

WBIM - sachgerechte Anwendung von BIM im Tunnelbau

Dr.-Ing. Martin Wittke, Dipl.-Ing. Christoph Jakobs

Zusammenfassung

Die Anwendung von Building Information Modelling (BIM) im Infrastrukturbau wird in naher Zukunft zwingend erforderlich. Während es für den Hochbau bereits umfangreiche Erfahrungen mit der Anwendung von BIM und somit auch entsprechende Softwareangebote zur Verfügung stehen, besteht im Tunnelbau diesbezüglich noch Entwicklungsbedarf. Im vorliegenden Beitrag wird in diesem Zusammenhang das Konzept von WBIM vorgestellt.

1. Einleitung

Die Anwendung von Building Information Modelling (BIM) im Infrastrukturbau wird seit einigen Jahren intensiv vorangetrieben und diskutiert. Die Anwendung von BIM soll u. a. die Planungsgenauigkeit und die Koordination der Planungsergebnisse der verschiedenen Beteiligten verbessern. Hiervon verspricht man sich eine Erhöhung der Planungs- und Kostensicherheit (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015).

Bei der Deutschen Bahn wird unter BIM gem. Ehrbar 2017 "eine auf 3-D-CAD-Modellen basierende Methode zur digitalen Planung, Realisierung und Bewirtschaftung von Bauprojekten über den gesamten Lebenszyklus verstanden". In Ehrbar 2017 wird zudem die eindeutige Forderung formuliert, dass sämtliche Modelle auf herstellerunabhängigen Standards beruhen müssen, und es wird die Einführung von Big Open BIM als strategisches Ziel der DB formuliert.

Die Anwendung von BIM bzw. der sogenannten BIM-Methode ist somit ein klares Ziel der öffentlichen Auftraggeber in Deutschland. Im Hochbau wird BIM schon seit Jahren erfolgreich angewendet. Im Infrastruktur- und Tunnelbau wurde BIM bislang in Deutschland jedoch nur bei einzelnen Projekten bzw. in einzelnen Teilprojekten bzw. Anwendungsfällen eingesetzt, und es ist noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf vorhanden (s. z. B. Hallfeldt & Astour 2016).

Auch im internationalen Umfeld kommt BIM im Infrastrukturbau immer häufiger zum Einsatz. Ein in der Beratung und Planung von Infrastrukturbauwerken tätiges Unternehmen muss sich somit die Methoden aneignen und die Arbeitsprozesse entsprechend anpassen.

Die Einführung des objektorientierten Arbeitens ist jedoch auch unabhängig von einzelnen Projekten und Anforderungen der Auftraggeber für ein Ingenieurbüro interessant, da es zu einer Beschleunigung von Arbeitsabläufen führt und eine wesentliche Grundlage für die Vermeidung von Fehlern sein kann.

Vor diesem Hintergrund haben wir bei WBI vor einigen Jahren mit der Entwicklung von WBIM begonnen und in diesem Zusammenhang angefangen, auf unsere Arbeitsgebiete speziell angepasste Modelle und Arbeitsprozesse zu entwickeln und schrittweise in ver-

schiedenen Projekten bzw. Teilprojekten einzusetzen. Die Entwicklung von WBIM ist ein fortlaufender Prozess. Zunächst wird WBIM als sogenanntes closed-BIM nur innerhalb unseres Unternehmens angewendet. Es werden jedoch eindeutige Schnittstellen definiert, die es nach einer erfolgreichen Pilotphase ermöglichen, die Anwendungen auch als open-BIM zu nutzen.

Im vorliegenden Beitrag sollen die grundlegenden Gedanken und die Struktur unserer Modelle vorgestellt werden.

2. Zielsetzung

Der Tunnelbau ist ein interdisziplinäres Arbeitsgebiet, in dem Ingenieure verschiedener Fachrichtungen, Geologen und andere Berufsgruppen zusammenarbeiten. Die verschiedenen Disziplinen stellen verschiedene Anforderungen an die Modellbildung (s. auch König & Rahm & Nagel & Speier 2017). Diese müssen für eine sachgerechte Anwendung von BIM im Tunnelbau in einem ausreichenden Detaillierungsgrad erfüllt werden.

Auch wenn die übergeordneten bzw. strategischen Ziele der Anwendung von BIM definiert sind, sind für jede Anwendung, sei es innerhalb eines Projekts oder projektübergreifend, die jeweiligen Ziele zu definieren. In der Abwicklung ist dabei insbesondere die zentrale Datenverwaltung sowie das Dokumenten- und Knowledge Management für die erfolgreiche Umsetzung wichtig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die zu verarbeitenden Datenmengen stetig steigen und somit leistungsfähige Server und Vernetzungen wichtig sind. Die anfallenden Daten müssen zudem in einer Form aufbereitet werden, dass sie von den verantwortlichen Ingenieuren in kurzer Zeit erfasst und bewertet werden können.

Ein vollständiges BIM-Modell muss Bestandsdaten, alle erforderlichen Angaben zum Baugrund sowie die bauwerksspezifischen Informationen beinhalten. Weiterhin müssen die zu erbringenden Leistungen hinsichtlich des Bauablaufs, der Bauzeit und der Kosten im Modell definiert werden. Während der Bauausführung sind alle für den Erfolg der Maßnahme wesentlichen Informationen zu dokumentieren bzw. zu überwachen und somit ebenfalls im BIM-Modell zu erfassen.

Vor diesem Hintergrund haben wir die nachstehenden primären Ziele für die Umsetzung von WBIM definiert:

- Zentrale projekt- und bauteilbezogene Datenverwaltung.
- Integration aller für den Tunnelbau erforderlichen Informationen.
- Vereinfachung/Beschleunigung der Planungsabläufe.
- Zeitnahe und nachvollziehbare Anpassung bei Änderungen.
- Veranschaulichung von Bauabläufen.
- Automatisierte Auswertung und zielgerichtete Darstellung von Informationen.

Bei der Umsetzung dieser Ziele ist die Unabhängigkeit von einzelnen Softwareanbietern bzw. Softwareprodukten eine wesentliche Grundlage. Es werden definierte Schnittstellen für den Austausch bzw. die Übergabe von Daten vorgesehen.

