Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 25 (2020)

Heft: 1-2

Artikel: Das SBB-Grossprojekt Brüttenertunnel : Vorprojekt

Autor: Roth, Simon

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-977306

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 25/1+2, 2020 S. 43-50

Das SBB-Grossprojekt Brüttenertunnel - Vorprojekt

Simon Roth[1]

Stichworte: Tunnelbau, Brüttenertunnel, Geologie, Obere Süsswassermolasse, BIM.

Zusammenfassung
Das SBB-Grossprojekt Brüttenertunnel soll den schon lange bekannten Kapazitätsengpass zwischen Zürich und Winterthur beseitigen. Der 8.3 km lange Brüttenertunnel führt von Dietlikon und Bassersdorf direkt nach Winterthur-Töss und erhöht die Kapazität auf dieser Strecke von täglich 670 auf rund 900 Fahrten. Der vorliegende Beitrag beschreibt die für den Tunnel ausgeführten geologischen Sondier- und Laborarbeiten und die Entwicklung des geologischen Prognosemodells von der Objektstudie zum Vorprojekt. Der Fokus liegt dabei auf den Lockergesteinsabschnitten zwischen Dietlikon und Baltenswil und beim Portal Töss sowie den Eigenschaften des Molassefelses. Zum Abschluss wird die Rolle des Geologen in BIM-Projekten beleuchtet.

1 Einleitung

Seit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2019 hat die SBB-Linie Zürich-Winterthur mit täglich 670 Zügen ihre Kapazitätsgrenze erreicht. Der zweispurige Abschnitt zwischen Effretikon und Winterthur-Töss bildet den Engpass, welcher im Zuge des Ausbauprojekts Bahn2000 mit einem Tunnel zwischen Bassersdorf und Winterthur-Töss hätte beseitigt werden sollen. Für diesen Tunnel, welcher das namensgebende Brüttener-Plateau unterquert hätte, wurden in den 1980er Jahren die geologisch-geotechnischen Untersuchungen durchgeführt, und das Projekt wurde zur Ausführungsreife gebracht. Unter anderem wurde in Winterthur-Töss ein 40 m tiefer Vertikalschacht bis in den Glimmersandstein abgetieft, und im Glimmersandstein wurden Injektionsversuche durchgeführt. Wegen Kostenüberschreitungen auf anderen Bahn2000-Abschnitten wurde der Brüttenertunnel im letzten Augenblick gestoppt. Anstelle des Tunnels wurde lediglich ein 2.5 km langer Dreispurabschnitt zwischen Winterthur-Töss und Winterthur Hauptbahnhof gebaut, womit der Kapazitätsengpass bis heute besteht.

Zur Beseitigung des Kapazitätsengpasses hat die SBB im Jahr 2016 das Projekt Brüttenertunnel wieder aufgenommen und zusätzlich zur Bahn2000-Variante sechs weitere Tunnelvarianten geprüft (Fig. 1). Der Tunnel soll dabei nicht nur ab der SBB-Linie Flughafen-Bassersdorf, sondern über eine Verzweigung auch ab der Linie Dietlikon-Effretikon nach Winterthur-Töss führen. Die Variantenwahl war stark von Grundwasservorkommen und -nutzungen beeinflusst.

Auf Basis der Objektstudie wurde zwischen Herbst 2017 und Ende 2019 das Vorprojekt erarbeitet. Das Herzstück bildet weiterhin der Brüttenertunnel mit zwei Einspurtunnels ab Portal Dietlikon und Bassersdorf zum Verzweigungsbauwerk Mülberg, und von dort zum Portal Töss. Zur Nutzung der neu geschaffenen Kapazitäten ist eine Vielzahl von Massnahmen nötig, sodass der Perimeter des Projekts Brüttenertunnel noch auf Stadtzürcher Gebiet (Aubrugg) beginnt, über Wallisellen, Dietlikon und parallel ab Bas-

