

BIM im Untertagebau – Erwartungen aus Bauherrensicht

Dipl. Ing., Heinz Ehrbar
DB Netz AG / ETH Zürich

Kurzfassung

Die Digitalisierung des Bauwesens schreitet zügig voran. Bis Ende 2020 sollen gemäss dem Stufenplan des Bundes alle neuen Infrastrukturprojekte mit der Methode Building Information Modelling (BIM) geplant werden. Was bedeutet diese Herausforderung für die Untertagebauprojekte? Untertagebauten unterscheiden sich von den Hochbauten insbesondere dadurch, dass es sich in der grossen Mehrheit um eine Kombination langer, lineare Bauten handelt (Tunnel, Stollen, Schächte) mit Bauten mit stark variablen Querschnitten (Kavernen, Aufweitungs-/Verengungstrumpeten etc.). Untertagebau werden in und mit einem Baumaaterial gebaut, welches trotz aller Vorausuntersuchungen kaum je vollständig bekannt ist. Digitale Modelle müssen deshalb in der Lage sein, komplexe, großflächige lineare Strukturen mit variablen Querschnitten abzubilden, aber auch die Kenntnisse, bzw. den Grad der fehlenden Erkenntnisse über den Baugrund phasengerecht wiederzugeben. Damit dies gelingt gilt es noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten. Insbesondere ein kluges LoD/LoI-Konzept zum Thema Baugrund wäre ein wesentlicher Fortschritt. Basierend auf bereits laufenden Entwicklungen sollte das Thema rasch angegangen werden um der Digitalisierung im Untertagebau zum Durchbruch zu verhelfen.

Schlüsselwörter

BIM, Digitalisierung, Baugrundmodell, Bestandsmodell, Masterplan Untergrund, partnerschaftliche Projektabwicklung.

1. Infrastrukturbauten sind kein Selbstzweck

Bauen dient üblicherweise dem klaren Zweck typische menschliche Bedürfnisse zu befriedigen. Dies gilt insbesondere auch für Infrastrukturbauten und damit für die meisten Untertagebauten, welche dazu dienen die Bedürfnisse nach Transport Personen und Gütern zu befriedigen, die Ver- und Entsorgung sicherzustellen oder aber das Bedürfnis nach Sicherheit in Form von Schutzräumen oder militärischen Anlagen abzudecken.

Diese Tatsache mag banal tönen, im Zusammenhang mit der Digitalisierung ist sie jedoch wichtig. Jegliche Bestrebungen zur Verbesserung der Abwicklung von Bauprojekten muss den abschliessenden Nutzen dieser Bestrebungen im Auge behalten. Digitalisierung, nur der Digitalisierung willen, wird wohl kaum zielführend sein. Vielmehr muss die Digitalisierung sicherstellen, dass in Kundennutzen entsteht, d.h. dass bessere Infrastrukturanlagen geplant,

gebaut und betrieben werden und dass die Infrastrukturanlagen aber auch besser geplant, gebaut und betrieben werden können.

Infrastrukturanlagen und insbesondere Untertagebauten haben grundsätzlich eine lange Projektdauer, weshalb deren Kundennutzen oft erst nach vielen Jahren spürbar wird. Es ist darum nachvollziehbar, dass die Digitalisierung der Infrastrukturprojekte im Tiefbau etwas langsamer voranschreitet, als im Hochbau. Diese Tatsache soll jedoch nicht hindern, die dringend gebotenen Entwicklungsschritte für die Digitalisierung des Untertagebaus zügig anzugehen um damit ein wesentliches Fundament zur partnerschaftlichen Projektabwicklung und besseren Projektergebnissen zu legen.

2. Aktuelle und künftige Herausforderungen bei Infrastrukturprojekten

Infrastrukturprojekte, auch die Untertageprojekte, haben die Anforderungen des «magischen Dreiecks» des Projektmanagements, nämlich die Qualitäts-, die Kosten- und Terminziele unter angemessener Berücksichtigung der gesellschaftlichen Bedürfnisse zu erfüllen.

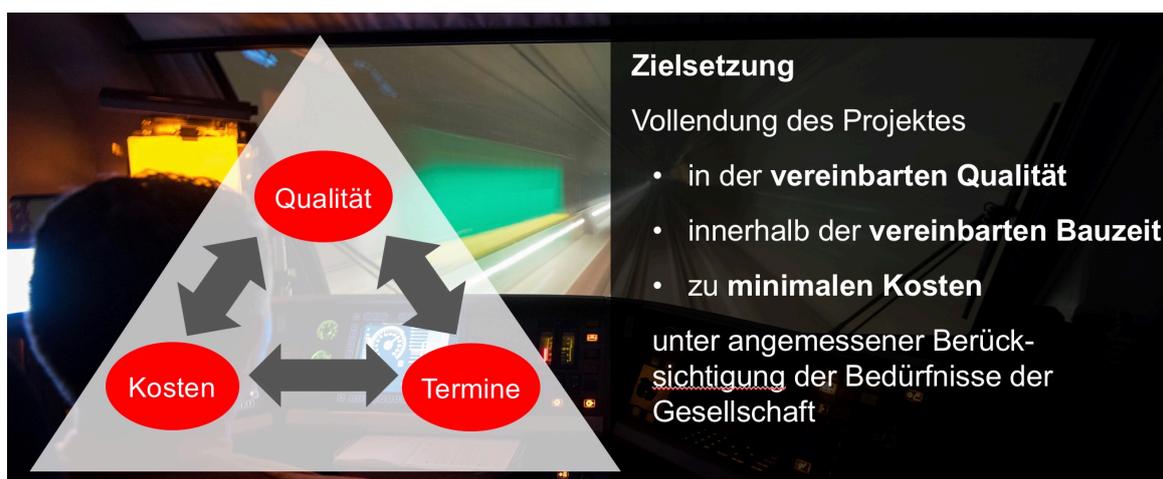


Bild 1. Generelle Projektanforderungen

Es ist ein offenes Geheimnis, dass das Einhalten der Projektziele oft nur unvollständig gelingt. Die oft zitierte Studie von Flyvberg /1/, der Endbericht der Reformkommission des BMVI /2/ in Deutschland aber auch DB-interne Analysen aus dem Jahr 2012 zu 88 abgeschlossenen Projekten bestätigen die Aussage, dass Grossprojekte zum grossen Teil nicht zum geplanten Zeitpunkt und mit einer Kostenabweichung von mehr als 10% gegenüber der ersten Kostenschätzung (Ende Leistungsphase 2) ins Ziel gelenkt werden. Allen betroffenen Organisationen ist es klar, dass diese Situation nicht befriedigend ist und dass diese mit geeigneten Maßnahmen zu verbessern ist.