3. Struktur und Bausteine

Um die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Ziele zu erreichen, werden in WBIM fünf miteinander verknüpfte Bausteine definiert (Bild 1):

- WBIM-Surrounding,
- WBIM-Geotechnics,
- WBIM-Design,
- WBIM-Supervision and
- WBIM-Project&Assist.

Im Baustein Project&Assist werden alle für die Projektabwicklung erforderlichen Informationen hinterlegt. Hier werden der Schriftverkehr sowie alle Informationen zu den Verträgen abgelegt bzw. dokumentiert.

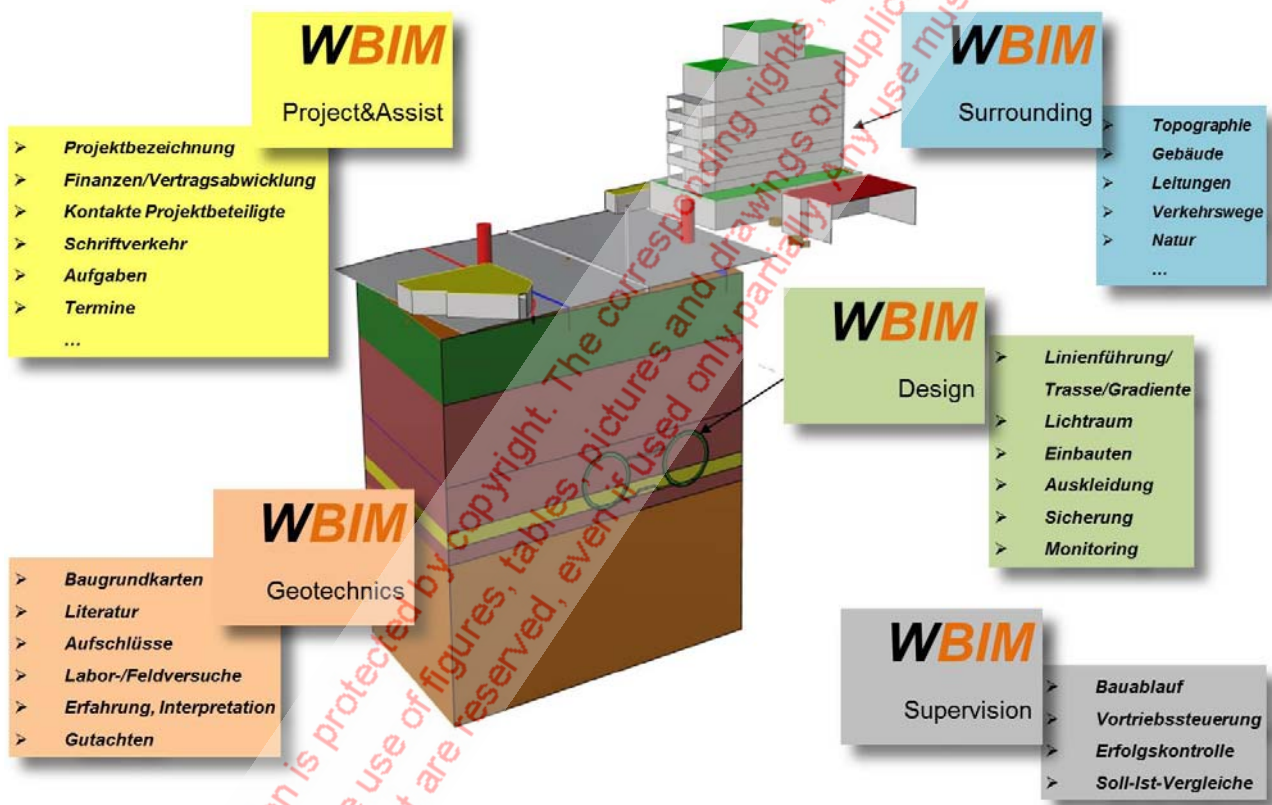


Bild 1: Bausteine von WBIM

WBIM-Surrounding

In WBIM-Surrounding werden alle Daten des Bestands dokumentiert (Bild 2). Dabei sind Verkehrswege, Gebäude, Leitungen und in bestimmten Fällen auch die Vegetation zu betrachten. Der Detaillierungsgrad, in dem die Informationen erfasst werden müssen, hängt zum einen von der Planungsphase ab und zum anderen von den für den Tunnelbau entscheidenden Eigenschaften der Bauwerke. Beispielsweise reicht es bei einem senkungsunempfindlichen Gebäude häufig aus, das Gebäude nur hinsichtlich seiner Außenmaße und der Gründungstiefe und den Gründungslasten im Modell zu hinterlegen. Ist ein Ge-

bäude dagegen setzungsempfindlich oder in einem hinsichtlich der Standsicherheit kritischen Zustand, kann es auch erforderlich werden, einzelne Gebäudeelemente, wie z. B. Stützen oder Fundamente, diskret nachzubilden. In jedem Fall sind bei Gebäuden und auch bei Leitungen die zulässigen Senkungen und Senkungsunterschiede im Modell zu hinterlegen. Außerdem sollten Informationen zu den Eigentümern im Modell erfasst werden. Hierbei ist selbstverständlich die Datenschutzgrundverordnung zu beachten.

