

3D-BIM-Modelle für die Sanierung und Erneuerung von Tunneln

Methodik zur praktischen Anwendung der 3D-Modellierung für BIM-Projekte am Beispiel der Erneuerung des Horchheimer Tunnels

HEINER FROMM | JÜRGEN SCHMITT |
LUKAS SCHILDER | STEPHAN NINK

Bei der Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln gewinnt die Digitalisierung im Bauwesen immer mehr an Bedeutung. In Zukunft wird die digitale Planung immer stärker in den Fokus rücken. Die täglichen, praktischen Erfahrungen mit dem Building Information Modeling (BIM) lassen es zu einem beherrschbaren Werkzeug wachsen. Um das Potenzial der BIM-Methode auszuschöpfen, sollten aus Sicht der Autoren beim „Bauen im Bestand“ Baugrund und vorhandene Bausubstanz im Modell abgebildet sein. Das wird bislang in sehr geringem Maße umgesetzt. Bei der Planung von Tunnelerneuerungen wäre dies aber besonders hilfreich. Sofern bereits in frühen Planungsphasen umgesetzt, lassen sich beispielsweise Trassierung und Querschnittsgeometrie im Hinblick auf Termine, Kosten und Nachhaltigkeit optimieren.

Aufgabenstellung

Zahlreiche Tunnelbauwerke im Bestandsnetz der Deutschen Bahn AG (DB) stammen aus der Gründerzeit der Eisenbahn und sind vor über 150 Jahren erbaut worden. Für sie steht ein dringender Sanierungs- und sehr oft auch Erneuerungsbedarf an. Gerade die Erneuerung von bestehenden Tunneln erfordert viel Knowhow. Z.B. sind gute Kenntnisse der verschiedenen historischen Tunnelbauweisen erforderlich, um aus den wenigen punktuellen Aufschlussbohrungen das Bestandsbauwerk rekonstruieren zu können. In Abb. 1 sind die Aufschlussbohrungen und das daraus konstruierte Bestandsbauwerk für ein Querprofil dargestellt.

Bei einer Tunnelerneuerung wird eine neue Innenschale im alten Hohlraum hergestellt. Für den erneuerten Tunnel gelten aktuell grundsätzlich die technischen Vorgaben wie für einen Neubautunnel, sodass in der Regel im Zuge einer Erneuerung das Lichtraumprofil dem Regelwerk anzupassen ist und der vorhandene Hohlraum entsprechend aufgeweitet wird.

Der Ausbruch erfolgt in Längsrichtung abschnittsweise sukzessive radial und zur besseren Abfalltrennung idealerweise möglichst separiert nach Gleisschotter, Innenschale mit Hinterfüllung und evtl. vorhandener, schadstoffbelasteter Abdichtung sowie anstehendem Gebirge. Die freigelegte Felslaibung wird mit den im Tunnelbau üblichen Sicherungsmitteln, i.d.R. bestehend aus Systemankerung und Spritzbeton, für die Bauzeit gesichert und nachlaufend die neue Ortbetoninnenschale mit größerem Lichtraum und größerem Gleisabstand eingebaut.

Mit einer Studie wurde untersucht, wie im Zuge einer BIM-Planung ein neu zu planender Tunnel in ein bestehendes Bauwerk integriert und modelliert werden kann. Um die 3D-Modellierung mit realitätsnahen Randbedingungen entwickeln zu können, wurden als Grundlage für das 3D-Modell die Daten des Horchheimer Tunnels und einer dafür vorliegenden Planung zugrunde gelegt.

Datengrundlage und Software

Das Modell wurde im ersten Schritt so aufgebaut, dass das neue Tunnelbauwerk zukünftig innerhalb des bestehenden Tunnels mit der üblichen Trassierungssoftware geplant werden und das Optimum zwischen folgenden Einflussgrößen erarbeitet und berechnet werden kann: Ausbruchkubaturen in Gewölbe und Sohle, Verfüllen von vorhandenen Hohlräumen oder besondere Entsorgungskosten und Arbeitsschutzmaßnahmen im Zusammenhang mit dem Ausbruch von teerölhaltiger Abdichtung im Modell.

Der hier bearbeitete Tunnel sowie der Gebirgsaufbau wurden erkundet mittels:

- 3-D-Laserscans durch Befliegung des Geländes
- 3-D-Laserscans der Tunnelaibung
- Kernbohrungen und Grundwassermessstellen von übertage
- kurze, aus dem Tunnel heraus hergestellte, radial angeordnete Kernbohrungen
- Sondierungen und Schürfe im Gleisbereich im Tunnel
- Georadar in der Sohle und im Gewölbe.