Um diese nicht befriedigende Situation zu verbessern hat die Reformkommission des BMVI in der Zeit von 2013 bis Mitte 2015 einen Satz von 10 wesentlichen Empfehlungen zur Ver-

besserung der Situation ausgearbeitet, welche eine starke interne Verknüpfung untereinander haben:

- Kooperatives Planen im Team
- Erst planen, dann bauen
- Verbindliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
- klare Prozesse und Zuständigkeiten/Kompetenzzentren
- Stärkere Transparenz und Kontrolle
- Risikomanagement und Erfassung von Risiken im Haushalt
- Vergabe an den Wirtschaftlichsten, nicht den Billigsten
- Partnerschaftliche Projektzusammenarbeit
- Außergerichtliche Streitbeilegung
- Nutzung digitaler Medien – Building Information Modeling

Aufgrund der aktuellen politischen Situation wurden dann nicht alle Themenbereiche gleich intensiv vorangetrieben. Positiv zu vermerken ist die Tatsache, dass die Nutzung der digitalen Medien mit viel Unterstützung weiter geht. Andere Themen, welche zwingend parallel zur Digitalisierung vorangetrieben werden müssen, wie z.B. die flächendeckende Implementierung eines qualifizierten Projektrisikomanagements und der Wille zur partnerschaftlichen Projektzusammenarbeit genießen nicht die gleiche Aufmerksamkeit. Dies muss sich aber ändern, soll die Digitalisierung des Bauwesens zum Erfolg werden. Die digitalen Methoden, partnerschaftlich und unter Einbezug des Projektrisikomanagements angewendet, bieten ausgezeichnete Möglichkeiten, bessere Infrastrukturprojekte zu planen, bauen und zu betreiben und diese Projekte dann auch besser zu planen, zu bauen und zu betreiben.

Diese Verbesserungen rasch zu erzielen sind die Schlüsselherausforderungen der kommenden Jahre, insbesondere unter Berücksichtigung des geplanten und notwendigen Investitionshochlaufs in die deutsche Verkehrsinfrastruktur.

3. Erwartete Beiträge der Digitalisierung zum besseren Planen, Bauen und Betreiben von Untertageprojekten

3.1 Die besonderen Randbedingungen des Untertagebaus

Die zuvor beschriebenen Sachverhalte gelten generell für Infrastrukturbauten. Im Rahmen dieses Beitrags soll aber die Frage beantwortet werden, was dies aus Bauherrensicht generell für die Untertagebauten bedeutet. Dazu muss die Frage beantwortet werden, was Untertagebauten von anderen Bereichen des Bauwesens, insbesondere auch vom Hochbau unterscheidet.

Untertagebauten haben zwei wesentliche Unterscheidungsmerkmale insbesondere gegenüber Hochbauten:

1. Zur grossen Mehrheit handelt es sich bei Untertagebauten um eine Kombination langer, linearer Bauten (Tunnel, Stollen, Schächte) mit Bauten mit stark variablen Querschnitten (Kavernen, bzw. Aufweitungs-/Verengungstrumpeten).
2. Untertagebauten werden in und mit einem Baumaterial gebaut, welches trotz aller Vorausuntersuchungen bezüglich seiner Festigkeits- und Verformungseigenschaften kaum je vollständig bekannt ist.

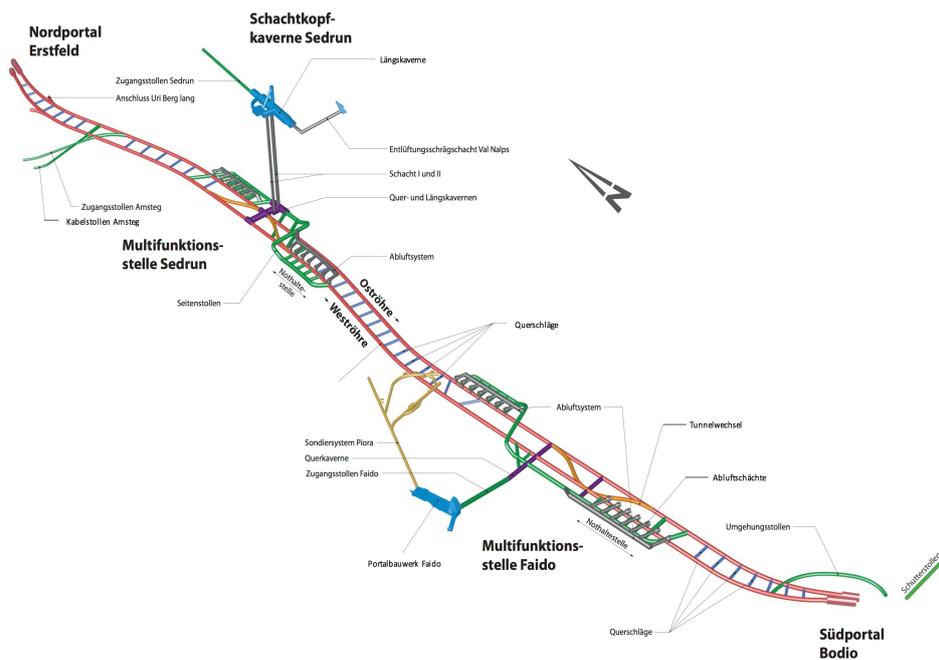


Bild 2. 3D-Darstellung eines komplexen Untertagebauwerks (Gotthard-Basistunnel;
Quelle: Amberg Engineering AG /3/

3.2 Erwarteter genereller Nutzen der digitalen Modelle

Die Realisierung von Infrastrukturanlagen folgt dem allgemein bekannten HOAI-Prozessmodell. Anfänglich werden die Projektanforderungen definiert, anschliessend werden die an das Projekt gestellten Anforderungen über Prozesse realisiert, bis schliesslich alle Anforderungen umgesetzt sind, damit das Projektziel erreicht ist und die Infrastrukturanlage dem Betreiber übergeben werden kann. Auf dem Weg ins Ziel, d.h. bei der Prozessumsetzung tauchen Gefahren auf, welche die Erfüllung des Projektziels erschweren, bzw. verunmöglichen oder es ergeben sich aber Chancen, welche die Zielerreichung erleichtern.