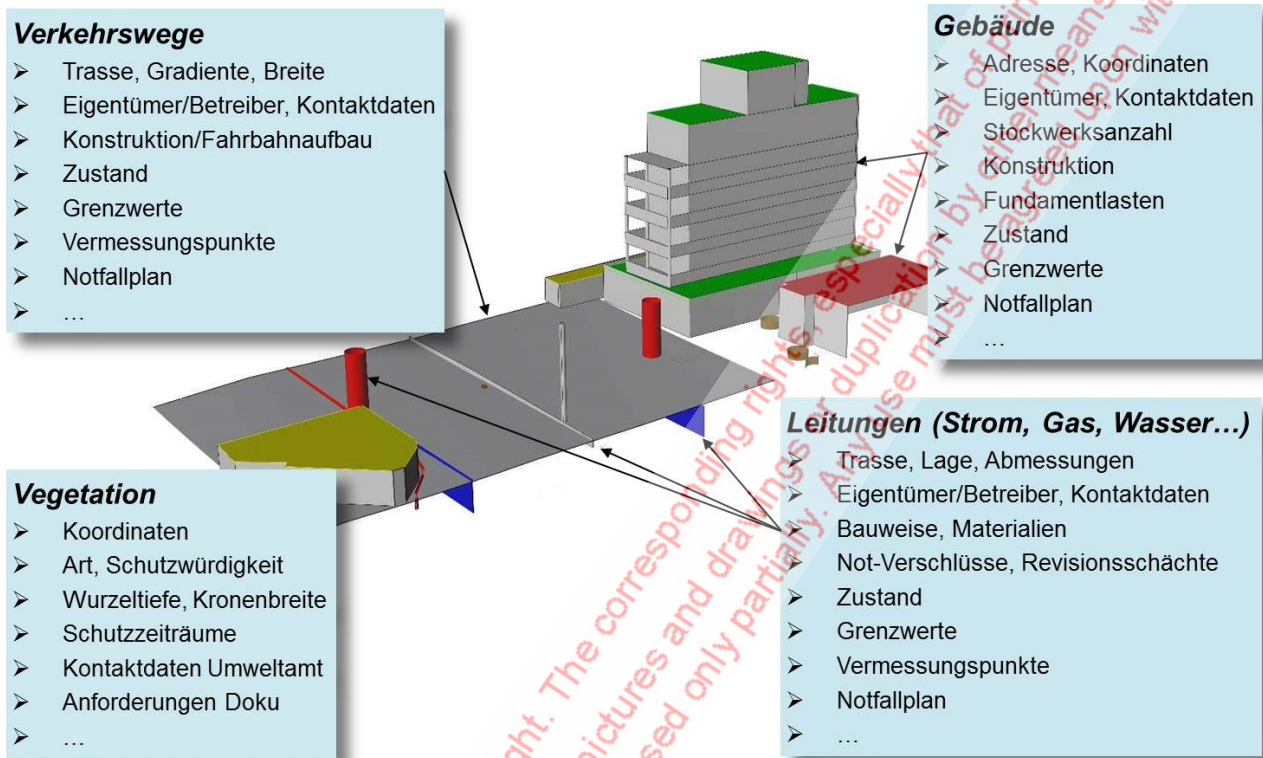


Bild 2: WBIM-Surrounding

Die für die Beschreibung der unterschiedlichen Elemente des Bestands erforderlichen Definitionen sind zu großen Teilen bereits in den sogenannten IFC-Klassen enthalten (ISO 16739 2013). Das IFC-Format ist offen und herstellerunabhängig. Es ermöglicht die semantische und geometrische Beschreibung eines Bauwerks. Darüber hinaus können weitere Informationen wie z. B. zu einzuhaltenden Normen oder verwendeten Materialien, Verknüpfungen zu Leistungsverzeichnissen oder Fachmodellen usw. eingebettet werden. Die IFC-Klassen sind nur um die für die Planung und den Bau von Tunneln im Einflussbereich erforderlichen Informationen zu ergänzen.

WBIM-Geotechnics

Für die wirtschaftliche und sichere Umsetzung von Tunnelbauvorhaben ist eine gute Kenntnis des Baugrunds entscheidend. Die in diesem Zusammenhang zu erfassenden Informationen werden bei uns im Baustein WBIM-Geotechnics zusammengefasst (Bild 3). Hinsichtlich der Qualität der Informationen muss man hier zwischen "harten Fakten" und abgeleiteten, mit Unsicherheiten behafteten Daten unterscheiden.



Bild 3: WBIM-Geotechnics

Harte Fakten lassen sich eindeutig örtlich bzw. geometrisch zuordnen und mit einem Ergebnis beschreiben und in Datenbanken hinterlegen. Es handelt sich dabei beispielsweise um Ergebnisse von Kartierungen und Bohrkernaufnahmen sowie von Labor- und Feldversuchen.

Dagegen lassen sich in der Literatur oder in Baugrunderkarten enthaltene Informationen meist zwar örtlich bzw. geometrisch zuordnen, und die entsprechenden Informationen können und sollten ebenfalls in einem BIM-Modell hinterlegt werden. Sie sind allerdings mit Unsicherheiten behaftet, was sowohl in der Datenbank als auch bei entsprechenden, aus der Datenbank generierten Darstellungen sichtbar gekennzeichnet werden muss.

Auf der Grundlage der Informationen aus der Literatur, den Ergebnissen der Baugrunderuntersuchungen und den Erfahrungen werden in der Regel Schichtverläufe ermittelt. Hierbei handelt es sich um Prognosen, die mit Unsicherheiten behaftet sind und die entsprechend in den Datenbanken hinterlegt werden müssen. Schichtgrenzen werden in WBIM als Punktwolken oder als sogenannte NURBS-Flächen gespeichert. Zusätzlich wird eine Variable definiert, die Unsicherheiten in der Prognose beschreibt. Diese ist in Bild 4 mit roten Pfeilen gekennzeichnet.