Als Software zur Modellierung der einzelnen Bestandteile des Modells wurden die Programme Civil 3D sowie Hole BASE SI eingesetzt. Bei Civil 3D handelt es sich um eine Konstruktionssoftware, welche die BIM-Arbeitsmethodik unterstützt und insbesondere für Infrastrukturprojekte gut geeignet ist. Hole Base SI ist ein Add-On für Civil 3D, welches eine Bohrdaten-

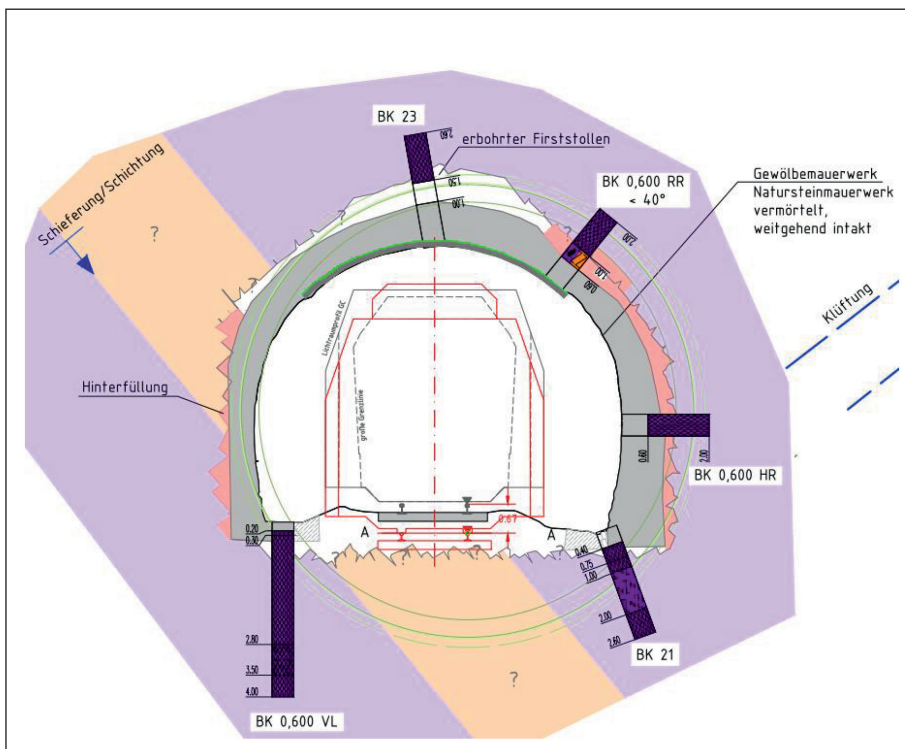


Abb. 1: Querprofil

Quelle: [1]