[1] dipl. Natw. ETH/SIA, Geologe, Jäckli Geologie AG, Hermann Götz-Strasse 21, 8400 Winterthur, roth@jaeckli.ch

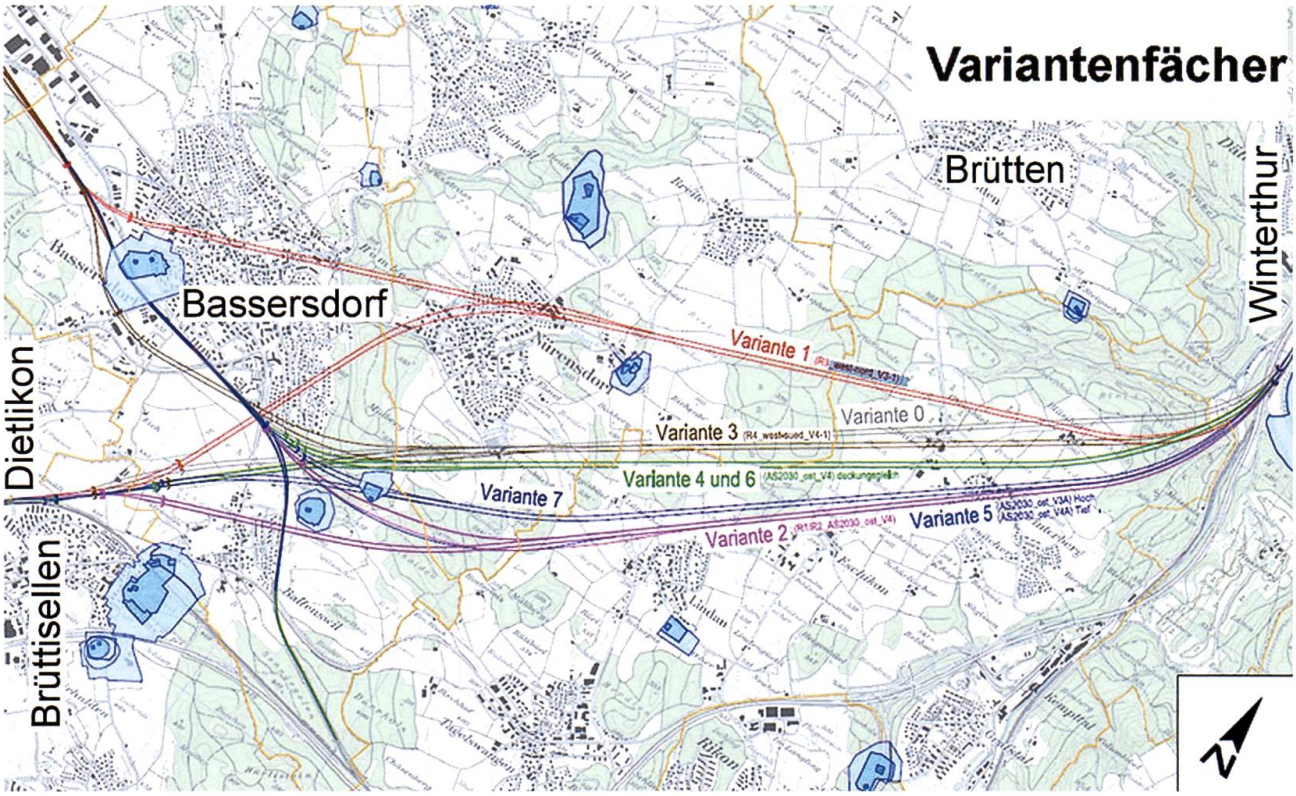


Fig. 1: Geprüfte Projektvarianten (Objektstudie) und Grundwasser-Schutzzonen. Die Variante 1 entspricht mehrheitlich dem Bahn2000-Projekt. Die Variante 7 wurde im Rahmen des Vorprojekts weiterbearbeitet.