Bei Tunnelbauwerken handelt es sich um Linienbauwerke, und die Erkundungen anhand derer die Prognosen für Schichtverläufe erstellt werden, werden dementsprechend meist entlang der Trassierung durchgeführt. Für eine dreidimensionale Darstellung ist es jedoch u. U. erforderlich, auch Bohrungen abseits der Trasse durchzuführen, um z. B. eine Trian-

gulation zur Ermittlung der Schichtgrenzen durchführen zu können. Diese Anforderung ist bei der Planung der Erkundungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

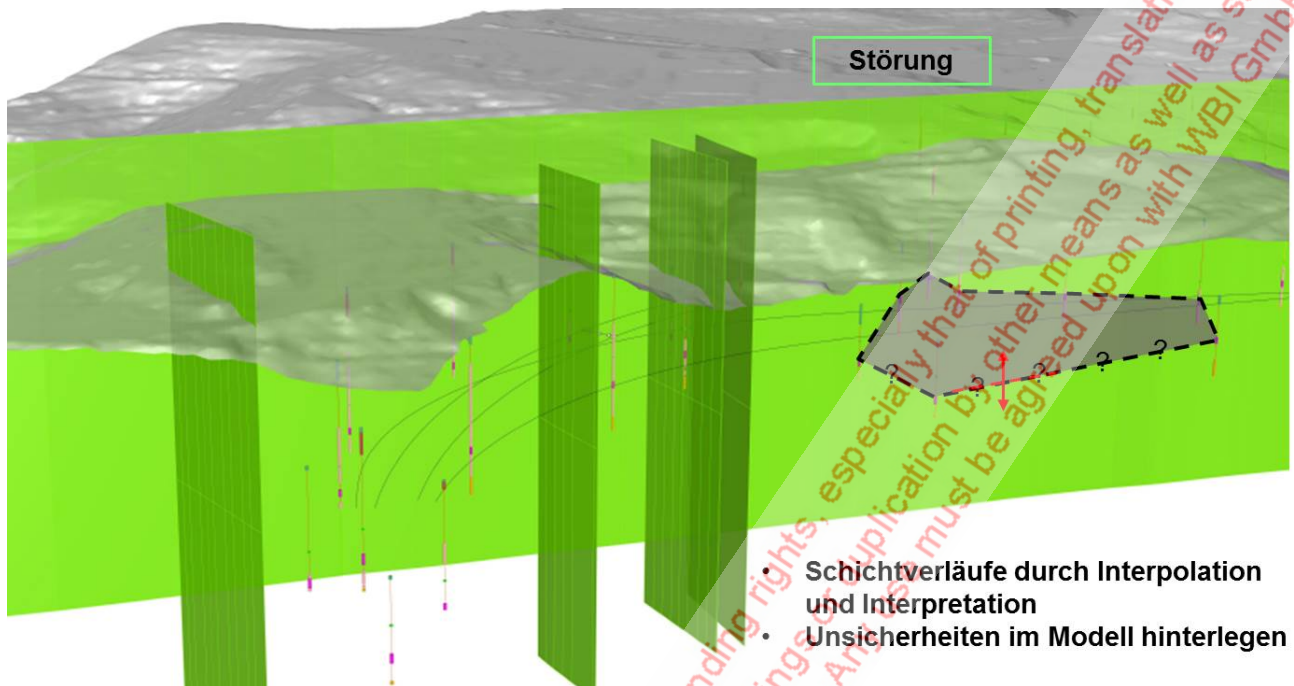


Bild 4: Berücksichtigung von Schichtverläufen

Die Eigenschaften der Schichtglieder werden im Felsbau durch Gefügemodelle und felsmechanische Modelle beschrieben (Wittke 2014). Diese müssen im Baugrundmodell hinterlegt werden. Sie dienen als Grundlage für die Planung und statische Berechnungen. Für Böden sind die erforderlichen Kennwerte in ähnlicher Weise zu hinterlegen.

WBIM-Design

Der Baustein WBIM-Design besteht im Wesentlichen aus den in Bild 5 dargestellten Elementen. Angaben zur Geometrie der verschiedenen Objekte werden in der Rubrik Abmessungen gesammelt. Darüber hinaus werden Angaben zu den vorgesehenen Baustoffen hinterlegt.

Aus diesen Elementen werden über definierte Schnittstellen die Vorgaben für statische Berechnungen zur Verfügung gestellt bzw. die Ergebnisse der Berechnungen werden mit den Vorgaben verglichen.

Für die einzelnen Objekte werden zudem die vorgesehenen Bauverfahren, der Bauablauf und Angaben zum Monitoring hinterlegt.

Auf dieser Basis erfolgt die Verknüpfung mit der Ausschreibung, der Ermittlung der Baukosten und der Bauzeit.

Die verschiedenen Elemente sind alle voneinander abhängig und müssen im Modell dementsprechend gekoppelt werden. Durch eine entsprechende Kopplung soll in Zukunft eine halb- oder vollautomatische Prüfung der Richtigkeit des BIM-Modells ermöglicht werden. Damit soll ein Beitrag zur Vermeidung von Fehlern in der Planung, Ausschreibung und Ausführung geleistet werden.