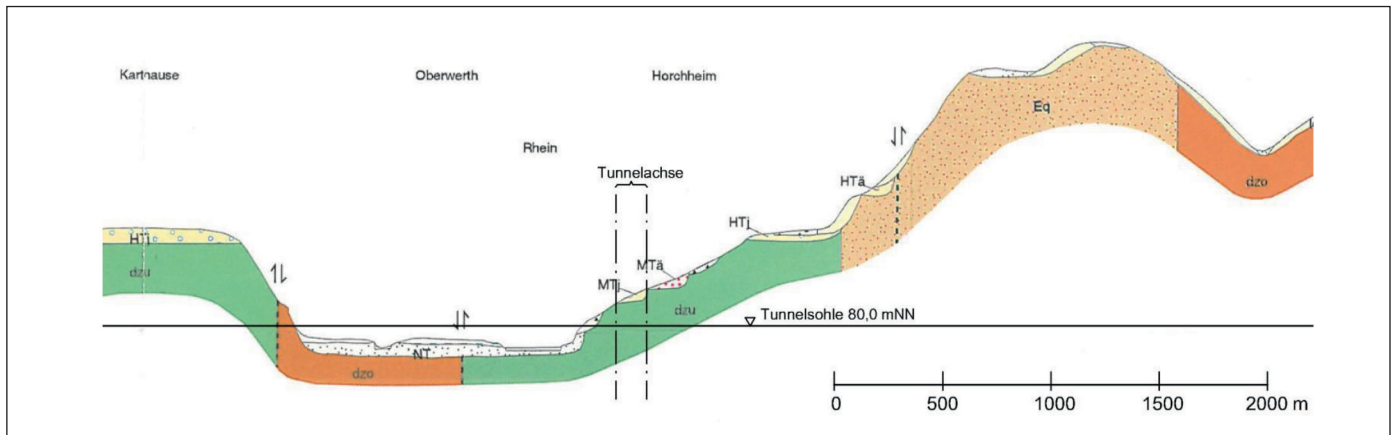


Abb. 2: Geologischer Querschnitt am Nordportal

Quelle: [1]

bank mit den Ergebnissen aus der Baugrunderkundung und den Laboruntersuchungen zur Verfügung stellt, aus der das dreidimensionale Modell von Bauwerk und Baugrund entwickelt werden kann.

Bauwerk und geologische Situation

Der im Jahr 1902 in Betrieb genommene 576 m lange Horschheimer Tunnel liegt zwischen Bahn-km 0,484 und Bahn-km 1,060 auf der Strecke 3031 Abzweig Koblenz Pfaffendorf – Abzweig Koblenz Horschheimer Brücke. Im Zuge ihrer Sicherheitspflichten nach dem Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG) §4 haben die Eisenbahnen des Bundes die Eisenbahninfrastruktur in einem betriebssicheren Zustand zu halten. Beim Horschheimer Tunnel dokumentieren die regelmäßigen Bauwerksbegutachtungen eine Verschlechterung der Bausubstanz. Der Tunnel soll dementsprechend erneuert werden. Das zugehörige Planfeststellungsverfahren läuft.

Die Gradiente steigt von Norden nach Süden von ca. 78,8 mNN auf ca. 80,4 mNN, die Neigung beträgt überwiegend ca. 2,6 ‰. Der Tunnel weist eine Breite von ca. 8,4 m und eine Höhe über Schienenoberkante von ca. 6,2 m auf. Ein Sohlgewölbe ist nicht vorhanden. Seit der Elektrifizierung im Jahr 1962 wird der Tunnel eingleisig betrieben. Das Gleis liegt in Mittellage.

Das Tunnelschale besteht in ganzer Länge aus Bruchsteinmauerwerk. Bereichsweise wurden die Widerlager nachträglich mit Klinkermauerwerk saniert. In standsicheren Bereichen wurde auf die Innenschale im Widerlagerbereich verzichtet. Der Zwischenraum zwischen Mauerwerk und Gebirge wurde mit Bruchsteinen hinterfüllt. In der Firste fehlt die Hinterfüllung in vielen Bereichen, sodass dort Hohlräume bestehen, die im weiteren als Firststollen bezeichnet werden (Abb. 1).

Es ist vorgesehen, den bestehenden Tunnel vollständig zu erneuern und dabei auch die

Achse und Gradiente im Tunnel sowie in den vorgelagerten Einschnittsbereichen leicht anzupassen.

Das Projektgebiet ist Teil des Rheinischen Schiefergebirges, dessen Sedimente in einem Randmeer abgelagert wurden. Im Norden und im Süden waren Festlandbereiche, von welchen die Sedimente durch Flüsse in den Mosel-Lahn-Trog transportiert wurden. Es handelt sich um eine monotone Wechselfolge aus Ton- und Siltsteinen und quarzitischen Sandsteinen. Bei dem unterdevonischen Gebirge handelt es sich um einen Kluftgrundwasserleiter, in dem das Grundwasser ausschließlich auf den Trennflächen und in Störungen fließt. Aufgrund des Geländeanstiegs in relativ kurzer Entfernung können sich vergleichsweise große hydraulische Gradienten aufbauen.

Geländenah sind quartäre Sedimente aus Sanden und Kiesen des Rheins (sog. Mittelterrassen), teils auch Hangschutt aus Verwitterungs-