Als typische Gefahr des Untertagebaus ist das Baugrundrisiko mit all seinen Facetten zu nennen, welches im Zusammenspiel vieler Beteiligter (Bauherr, Behörden, Projektplaner, viele Fachplaner, Unternehmer, Bauüberwachung, Prüfengeieure und Sachverständige und der spätere Betreiber) zu beherrschen ist. Durch die Schaffung digitaler Plattformen die soll die

Zusammenarbeit unter den Beteiligten verbessert werden um dadurch einen positiven Beitrag zur Behebung der in Kap. 2 beschriebenen Unzulänglichkeiten in der Projektabwicklung werden. Die generelle Erwartungshaltung an die digitalen Modelle lautet deshalb wie folgt:

Die digitalen Modelle sollen:

1. Einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Prozesse zu beschleunigen
2. Es erlauben die Prozesse in besserer Qualität ins Ziel zu lenken

Eine generelle Prozessbeschleunigung (1.) ist dann möglich, wenn:

- a) Die Durchlaufzeiten der einzelnen Prozesse verringert werden können
- b) Die Prozesse vermehrt parallel ablaufen können

Eine bessere Gefahrenabwehr und Chancennutzung (2.) gibt es dann, wenn:

- c) den Entscheidungsträgern die für die jeweils anstehenden Entscheidungen relevanten Informationen in umfassender, aber leicht lesbarer und leicht verständlicher Form zur Verfügung stehen
- d) Eine systematische, leicht zugängliche Sammlung an Erfahrungen und Wissen zu Verfügung steht.

Die generelle Erwartungshaltung an die digitale Welt im Bauwesen besteht darin, dass es gelingt aus die grosse Menge an maschinenlesbaren Daten konsistente, widerspruchsfreie Informationen zu schaffen, welche allen Entscheidungsgremien in leicht lesbarer Form auf gemeinsamen Plattformen gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden.

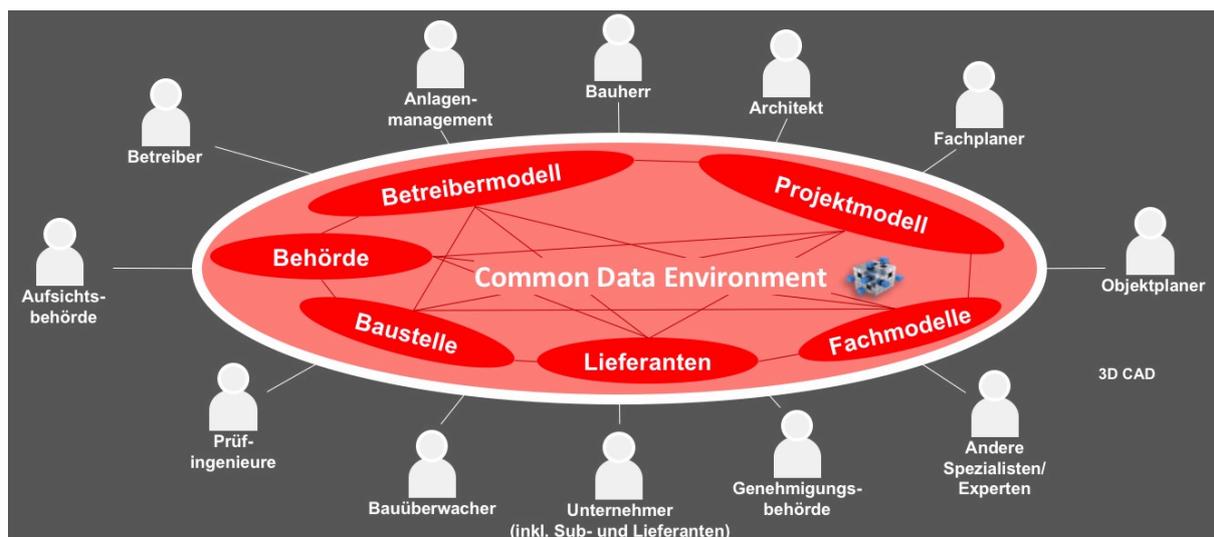


Bild 3. Ziel: Gemeinsam nutzbare Informationsplattform für alle Projektbeteiligten

3.3 Anwendungsfälle des Untertagebaus

Mit dem Fokus auf den Untertagebau, stellt sich nun die Frage, was die spezifischen Erwartungen an die digitalen Modelle mit Bezug auf Untertagebauten sind. Dazu macht es Sinn, sich mit den typischen Anwendungsfällen zur Applikation von BIM-Modellen auseinanderzusetzen und die untertagebauspezifischen Anforderungen herauszuschälen. Die Liste der Anwendungsfälle, soll dabei keinesfalls als BIM-Vorgabeliste verstanden werden, welche es in jedem Projekt lückenlos abzuarbeiten gilt, sondern als Auflistung möglicher Anwendungsfälle in einem typischen Projekt.