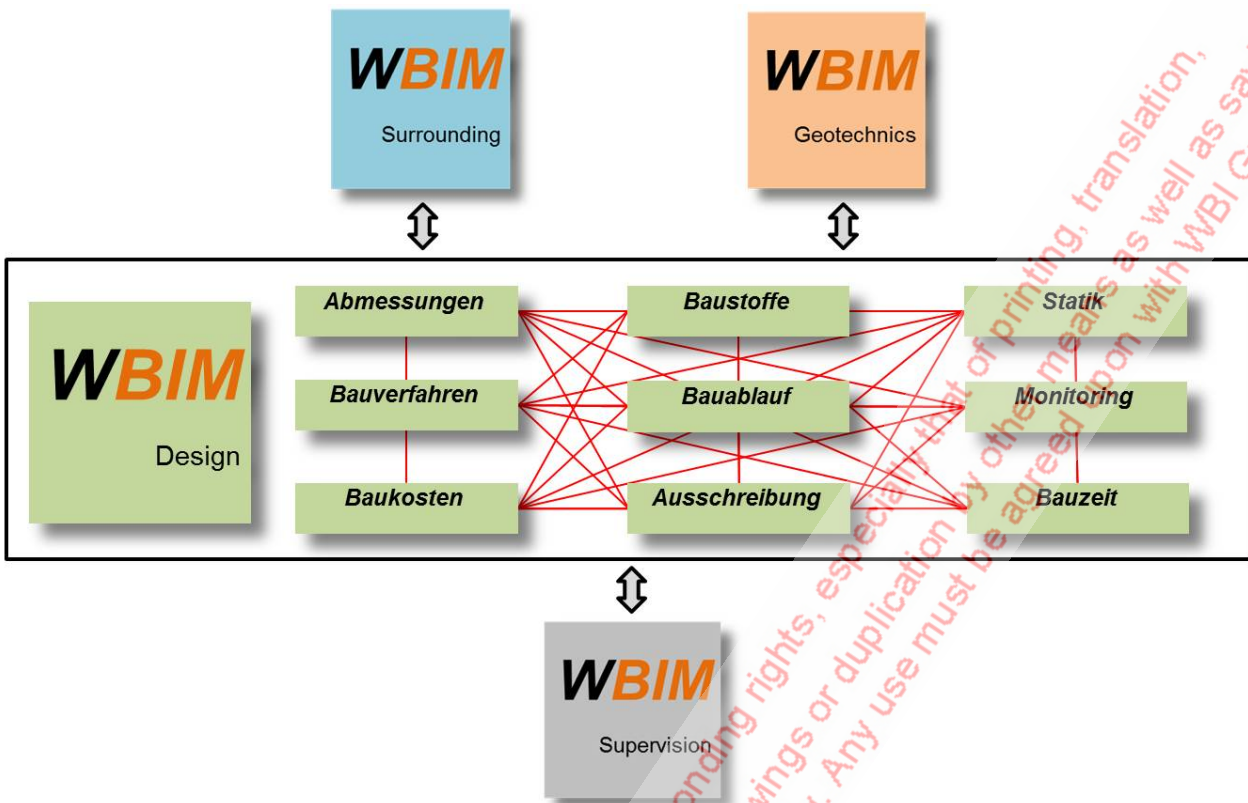


Bild 5: WBIM-Design: Interaktion

Ziel von WBIM ist es außerdem, die Planungsabläufe zu beschleunigen und zu optimieren, indem die Konstruktion möglichst allgemeingültig durch gegenseitige Abhängigkeiten beschrieben wird. Beispielhaft soll dies am Beispiel einer einfachen Querschnittsdefinition beschrieben werden. Ausgangspunkt für die Planung bildet meist eine Trassierung. Hierfür sind im IFC-Format bereits Objekte hinterlegt (Bild 6). Zusätzliche Informationen, wie z. B. Angaben zur Fahrtrichtung und der Stationierung von Querschlägen, können separat definiert werden.

Trassierung (ifc Extension 3):

- Gerade (Startpunkt, Richtung, Länge)
- Klothoide (Startpunkt und -richtung, Länge, Radius, Klothoidenkonstante)
- Kreisbogen (Startpunkt und -richtung, Länge, Radius)

Gradiente (ifc Extension 3):

- Gerade (Startpunkt, Richtung, Länge)
- Parabeln (Startpunkt und -richtung, Länge, Parabelkonstante)
- Kreisbogen (Startpunkt und -richtung, Länge, Radius)

Zusätzliche Informationen:

- Fahrtrichtung
- Übergeordnete Stationierung
- Lichtraumprofil
- Querschnittsneigung
- Stationierung Querschläge
- ...

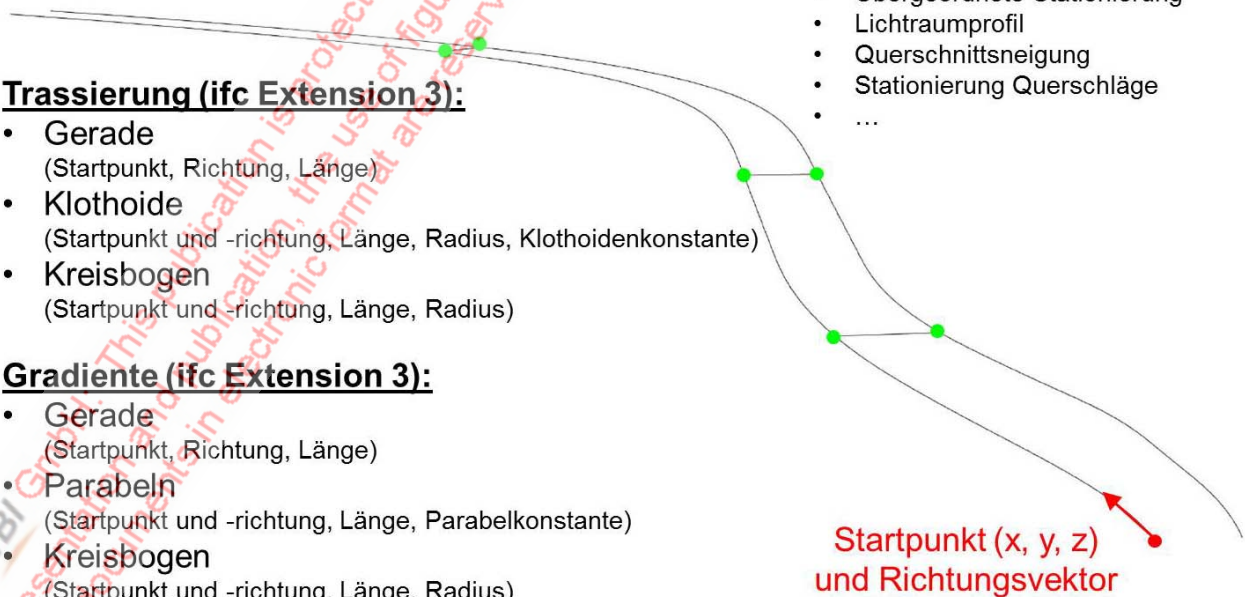


Bild 6: WBIM-Design: Ausgangspunkt Trassierung und Gradiente

Auf der Grundlage der Vorgaben für das Lichtraumprofil und die vorgesehenen Einbauten wird dann die innere Tragwerksbegrenzung definiert. Für den in Bild 7 dargestellten U-Bahn-Tunnel lässt sich diese über eine Kreisfunktion in Abhängigkeit vom Mittelpunkt, der sich aus den Trassierungsdaten ableiten lässt, und vom Radius beschreiben. Ausgehend von der inneren Tragwerksbegrenzung kann dann die Ausbruchskontur oder, wie im behandelten Beispiel die Außenkontur der Tübbingauskleidung, durch eine Vergrößerung des Radius beschrieben werden (Bild 8). Nach dem gleichen Prinzip lassen sich auch die übrigen Elemente im Tunnelbau geometrisch beschreiben.