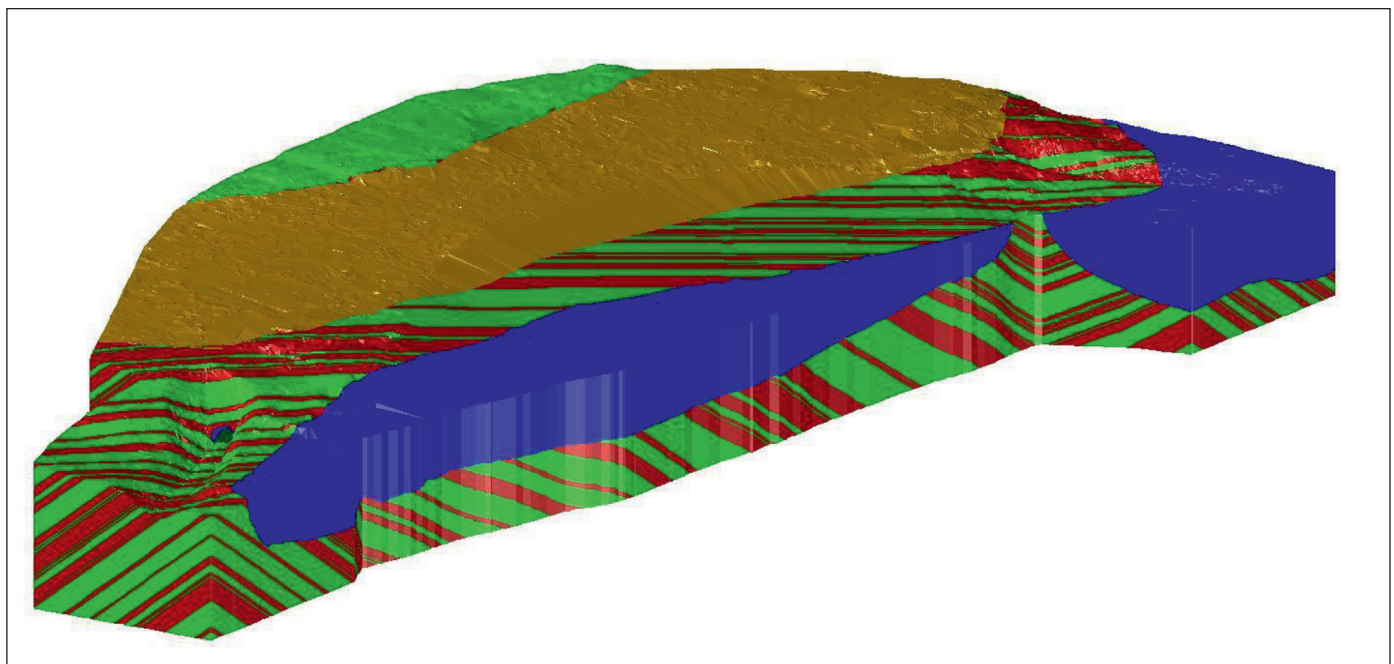


Abb. 3: Baugrundmodell

Quelle: [2]

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Hochschule für Angewandte Wissenschaften Darmstadt / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

produkten der unterdevonischen Schichten vorhanden. Diese verlaufen oberhalb des Tunnels liegend in mehreren, rinnenförmigen, quartären Terrassen (Abb. 2).

Baugrundmodell

Der Tunnel liegt in einer devonischen Tonstein-Sandstein-Wechsellagerung. Als Grundlage des Baugrundmodells diente die Punktwolke des Geländes, mit der ein digitales Gelände-modell der Geländeoberfläche erzeugt wurde. Aus diesem wiederum wurde dann ein 3D-Volumenkörper erstellt. Bei der Modellierung der einzelnen Baugrundschichten wurde ähnlich vorgegangen. Die Schichtgrenzen und -verläufe konnten auf Basis der regionalgeologischen Kenntnisse aus den amtlichen geologischen Unterlagen zunächst grob festgelegt

und anhand der Ergebnisse der durchgeführten Kernbohrungen konkretisiert werden. Auf dieser Grundlage wurden digitale Geländemodelle der Schichtunterkanten erstellt. Aus diesen wurden dann 3D-Volumenkörper abgeleitet, die mit der Geländeoberfläche verschnitten wurden. Als Resultat ergibt sich so eine räumliche Darstellung des Baugrundes mit allen vier vorhandenen Schichten. Abb. 3 kann das Baugrundmodell bestehend aus Tonstein-Sandstein-Wechsellagerung (rot-grün) und quartären Rinnen (beige, blau und grün) aus Blickrichtung Nord-West entnommen werden.

Bauwerksmodell

Der Bestandstunnel wurde anhand der vorhandenen Punktwolke aus dem Laserscan der

Tunnellaubung generiert. Die Abmessungen der einzelnen Bauteile Mauerwerk, Hinterfüllung, Hohlräume und Gleisschotter wurden aus den Informationen, die mithilfe der radialen Kernbohrungen und der Schürfe im Tunnel gewonnen wurden, modelliert.