Tabelle 1. Typische BIM – Anwendungsfälle für den Untertagebau (fett = später kommentiert)

Typische Anwendungsfälle	Spezifische Herausforderungen des Untertagebaus
1. Bedarfs- / Engpassanalysen	Keine untertagespezifischen Anforderungen
2. Bestandsaufnahme / 3D-Bestandsmodellierung	Integration unterirdischer (nicht sichtbarer) Infrastruktur und der Daten zum Baugrund
3. 3D-Baugrundmodellierung	Schaffung von leicht lesbaren Bestands- und Baugrundmodellen unter Berücksichtigung einer konsistenten LOD-Logik
4. 3D-Trassen- und Variantenvergleich	Variantenvergleiche auf der Basis von 3D-Bestandsmodellen unter Berücksichtigung des Baugrundmodells (inkl. Störzonen, Grundwassereinflüsse etc.)
5. 3D-Visualisierungen/Öffentlichkeitsarbeit	Visualisierung von Portalzonen, unterirdischen Stationen
6. Kollisionsprüfungen	Ermöglichung von Kollisionsprüfungen mit unterirdischen Anlagen (Werkleitungssysteme, unterirdische Bestandsbauten), bautechnisch schwierigen Zonen und Schutzzonen (Archäologische Fundstellen, Grundwasser etc.)
7. 3D-Modellierung Geometrie	Schaffung eines Geometriemodells, auf welches für alle spezifischen Anwendungsfälle zugegriffen werden kann (Ausführungsprojektierung, Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise, Entrauchungssimulation, Entfluchtungssimulation, etc.)
8. 3D-Planungskoordination	Frühzeitige Planungskoordination über sämtliche Gewerke im unterirdischen Hohlraum (analog der Koordination Rohbau – TGA im Hochbau)
9. Bemessung / Nachweisführung	Bemessung und Nachweisführung mit Werkzeugen, welche in der Lage sind auf die 3D-Modelle zur Geometrie und des Baugrundes zuzugreifen.
10. 4D-Bauablaufplanung	Simulation von Bauabläufen unter Berücksichtigung der Interaktion mit dem Baugrundverhalten (so weit machbar)
11. 5D-Modellierung / Kostenverlauf	Aufzeigen der Bandbreite möglicher Endkosten und Endtermine auf Basis der hinterlegten Baugrunddaten und deren Unschärfe
12. BIM – basiertes Planfeststellungsverfahren	Keine untertagespezifischen Anforderungen, jedoch eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Projektbeschleunigung
13. Erstellen von 2D-Plänen nach Bedarf	Integration des Baugrundmodells (samt dessen phasenabhängigem Genauigkeitsgrad)
14. Objektbasierte Mengenermittlung	Ermittlung der erwarteten Massen inkl. die von den Vortriebsmethoden abhängigen möglichen Mengenänderungen in Abhängigkeit der Phasen und des LOD-Konzeptes
15. Teilautomatisierte LV-Erstellung	Erstellung von Massenauszügen unter Berücksichtigung der vortriebsmethodenabhängigen Mehr-/Minderungen

16. Modellbasierte Ausschreibung	Umsetzung des bewährten Homogenbereich/Vortriebsklassenkonzeptes über eine entsprechende Implementierung eines geeigneten LOD-Konzeptes für maschinellen und konventionellen Vortrieb
17. Ausführungsterminplanung	Vortriebsprognose, inkl. Bandbreiten unter Berücksichtigung der Streubreiten des Baugrundmodells
18. Steuerung / Optimierung Baustellenlogistik	Verbesserung der Möglichkeiten zur Lean-Produktion im Vortrieb und im rückwärtigen Bereich, automatisierte Bauproduktion
19. Baufortschrittskontrolle	tagesscharfe Ist-Aufnahmen unter Einbezug der Maschinendaten im maschinellen Vortrieb und von Laserscans und georeferenzierten Photodokumentationen im konventionellen Vortrieb
20. Änderungsmanagement	tagesscharfe Unterstützung der Entscheidungen zu baugrundbedingten Änderungen, inkl. nachhaltige Dokumentation
21. Stichtagsgenaue „Earned Value Analyse“	stichtaggenauer Abgleich von Soll- und Ist-Daten
22. BIM-basierte Bauaufsicht	Digitale Dokumentation des Bauvorgangs (insbesondere im konventionellen Tunnelbau
23. Modellbasierte Abrechnung von Bauleistungen	Automatisierte Abrechnung im konventionellen Vortrieb aufgrund digitaler Aufnahmen
24. Mängelmanagement	Vollständige Erfassung von Mängeln und der Maßnahmen zu deren Behebung im digitalen Modell
25. „As built“ Bauwerksdokumentation	Übergabe nachgeführten des digitalen Modells, inkl. Baugrundmodell, Dokumentation von Mängeln und deren Behebung in betreibergerechter Form an den Infrastrukturbetreiber und allfällige Regulatoren.

3.3 Analyse ausgewählter Anwendungsfälle

Bestandsaufnahme / Unterirdische Raumordnung

Nicht nur auf der Erdoberfläche und im Luftraum wird es vielerorts enger, sondern auch bei der intensivierten Nutzung des Untergrundes kommt es mittlerweile insbesondere in urbanen Regionen zu Engpässen. Nicht überraschend haben deshalb erste urbane Regionen wie z.B. die Städte Helsinki und Singapur begonnen Masterpläne für die künftige Nutzung des Untergrundes aufzustellen.

Nachdem die Stadt Singapur die Aufbauarbeit zur überirdischen 3D-Kartierung im Rahmen der Smart Nation-Initiative weit vorangeschritten sind, wurde ein weiteres Projekt beschlossen um künftig ein genaues digitales 3D-Abbild der Versorgungsnetzen und der unterirdischen Infrastrukturanlagen zu schaffen. Als Fernziel soll ein integriertes 3D-Übertag- und Untertagmodell für die gesamte Stadt geschaffen werden.

Während der überirdische Anlagenbestand heutzutage mit dem Einsatz von Drohnen, Flugaufnahmen etc. wirtschaftlich erfasst werden kann, gibt es für den Anlagenbestand im Untergrund trotz Georadargeräten noch keine entsprechenden Methoden, welche es grossflächig erlauben würden mit entsprechender Genauigkeit durch den Boden zu sehen.