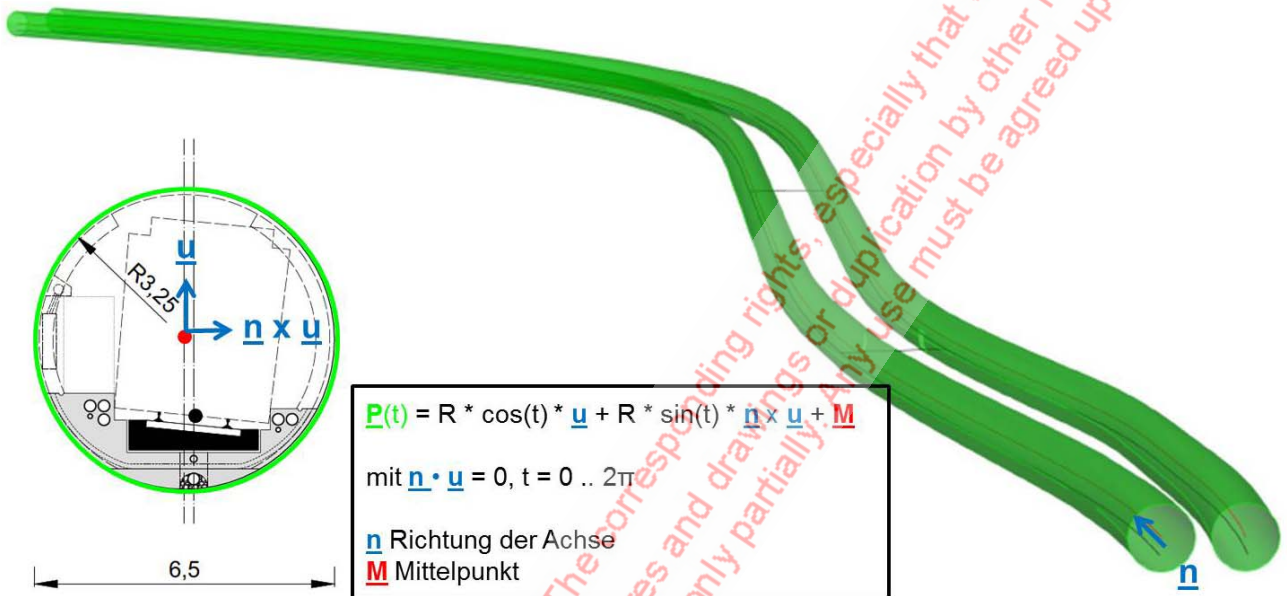


Bild 7: WBIM-Design: Konstruktion Querschnitt (innere Berandung)

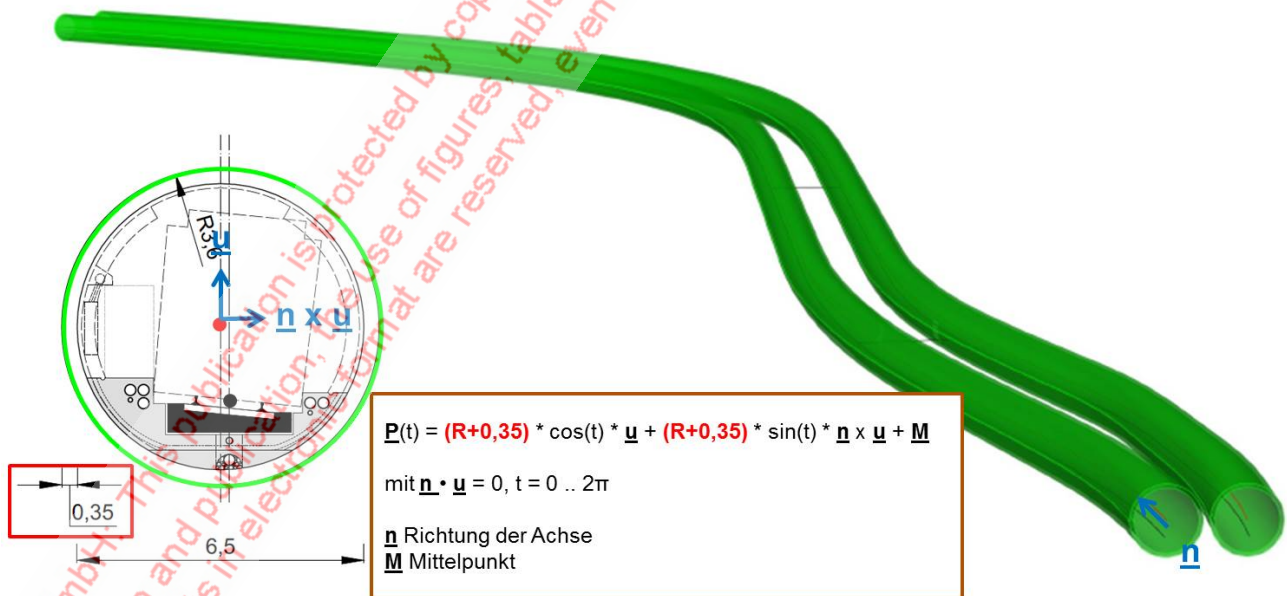


Bild 8: WBIM Design: Konstruktion Querschnitt (Außenseite Tübbing)

WBIM-Supervision

WBIM-Supervision ist ein wesentlicher Baustein, der es ermöglicht, die sehr umfangreichen Daten, die von den Baustellen täglich erhoben werden, automatisiert zu verarbeiten und den verantwortlichen Ingenieuren in anschaulicher Form zur Verfügung zu stellen.

Im Zusammenhang mit den Vortriebsarbeiten der beiden EPB-TVM der Firma Herrenknecht, die derzeit beim Bau der Red Line in Tel Aviv in Einsatz sind, werden täglich ca. 2,6 Millionen Datensätze erhoben und über einen ftp-Zugang kontinuierlich abgerufen (Bild 9, (Wittke & Wittke & Ashkenazi & Gang 2017, Wittke-Gattermann & Wittke & Teboulle & Aimin 2018)). Über WBIM werden vorab definierte Darstellungen der wesentlichen Parameter erzeugt und die Ergebnisse werden mit den Vorgaben aus der Planung verglichen. Die Darstellungen werden in Form von Kurzberichten in definierten Zeitabständen an die verantwortlichen Ingenieure verschickt.