Dazu wurden entlang der Tunnelachse in einem Abstand von 15 m Querprofile erstellt, die die Tunnelinnenschale sowie den Tunnelaufbau darstellen. In den Querprofilen dargestellt wurden: die Tunnelinnenschale (rot), die Hinterfüllung (orange), der Gleisschotter (hellgrün) sowie der Firststollen (blaugrün) (Abb. 4).

Anhand der Querprofile wurden nachfolgend wiederum entsprechend dem oben beschriebenen Schema Volumenkörper generiert, die den Bestandstunnel dreidimensional darstellen.

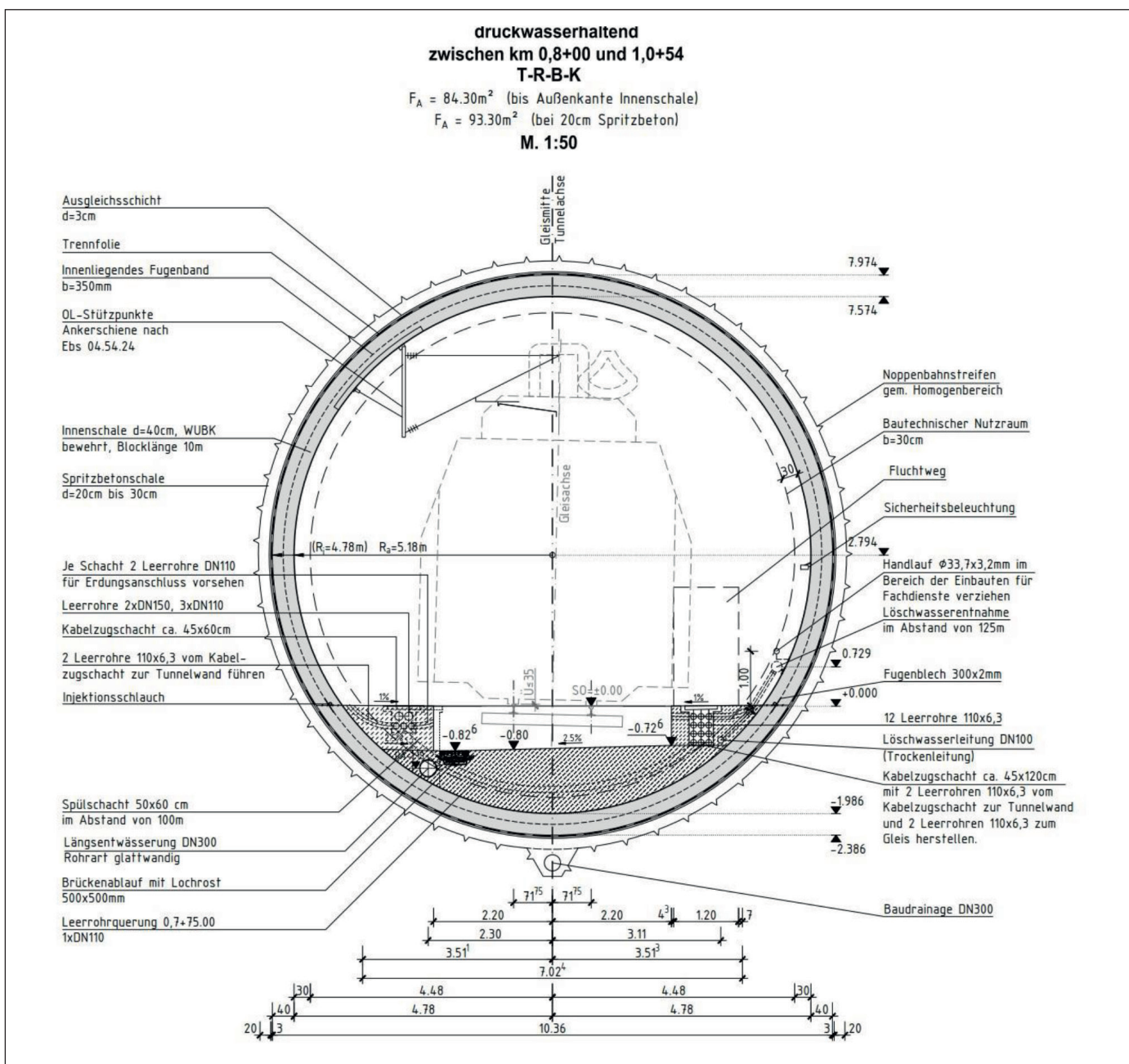


Abb. 5: Geplantes Regelprofil

Quelle: [3]

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Hochschule für Angewandte Wissenschaften Darmstadt / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

MIT BEWÄHRTER TECHNIK VERSCHLEISSFEST UND ERGONOMISCH SCHRAUBEN.