Um jedoch das Ziel eines integrierten 3D-Untertagmodells für die unterirdischen Anlagen zu erreichen, müssen genaue Informationen der Versorgungsnetze in einer konsistenten Form somit erst noch erfasst werden. Dazu wird derzeit in Singapur eine entsprechende Roadmap erarbeitet, welche mit welcher die Richtlinien für die Beschaffung und dauerhafte Pflege der digitalen Daten bestehender und neuer Versorgungsnetze sowie der unterirdischen Infrastrukturbauten geschaffen werden.

Das integrierte 3D-Modell soll künftig den Planern und Betreibern helfen, die dichten und mittlerweile sehr komplexen Versorgungsnetzwerke besser zu verstehen, damit deren Ausbau, Betrieb und Unterhalt künftig effizienter gestaltet werden können. Zudem sollen die unterirdischen Systeme, nach entsprechenden einschlägigen Erfahrungen, mit den digitalen Modellen widerstandsfähiger gegen Störungen gestaltet werden.

Die Nutzung des Untergrundes wird auch im europäischen Umfeld immer komplexer wie die Beispiele für die Bahnbauten Crossrail in London, 2. Stammstrecke München und Durchmesserlinie in Zürich zeigen.



Bild 4. links: Blockschema zur Nutzung des Untergrunds in der Stadt Singapur (Quelle: URA) rechts: klassische 2D-Leistungskatsterpläne (Zürich und Singapur) Quelle: Mitte: GeoZ, Stadt Zürich (2016); Rechts: SLA, Singapur (2016)

Es ist deshalb zu erwarten, dass bald auch einmal in den europäischen Städten das zentrale Verwalten aller Daten zur unterirdischen Infrastruktur und das Setzen von planerischen Leitplanken zur Nutzung des Untergrundes zu einem Thema werden dürfte und entsprechende digitale Lösungen zügig gefunden werden müssen, analog dem Vorgehen in Singapur.

Der dem ehemaligen schweizerischen Verkehrsminister Moritz Leuenberger zugeschriebene Spruch *«Der unterlassene raumplanerische Weitblick hat in der Regel keine zweite Chance»*. soll sich für den Untergrund nicht bewahrheiten.

3D - Baugrundmodelle

Untertägige Bauten werden in den Baugrund eingebettet. Während deren Planung und Erstellung ist die Interaktion zwischen Bauwerk und dem umgebenden Baugrund vom Planer und dem ausführenden Unternehmer jederzeit zu beherrschen. 3-dimensionale Modelle des Baugrundes für den betroffenen Planungssperimeter könnten helfen, diese Aufgabe in allen Phasen des Projekts besser zu bewältigen. Dies würde insbesondere dann gelten, wenn es gelänge, die Erkenntnisse aus dem Vortrieb systematisch auszuwerten und künftigen Projekten zur Verfügung zu stellen.

Vor der vielerorts vorherrschenden Meinung, dass ein solches Unterfangen ohne entsprechende Vereinfachungen nicht machbar wäre, muss meiner Ansicht nach klar gewarnt werden. Wenn digitale Modelle nur dazu führen würden, dass der von unseren Vätern im Schein des Petrollichts erschaffene hohe Standard in der Baugrundmodellierung nicht mehr gepflegt werden kann, so müsste man davon wohl Abstand nehmen, denn dies wäre als Rückschritt zu bezeichnen.

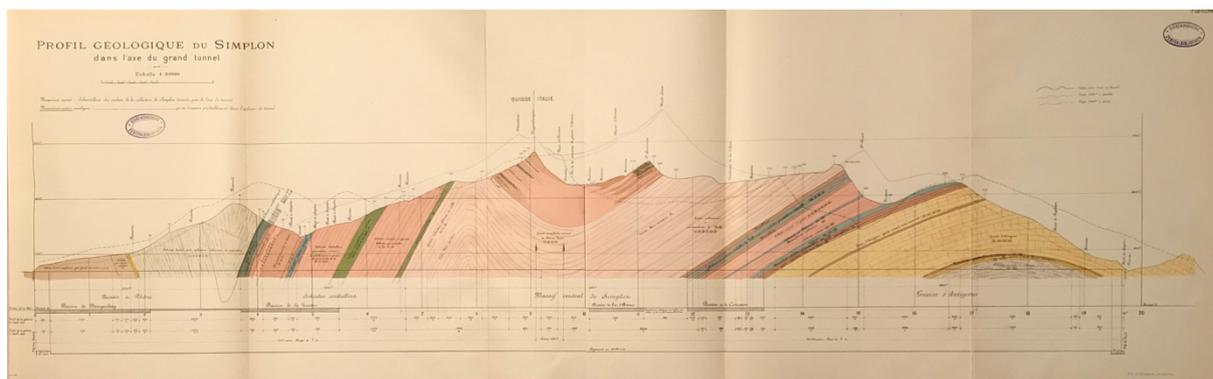


Bild 5. Prognoseprofil des Simplontunnels (1893)

Auch unsere Vorfahren haben aber in der Projektierungsphase nicht gleich alle Details in Ihre mit Tusche gezeichnete Pläne eingepflegt. Die Erkenntnisse wurden der Projektentwicklung entsprechend laufend verdichtet. Nichts hindert uns daran, dies heute auch zu tun. In der BIM-Sprache würde es wohl bedeuten, ein konsistentes LOD/LOI-Konzept für den Baugrund und die darin eingebetteten Untertagebauten zu entwickeln. Nationale und internationale Fachbehörden und -verbände wären in Zusammenarbeit mit den Hochschulen wohl gefordert sich diesem Thema umgehend anzunehmen, wenn die Digitalisierung auch im Untertagebau umfassend und zügig Einzug halten sollte.

In diesem Sinne ist es erfreulich, feststellen zu können, dass nicht nur in Singapur systematisch landesweite 3D-Modelle entwickelt werden, sondern auch im europäischen Raum. Im Rahmen des EU-Programms «INTERREG IV B Alpine Space» sind mit dem EU-Projekt «GeoMol – Bewertung von Geopotenzialen für die nachhaltige Planung und Bewirtschaftung na-

türlicher Ressourcen in den alpinen Vorlandbecken» 3D-Modelle der nördlichen und südlichen alpinen Vorlandbecken in der Schweiz, Deutschland, Österreich und Italien entstanden.