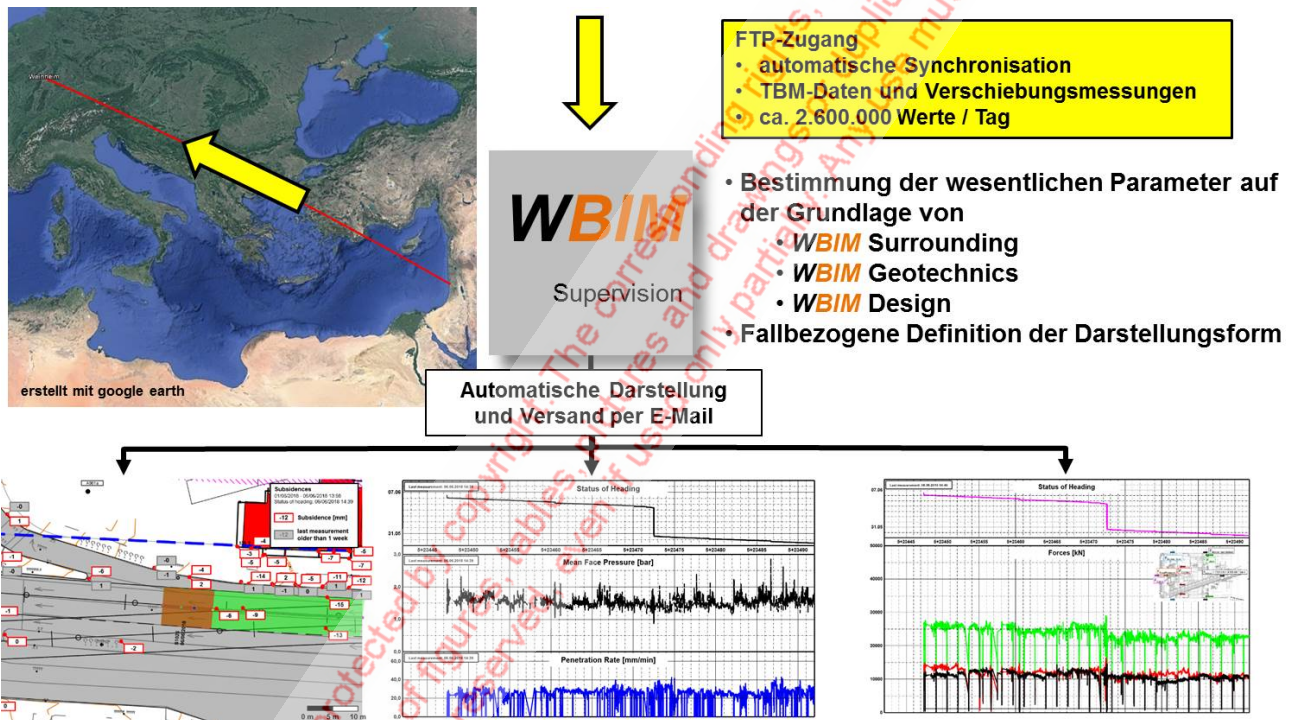


Bild 9: WBIM-Supervision, Beispiel 1 (TVM-Vortrieb)

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Fachbauüberwachung der Injektionsarbeiten für das Projekt Stuttgart 21, die wir im Auftrag der DB PSU wahrnehmen (Bild 10, Lienhart & Schmitt & Wittke & Wittke 2018). Hier erfolgt die Datenübermittlung je nach Los entweder per E-Mail oder per ftp-Zugang. Die von den Baustellen zur Verfügung gestellten Daten werden automatisch verarbeitet, und es erfolgt ein Abgleich, ob die Vorgaben aus der Planung eingehalten wurden. Die Ergebnisse werden in Form von Tabellen, Abwicklungen und Fähnchendiagrammen dargestellt und den verantwortlichen Ingenieuren per Web-Zugang oder E-Mail zur Verfügung gestellt.