30.82 HKS

ROWRENCH 2.0

Universal-Schraubmaschine

- Ergonomische Anwendung, durch individuelle Höheneinstellung
- Zuverlässiges Schraubverfahren, genaue Ergebnisse
- Robust gebaut, Wartungskosten minimiert
- Flexibel im Einsatz



www.robel.com

 **ROBEL**

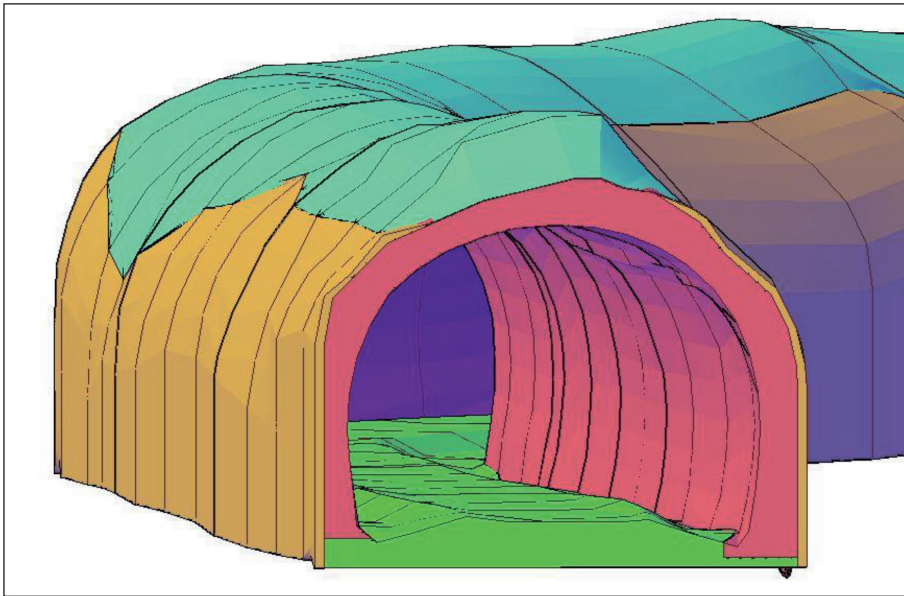


Abb. 4: Modell Bestandtunnel

Quelle: [2]

Modell der Tunnelneuplanung

Das Modell des Tunnelneubaus ist für die vorliegende Aufgabenstellung nur geometrisch im Hinblick auf die verschiedenen Ausbruchvolumen relevant. Daher wurde nur die Ausbruchkontur modelliert. Innen- und Außenschale wurden nicht nachgebildet. Für die Modellierung wurde zunächst die geplante, neue Tunnelachse trassiert. Auf dieser wurde dann die Ausbruchkontur des neuen Regelprofils in regelmäßigen Abständen aufgebracht. Im vorliegenden Fall ist für den Neubau ein Kreisprofil vorgesehen (Abb. 5). Mit dem hier vorgestellten Verfahren lassen sich jedoch problemlos auch andere Profilformen, z.B. Maulprofile, generieren.

Verschneidung der Modelle

Nach der Modellierung der drei Teilmodelle wurden diese miteinander verschnitten, um aus den daraus resultierenden Körpern die auszubrechenden Volumina ermitteln zu können. Dazu wurde zunächst aus dem Baugrundmodell das Modell des Bestandstunnels ausgeschnitten. In den entstandenen Hohlraum wurde im Anschluss das Modell wieder eingefügt, sodass der ausgeschnittene Hohlraum nun mit dem Bestandsmodell ausgefüllt ist. Der Bereich des Firststollens wurde dabei als Hohlraum modelliert. Im Anschluss wurde das Modell der Tunnelneuplanung mit den beiden bereits vereinigten Modellen verschnitten. Als Resultat ergibt sich ein Körper, der das insgesamt auszubrechende Volumen repräsentiert.