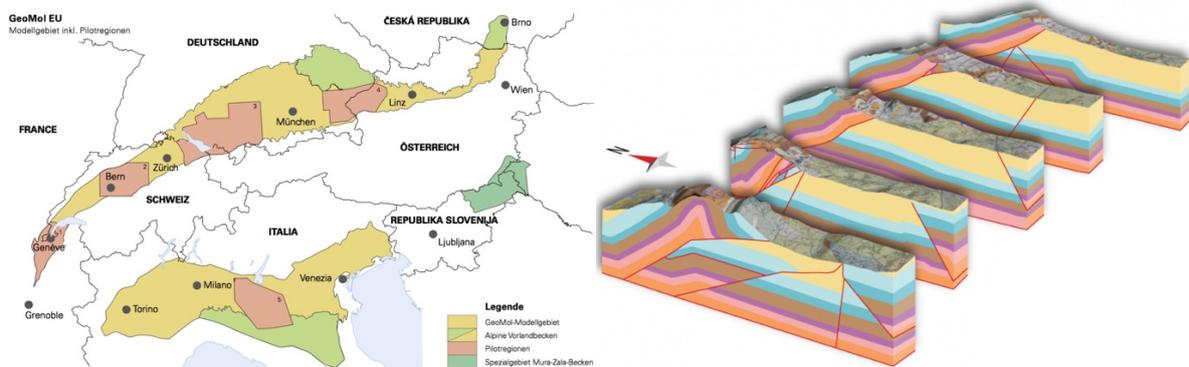


Bild 6. Links: Modellgebiete und Pilotregionen der EU-Projektes GeoMol

Rechts: 3D-Geologiemodell der Region Balsthal in der Schweiz

Quelle: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geologie/geologische-daten/3d-geologie.html>

Innerhalb des Projekts wurden dann in Pilotregionen mit detaillierteren Modellen spezifische Fragestellungen bearbeitet. Diese beinhalteten Studien zu Geothermie- und CO₂-Speicherpotenzial als auch zur Erdbebengefährdung. Denkbar ist natürlich, dass solche Modelle auch für das Variantenstudium unterirdischer Infrastrukturanlagen verwendet werden.

Ansätze für ein durchgängiges Iol/LoOD-Konzept für Baugrundmodelle sind mit den beschriebenen Arbeiten vorhanden. Die Modelle könnten nun stufenweise verfeinert werden um diese dann den Einzelprojekten des Untertagebaus zur Verfügung zu stellen.

Digitale 3D-Baugrundmodelle von hoher professioneller Qualität stellen die relevanten Baugrundinformationen allen Beteiligten gleichzeitig und in konsistenter Qualität zur Verfügung (single source of truth-Konzept auch beim Baugrund). Bei klaren Regelungen wie mit dem Erkenntnisgewinn über den Baugrund aus Sondierkampagnen und Tiefenseismik bzw. aus den Vortriebsbeobachtungen umzugehen ist, würde der flächendeckende Informationsgehalt solcher Modelle rasch zunehmen.

Damit eine solche Entwicklung gelingt, braucht es die entsprechenden regulatorischen Festlegungen, wie die Datenstrukturen phasengerecht auszusehen haben, und über welche Wege die Daten nachhaltig gepflegt werden (vgl. Beispiel Roadmap Singapur).

Kollisionsprüfungen im Untergrund

Eine der wesentlichen BIM-Anwendungen ist die Kollisionsprüfung in verschiedenen Dimensionen, wie zum einen die Prüfung von Kollisionen gegenüber anderen, bereits existierenden untertägigen Strukturen, wie Bild 7 links am Beispiel von Crossrail in London zeigt. Zum anderen geht es aber darum auch innerhalb eines Bauwerks potenzielle Konflikte frühzeitig

zu erkennen (z.B. bei komplexen Leitungsführungen (Bild 7 rechts)) und noch am Bildschirm durch Planungsanpassungen zu beheben. Der streng limitierte Hohlraum lässt oft nur geringe Handlungsspielräume zu, wenn man aufwändige Zusatzausbrüche vermeiden will.

Voraussetzung für die Realisierung von Kollisionsprüfungen (sei es ganzer Bauteile untereinander oder aber allfälliger Stützmittel oder Bauhilfsmassnahmen) mit anderen unterirdischen Bauten, wäre das Erfassen des unterirdischen Bestandes in entsprechenden Datenmodellen, wie vorher beschrieben.

Etwas anders gestaltet sich die Kollisionsprüfung innerhalb des künftigen Hohlraums, bei dem es um eine «hochbaunahe» Aufgabenstellung (Vermeidung von Leitungskollisionen, Licht-raumverletzungen etc.) geht, welche mit heutigen Mitteln bereits beherrschbar ist.

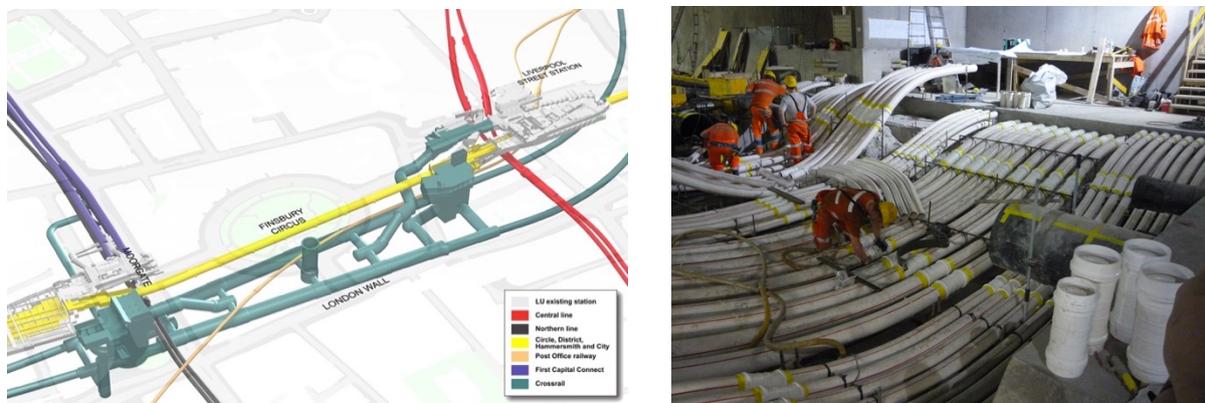


Bild 7. Integration von Crossrail London in bestehende Infrastruktur (Quelle: Crossrail)
Verlegung von Kabelschutzrohren MFS Sedrun, Gotthard-Basistunnel (Quelle: ATG, Luzern)