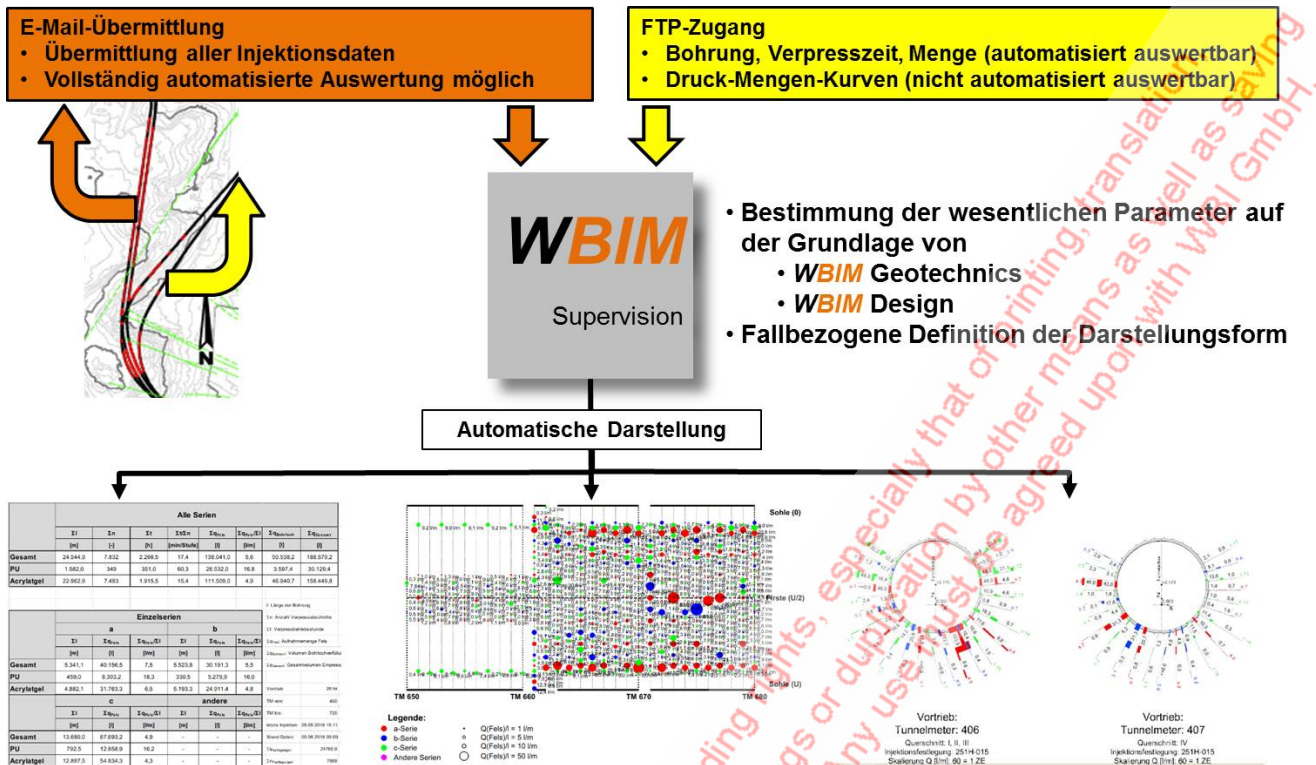


Bild 10: WBIM-Supervision, Beispiel 2 (Injektionen Anhydrit)

4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Anwendung von BIM soll die Planungs- und Kostensicherheit im Infrastrukturbau verbessert werden. Bei WBI haben wir uns daher vor einigen Jahren dazu entschieden, mit WBIM eine eigene BIM-Anwendung bzw. BIM-Datenverwaltung zu entwickeln. Der vorliegende Beitrag gibt einen Einblick in das entsprechende System.

Die vorgesehene zentrale und objektbezogene Datenverwaltung kann dabei helfen, Fehler zu vermeiden und Planungsprozesse zu beschleunigen. Die Anwendung von BIM ist vor diesem Hintergrund sicherlich sinnvoll, sie kann aber das verantwortungsbewusste Arbeiten eines Ingenieurs nicht ersetzen, sondern nur unterstützen. Bei der Erstellung der zum Teil sehr komplexen Modelle ist es zwingend erforderlich, das 4-Augenprinzip anzuwenden.

Nach Möglichkeit sollte in der Planung von standardisierten Prozessen ausgegangen werden. Geometrische Darstellungen sollten weitestgehend parametrisiert erfolgen, um Änderungen in den verschiedenen Planungsphasen und beim Bau kurzfristig und ohne Fehler einarbeiten zu können.

Insbesondere in der Überwachung bzw. beim Monitoring ist es vor dem Hintergrund der sehr großen Datenmengen sinnvoll, eine automatisierte Datenverarbeitung vorzunehmen und die Daten in anschaulicher Form für die verantwortlichen Ingenieure aufzubereiten.

Die Anwendung der BIM-Methode erfordert ein kooperatives Arbeiten aller am Projekt Beteiligten. In diesem Zusammenhang sind eindeutige Vereinbarungen im Hinblick auf die

Verantwortlichkeiten, das Urheberrecht und den Datenschutz zu treffen. Die Datengrundlagen, die verantwortliche Partei und die Qualität der Daten müssen im BIM-Modell jederzeit nachvollziehbar sein.

In WBIM sind eindeutige Schnittstellen für den Datenaustausch mit anderen Unternehmen bzw. Softwareanbietern definiert. Die Erfahrung zeigt, dass hier noch ein erheblicher Aufwand in der Projektarbeit entsteht, da es zum einen häufig an der Bereitschaft aber auch an eindeutigen Vereinbarungen für die Datenübertragung mangelt. Hier, aber auch in der Definition der unterschiedlichen Planungsabläufe und Abhängigkeiten, besteht noch weiterer Entwicklungsbedarf, der eine enge Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Softwareentwicklern erfordert.

5. Literatur

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur - BMVI: Stufenplan Digitales Planen und Bauen, 2015.

Ehrbar, H.: BIM im Infrastrukturbau der Deutschen Bahn, Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung. Bautechnik 94, Heft 4, 2017.

Hallfeldt, J.; Astour, H.: Anwendungsfälle BIM beim Altvorlandtunnel. Vortrag anlässlich des 2. Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 13.04.2016. WBI-PRINT 19, Weinheim, 2016.

ISO 16739: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, 2013.

König, M.; Rahm, T.; Nagel, F.; Speier, L.: BIM-Anwendungen im Tunnelbau, Digitale Planung und Ausführung von Tunnelbauprojekten. Bautechnik 94, Heft 4, 2017.

Lienhart, C.; Schmitt, D.; Wittke, M.; Wittke, W.: Planung und Ausführung von Injektionen im anhydritführenden Gipskeuper. Vortrag anlässlich des 4. Felsmechanik- und Tunnelbau-Tags im WBI-Center am 07.06.2017. WBI-PRINT 21, Weinheim, 2018.

Wittke, M.; Wittke, W.; Ashkenazi, S.; Gang, J.: Entwurf der Tunnel für die Red Line der Stadtbahn von Tel Aviv, Israel. Vortrag anlässlich des 3. Felsmechanik- und Tunnelbau-Tags im WBI-Center am 11.05.2017. WBI-PRINT 20, Weinheim, 2017.

Wittke, W.: Rock Mechanics based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM), Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2014. ISBN-Nr.: 978-3-433-03079-0.

Wittke-Gattermann, P.; Wittke, M.; Teboulle, N.; Aimin, J.: Red Line, Tel Aviv, Eastern Section - Einfluss der Eigenschaften des Ringspaltmörtels auf die Bemessung der Tübbingauskleidung. Vortrag anlässlich des 4. Felsmechanik- und Tunnelbau-Tags im WBI-Center am 07.06.2017. WBI-PRINT 21, Weinheim, 2018.