Auswertung des Modells

Anhand des Körpers, der die Schnittmenge aus allen Modellen darstellt, war im Anschluss eine Auswertung der auszubrechenden Volumina möglich. Die einzelnen Bestandteile des auszubrechenden Körpers – Innenschale (blau), Hinterfüllung (orange), Schotter (oliv), Gebirge

(grün, rot) – können einzeln angewählt werden, sodass sich das Volumen für jedes Element einzeln ausgeben lässt. Die so ermittelten Ausbruchvolumina sind im Anschluss auf ihre Plausibilität überprüft worden. Dazu wurden zunächst die Kubaturen von stark einfachen geometrischen Modellen numerisch und analytisch berechnet und verglichen. Nach Bestätigung der einfachen Modelle wurden die Ergebnisse des detaillierten Modells mit den vorliegenden, analytischen Massenermittlungen der vorliegenden Entwurfsplanung [3] verglichen. Im Ergebnis konnte eine gute Übereinstimmung bestätigt werden.

Erkenntnisse und Zukunftsaussicht

Das hier dargestellte Modell zur Erarbeitung der Methodik stellt den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik dar. Dennoch ist zu erwähnen, dass die hier verwendete Software „zweckentfremdet“ wurde. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft noch bessere Software-Lösungen angeboten werden. Außerdem kann die Genauigkeit des Modells bei einer praktischen Anwendung durch eine höhere Erkundungsdichte verbessert werden. Ein besonderer Hinweis gilt den hohen erforderlichen Rechnerleistungen aufgrund der Komplexität des Modells und der damit verbundenen Datenmengen. Herkömmliche Endgeräte werden bei zukünftigen, noch komplexeren Modellen und weitergehenden Aufgabenstellungen nicht mehr ausreichen, um die bei der Modellierung anfallenden noch größeren Datenmengen in vertretbarer Rechenzeit verarbeiten zu können.

In Zukunft wird die digitale Planung immer stärker in den Fokus rücken. Die hier vorgestellte Methode bei Tunnelbauprojekten bietet eine sehr gute Grundlage, die Möglichkeiten der Digitalisierung beim Bauen im Bestand zu nutzen und weiterzuentwickeln. Zum Beispiel lassen sich auch die neuen Tunnelinnen- und -außenscha-

THEMENSCHWERPUNKTE:

Ausgabe Nr. 6/21

- Innovative CFT-Leichtbauweisen für Tragwerkstrukturen
- Reaktivierung und Neueinrichtung von Bahnstationen im Kieler Umland
- Schallquelle Straßenbahn
- Schienenstegdämpfer gegen Kurvenquietschen
- Vorteile einer niedrigen Lärmschutzwand
- Deutschlandtakt – aktueller Stand
- Nachhaltiges Bauen mit Systembahnsteigen

Anzeigenschluss: 12.5.21

Erscheinungstermin: 11.6.21

Ausgabe Nr. 7/21

- Konfliktmanagement auf Baustellen
- Baustellensicherung und Warnsysteme 4.0 und deren Auswirkung auf Fortbildung
- Digitale Helfer auf der Baustelle
- Baustellenlogistik innerhalb einer komplizierten Baumaßnahme
- Durchbruch für Fahrerassistenzsysteme
- Numerische Parameterstudien zum dynamischen Gleisschotterverhalten

Anzeigenschluss: 14.6.21

Erscheinungstermin: 9.7.21

Ausgabe Nr. 8/21

Offizielles Berichtsheft zur Oberbaufachtagung des VDEI

- Baustandards – Personenbahnhöfe und digitale Bauteilbibliothek
- Klimatisierung des ICE-Instandhaltungswerks in Köln-Nippes
- Klimafreundlicher Verkehrsträger Bahn – Fahrerassistenzsystem zum energiesparenden Fahren
- Vorbeugender baulicher Brandschutz im Alltag
- KIB trifft Oberbau
- Blitz- und Überspannungsschutz in der LST und TK
- Sicherheitsgehäuse für elektrotechnische Anlagen in Bahntunneln

Anzeigenschluss: 9.7.21

Erscheinungstermin: 6.8.21

Haben Sie Fragen?