Projektsteuerung

Im Gegensatz zum Hochbau ist die Steuerung der Baustelle während der Ausbruchphase von der dauernden Interaktion des Baugrundes mit der getroffenen baulichen Massnahme geprägt. Um die entsprechenden Maßnahmen z.B. die Festlegung der Ausbruchsicherung im konventionellen Vortrieb gegenseitig vereinbaren zu können, braucht es Informationen. Leistungsfähige Werkzeuge zur Erfassung der relevanten Daten und zur Ausgabe leicht lesbarer Informationen stehen schon heute zur Verfügung, wie z.B. das **Measurement while Drilling (MWD)**-System von Sandvik oder die Laserscantechnik zur Hohlräumeaufnahme. Auch Verformungsmessungen, sei es aus Extensometermessungen oder aber aus Konvergenzmessungen lassen sich heute schon in integrale Datenmodelle einpflegen. Davon ist als «state of the art» Gebrauch zu machen. Sämtliche Daten sind den Entscheidungsträgern in leicht lesbarer Form zur Verfügung zu stellen.

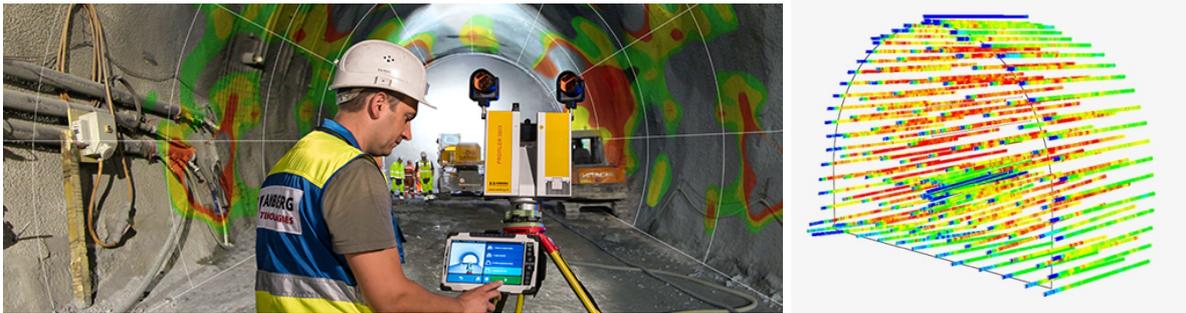


Bild 8. Rechts: MWD-Aufnahme im Tunnel Solbakk, Norwegen (M. Filipponi, Marti AG, /4/) Links: Laserscans zur Profilkontrolle (Amberg Technologies /7/)

Optimierung der Baustellenlogistik

Untertagebaustellen haben per Definition sehr beschränkte Zugangsmöglichkeiten. So ist es z.B. ein Ding der Unmöglichkeit, einen unterirdischen Montagevorgang einfach einmal unter Einbezug grosser Hebezeuge durchzuführen. Dafür ist der Platz nicht vorhanden. Dementsprechend komplex gestaltet sich denn auch die Logistik von Untertagebaustellen, insbesondere von langen Tunnelvortrieben mit rückwärtigen Baustellen.

Dementsprechend sensibel reagieren solche Vortriebe auf Störungen in der rückwärtigen Versorgung, Revisionen und Unterhalt und Erschwernisse beim Vortrieb. Diese Effekte führen dazu, dass vom theoretisch möglichen Leistungsmaximum oft nicht unerhebliche Abstriche gemacht werden müssen. Es stellt sich die Frage, ob mit der Digitalisierung leistungsmindernde Faktoren in den Realisierungsprozessen eliminiert oder verringert werden können.

Die Antwort heisst eindeutig ja. Digitale Modelle erlauben zum einen eine frühzeitige Konfliktanalyse im Bauablauf. Entsprechende Gegenmaßnahmen (wie z.B. die Schaffung von Umgehungsmöglichkeiten) können damit frühzeitig ins Projekt aufgenommen werden. Die Versorgungsabläufe nachgelagerter Arbeitsstellen können optimiert werden.

Zudem ist durchaus denkbar, dass künftig Vortriebs- und Sicherungsgeräte (analog dem Bergbau) ferngesteuert eingesetzt werden. Solche Entwicklungen können dazu führen, dass z.B. die Lüftungspause nach jedem Abschlag des konventionellen Vortriebs bereits für die Schutterung genutzt werden könnte, mit einer entsprechenden Verkürzung der Zykluszeit und damit einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Vortriebs. Zudem ist davon auszugehen, dass heutzutage noch kaum mögliche Bauformen, dank digitaler Technik ermöglicht werden.

Auch bei den Versorgungsgeräten ist ein automatisierter Einsatz auf der Basis digitaler Modelle denkbar, z.B. als Weiterentwicklung der sich bereits am Brenner-Basistunnel im Einsatz

befindlichen «gleislosen» Stollenbahn, auch Rowatrain genannt. Solche Entwicklungen erschliessen erhebliche wirtschaftliche Optimierungspotenziale.