sersdorf bis zum Tunnelbauwerk verläuft und nördlich des Tunnelportals Winterthur-Töss vor dem Hauptbahnhof Winterthur endet (Fig. 2). Die Massnahmen umfassen diverse kreuzungsfreie Spurwechsel, zusätzliche Gleise sowie Ersatzneubauten für Bahnhöfe und Unterführungen. Zudem lösen diese baulichen Massnahmen weitere Projekte nach sich wie z.B. die Umlegung einer nationalen Veloschnellroute im Gebiet Wallisellen, die Verlegung der Stammlinie nordöstlich Dietlikon als Vorinvestition für den Bau der Glattalautobahn oder die Aufhebung der Unterführung Baltenswilerstrasse östlich Bassersdorf, wodurch die seit 40 Jahren angedachte Umfahrung Bassersdorf zumindest partiell Realität wird.

Im vorliegenden Artikel werden die geologischen Sondierarbeiten für den Tunnelabschnitt beschrieben und die angetroffenen, geologischen Verhältnisse bei den Portalen Dietlikon und Töss sowie im Molassefels dargestellt. Die Objektstudie für den Tunnel-

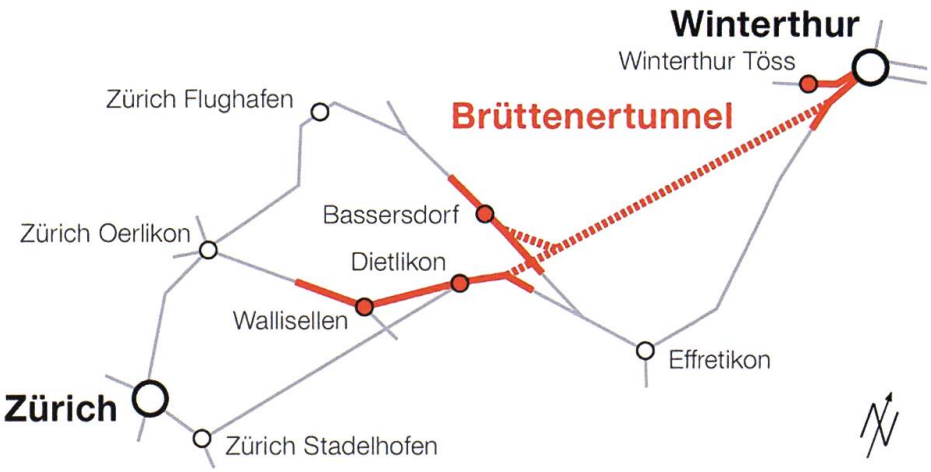


Fig. 2: Übersicht über das Projekt Brüttenertunnel mit den zugehörigen Massnahmen.

abschnitt wurde von der Ingenieurgemeinschaft INGE LED+ resp. dem Geologiebüro Dr. von Moos AG, Zürich, erstellt und das hier vorgestellte Vorprojekt von der Jäckli Geologie AG, Zürich, als Subakkordant der Ingenieurgemeinschaft IG BRÜTT bearbeitet.

2 Geologische Sondierarbeiten

Geologische Sondierungen sind die Grundlage für das geologische Prognosemodell und werden in der Projektbearbeitung der Ingenieure als Erstes benötigt. Bevor weiterführende Sondierungen geplant werden konnten, wurden bestehenden Sondierdaten gesammelt, ausgewertet, das Prognosemodell der Objektstudie verfeinert und die verschiedenen Bestandteile des Projekts in Bezug auf geologische, geotechnische, hydrogeologische oder altlastenrechtliche Implikationen bewertet. Erst mit dieser Bewertung wurden der Ingenieurgemeinschaft und der Bauherrschaft weiterführende Sondierungen vorgeschlagen. Dann wurden die Sondier- und Laborleistungen submittiert, die gewässerschutz- und forstrechtlichen Bewilligungen sowie die Sondierrechte der Grundeigentümer eingeholt und die Werkleitungsabklärungen sowie SBB-Sicherheitsvereinbarungen vorgenommen. Diese ersten Arbeitsschritte konnten dank enger Zusammenarbeit der Geologen mit den Ingenieuren, der Bauherrschaft, den Behörden und den Grundeigentümern innert sechs Monaten abgeschlossen werden.

