Die Arbeitsmethode erreichte beim Projekt der Fahrbahnerneuerung im schweizerischen Mellingen eine neue Stufe (Abb. 3 und 4). Der Schotter-Ersatz bei 310 Metern Gleis und sechs Weichen inklusive Kabelanlagen mussten mit hohem Termindruck umgesetzt werden. Erstmals stand beim Einsatz von BIM nicht die modellgestützte Planung im Fokus, sondern die Ausführung. Das Pilotprojekt beinhaltete die „Machine Readability“ der Daten aus dem zuvor erstellten 3D-Modell, welches aus Scan- und Bestandsdaten des Kunden generiert wurde. Die Schnittstelle zwischen dem BIM-Modell und den digitalen Steuerungssystemen von Bagger und Bulldozer funktionierte und so konnten trotz knapper Sperrzeiten die geforderten Arbeiten schnell und mit höchster Präzision umgesetzt werden. Aber nicht nur dieser sogenannte „BIM to field“-Ansatz verlief erfolgreich, auch die Analyse der generierten Daten der Baumaschinen zu Aushubtiefe und Einbauhöhe zurück zum Modell funktionierte. Zudem wurde die papierlose Baustelle mit einem cloudbasierten Dokumentenmanagementsystem Realität.

Die Vereinfachung des Gebäudemanagements ist eine weitere Stärke der 3D-Modellierung. Ebenfalls in der Schweiz hat Amberg im Bözbergtunnel die gesamten Kabelanlagen modelliert. Der Kunde erhält so nicht nur einen Überblick über den Bestand seiner existierenden Anlagen, er ist auch in der Lage, künftig neu eingebaute Installationen, Kabel etc. in seinem Modell zu ergänzen (Abb. 5).



Abb. 4: Die Fahrbahnerneuerung in Mellingen wurde erstmals mit den Daten aus einem BIM-3D-Modell umgesetzt.

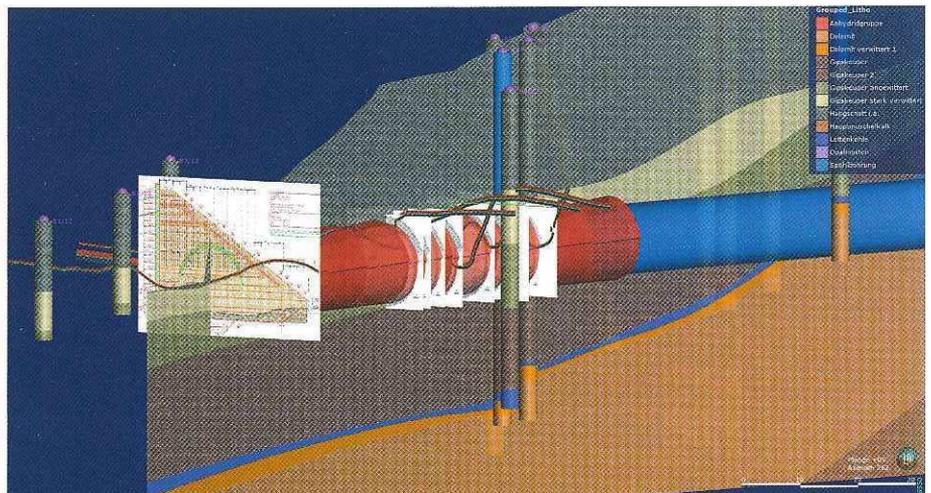


Abb. 5: Georeferenziertes Modell des Bözbergtunnels

Verfügt der Kunde über eine große Zahl von Bauwerken, kann er sich dank der Georeferenzierung im Programm ArcGis eine detaillierte Übersichtskarte aller Bauwerke erstellen. In welchem Zustand sich jede einzelne Infrastruktur befindet, lässt sich so schnell, übersichtlich, ortsunabhängig und zentralisiert bestimmen. Weiter lassen sich in dieser Datenbank auch Informationen zur Geologie, Wetter, Fahrplan, Verkehr und Luftqualität einbinden.

Ausblick

BIM wird in Zukunft eine wichtige Rolle innerhalb der Tunnelbauindustrie spielen. Deshalb wird Amberg seine Pionierarbeit bei der Digitalisierung im Bereich der ober- und unterirdischen Infrastrukturen fortsetzen. Immer mit dem Bestreben, die digitale Zukunft weiter zu gestalten und neue Technologien wie Machine Learning in künftigen Projekten umzusetzen. Amberg legt dabei den Fokus auf die Kosteneffizienz und die Nachhaltigkeit einer Infrastruktur über ihren gesamten Lebenszyklus. ■



Felix Amberg

Präsident
Amberg Group AG
famberg@amberg.ch



Philipp Dohmen

Project Leader Digitalisation
Amberg Group AG
pdohmen@amberg.ch