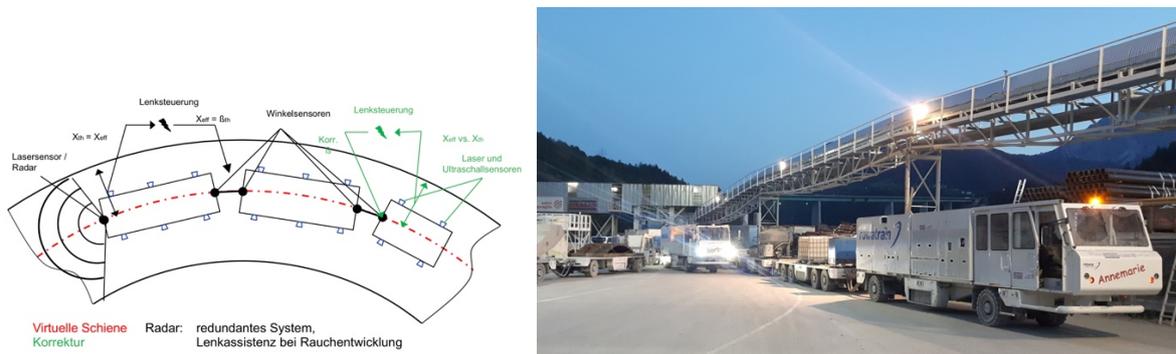


Bild 9. Automatisierte, gleislose Stollenbahn «Rowatrain» am Brenner-Basistunnel /6/

4. Grenzen von digitalen Modellen im Untertagebau

Wie eingangs schon betont, dürfen digitale Baugrundmodelle keine falsche Genauigkeit vortäuschen. Swisstopo formuliert diese Erkenntnis für ihre 3D-Modelle wie folgt: «Ein Modell ist generell per Definition immer falsch und kann immer nur eine Annäherung an die Realität sein. Auf Grund der geringen Datendichte gilt dies im Besonderen für geologische 3D-Modelle aus dem tiefen Untergrund. Dank den heutigen technischen Möglichkeiten und den wissenschaftlichen Fortschritten der letzten Jahre und Jahrzehnte ist es aber möglich, die Unsicherheiten stark zu minimieren.» /5/

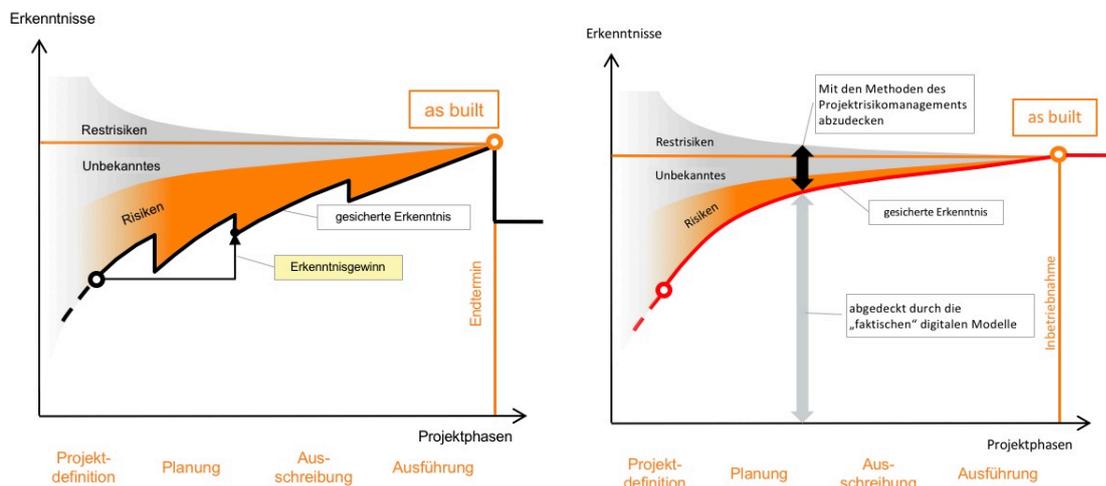


Bild 10. Erkenntnisgewinnkurven mit und ohne BIM, inkl. Verknüpfung mit dem Risikomanagement.

Die mit dem Baugrund verknüpften Risiken werden auch mit den digitalen Methoden nicht eliminiert. Langfristig ist es denkbar, dass dank dem Einsatz digitaler Modelle ein grösserer und leichter zur Verfügung stehender Wissensstand über den Baugrund entsteht und damit die Gefahren minimiert werden. Die Beurteilung des Baugrundes, dessen Verhalten, mögli-

cher Gefährdungsbilder und die Definition der notwendigen Massnahmen zur Beherrschung der Gefährdungen kann aber nicht an den Computer delegiert werden. Digitale Modelle im Untertagebau machen, machen deshalb nur in Kombination mit einem professionellen Risikomanagement unter Einbezug des Fachwissens Sinn.

Das Beurteilen des Baugrundes und das Festlegen der geeigneten Massnahmen ist und bleibt die Domäne der Fachleute des Untertagebaus, welche auch weiterhin die wissenschaftlichen Methoden des Untertagebaus zu verinnerlichen und ihren persönlichen Erfahrungsschatz zu pflegen haben. Die digitalen Methoden können diese Tätigkeit der Fachleute des Untertagebaus unterstützen aber keinesfalls abnehmen.

Literaturverzeichnis

- /1/ Flyvbjerg, Bent; Bruzelius, Nils; Rothengatter, Werner; Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition. Cambridge University Press. 2003
- /2/ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Endbericht der Reformkommission Bau von Großprojekten. 2015
- /3/ Ehrbar, Heinz; Gruber, Luzi; Sala, Alex (Editoren): Tunnelling the Gotthard – Erfolgsgeschichte Gotthard-Basistunnel. Bauverlag Gütersloh GmbH. 2016
- /4/ Filipponi Marco; Die Interpretation von MWD-Daten im Sprengvortrieb als effiziente Methode zur Optimierung des Vortriebs, aufgezeigt am Beispiel der Subseattunnelbaustelle Solbakk in Norwegen. Forschung + Praxis 46 - 2015; p. 156-160
- /5/ <https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geologie/geologische-daten/3d-geologie/tief.html> (Abgerufen am 08.04.2018)
- /6/ <https://awards.ita-aites.org/images/Proceedings/2017/20-RowaTrain.pdf>
- /7/ <http://www.ambergtechnologies.ch/products/tunnel-surveying/>