Kontakt: Silvia Sander

Telefon: +49/40-23714-171

E-Mail: silvia.sander@dvvmedia.com

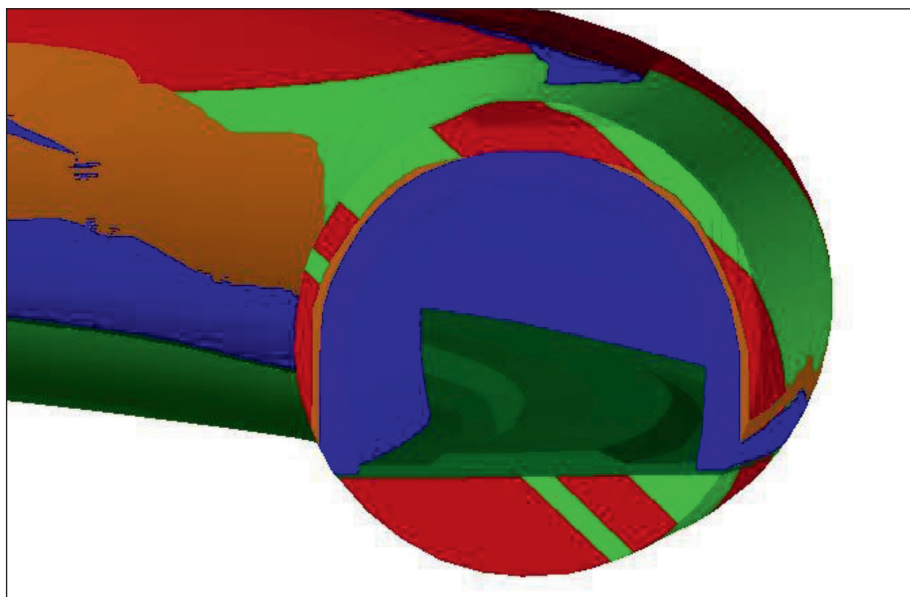


Abb. 6: Modell auszubrechendes Volumen

Quelle: [2]

len in 3D modellieren und mit dem Bestandsmodell verschneiden. Hierbei können auch die Konstruktionsvorgaben der Regelwerke, z.B. maximaler Größtwert der Innenschalendicke gem. Ril 853.4004, im Modell berücksichtigt werden. So lassen sich bei Tunnelerneuerungen bereits in frühen Projektphasen verschiedene Planungsvarianten (Radien, Gradienten, Querprofile) im Hinblick auf Ausbruchkubaturen, Auffüllen von Überprofilen mit Spritzbeton oder auch ein CO₂-Footprint analysieren und optimieren. Mittels definierter Attribute im BIM-Modell lassen sich aus den Kubaturen auch andere projektrelevante Parameter wie Kosten, Zeit, Nachhaltigkeit oder entsorgungs- und arbeitsschutzrechtliche Fragestellungen frühzeitig im Projekt prognostizieren und optimieren.

Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass das hier vorgestellte Modellbeispiel zur Weiterentwicklung der BIM-Methode genutzt wurde, da eine sehr gute Datengrundlage bestand. Das Projekt ist bereits weit fortgeschritten und wird nicht nach der BIM-Methode geplant. ■

QUELLEN

[1] CDM Smith; Fromm, H.; Krajewski, W.: Geotechnisches Gutachten, Erneuerung des Horchheimer Tunnel, Bericht-Nr. 03, CDM Smith Consult GmbH, Alsbach, 2014

[2] Schilder, L.: Entwicklung eines 3D-Konstruktionsmodells für einen Bestandstunnel und anschließender Verschneidung mit der Neuplanung für die Erneuerung des Tunnelbauwerks zur Massenermittlung, Abschlussarbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Darmstadt, 2020, unveröffentlicht

[3] Biber, U.: Entwurfsheft Erneuerung Horchheimer Tunnel, Bung Ingenieure AG, Heidelberg, 2018



Dipl.-Ing. Heiner Fromm

Bereichsleiter und
Tunnelbausachverständiger
CDM Smith Consult GmbH,
Bickenbach
heiner.fromm@cdmsmith.com



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt

Professor für Geotechnik, Tunnelbau,
CAD und Umweltgeotechnik
Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Darmstadt, Darmstadt
jurgen.schmitt@h-da.de



B.-Eng. Lukas Schilder

Werksstudent
CDM Smith Consult GmbH,
Bickenbach
lukas.schilder@cdmsmith.com



Dipl.-Wirt.-Ing. Stephan Nink

Projektleiter Tunnel
DB Netz AG, Frankfurt a. M.
stephan.nink@deutschebahn.com