Die Unternehmerleistungen (Sondierungen, Versuche, Labor) wurden nicht nur für das Vorprojekt submittiert. Mit Blick auf das spätere Auflageprojekt hat die Bauherrschaft diese Leistungen für die Stufe Vor- und Auflageprojekt ausgeschrieben. Das heisst, nach den im Sommer 2018 durchgeführten Sondierungen für das Vorprojekt konnten die Sondierungen des folgende Auflageprojekts definitiv platziert und ohne grössere Zeitverluste im Sommer / Herbst 2019 ausgeführt werden. Damit konnte eine konsolidierte Datenbasis für das bevorstehende Auflageprojekt geschaffen werden.

Für den Tunnelabschnitt wurden total 54 Kernbohrungen, 9 Rammkernbohrungen, 9 Rammsondierungen, 4 Drucksondierungen abgeteuft und 450 m Hammerschlagseismik-Linien erstellt. Die jeweils im Sommer 2018 und 2019 durchgeführten Feldarbeiten konnten zwar von trockenem Wetter profitieren, erforderten aber während der Vegetationsperiode wegen der Lage im Landwirtschaftsgebiet intensive Absprachen mit den Bewirtschaftern. Die Präparation der Bohrkerne und die geologische Dokumentation erfolgten durch erfahrenes und geschultes Personal und wurden systematisch von einem zweiten Geologen kontrolliert (4-Augen-Prinzip).

Für die Sondierungen (inklusive den Nachbarabschnitten) wurden parallel bis zu 8 Bohrgeräte eingesetzt. Neben den klassischen Kernbohrgeräten wurde auch ein Sonic-Bohrgerät eingesetzt. Zusätzlich zu den regulären Einfach-/Doppelkernrohrbohrungen wurde auch im Seilkernverfahren und mit Imloch-Hammer gebohrt. Die Wahl des Bohrgeräts und -verfahrens erfolgte unter Berücksichtigung der erwarteten Untergrundverhältnisse mit dem Ziel, qualitativ bestmögliche Bohrkerne zu erhalten. Für Felsbohrkerne, welche für felsmechanische Versuche vorgesehen waren, wurde in der Regel mit Polymer-Zusätzen («Antisol») gebohrt und die Proben wurden gleichtags, für Quellversuche innert Stundenfrist, geborgen, luftdicht verpackt und ins Labor transportiert. In den Bohrlöchern wurden Dilatometerversuche und Lugeontests durchgeführt sowie Porenwasserdruckmessgeber und Piezometerrohre eingebaut.

Die Qualität und Aussagekraft von Bohrkernen sind sehr unterschiedlich. Einerseits wird die Kernqualität massiv vom Bohrmeister geprägt: Nicht jeder Bohrmeister ist in der Lage, in wassergesättigtem Sand aussa-

gekräftige Standard Penetration Tests (SPT) auszuführen oder in schwach zementierten Sandsteinen einen zusammenhängenden Kern zu gewinnen. Andererseits beeinflusst die Bohrtechnik den Bohrkern: In tiefen Felsbohrungen erbringen Seilkernbohrungen repräsentative Bohrkerne und masshaltige Bohrlöcher für spätere Bohrlochversuche. Im Aathal-Schotter - einem von nagelfluhartigen Partien und moränenartigen Zwischenlagen durchsetzten Schotter - zeigten die mit Einfachkernrohr erhobenen Bohrkerne hohe Feinanteile und nur dezimeterlange verkittete Abschnitte (vgl. Fig. 3). Aufgrund der Rückmeldungen des Bohrmeisters wurde der geförderte Feinanteil auf zerbohrte Kies-/Steinkomponenten zurückgeführt, womit der natürliche Feinanteil gerade in moränenartigen Zwischenlagen nicht mehr abschätzbar war. Im Unterschied zu den Einfachkernrohrbohrungen erwies sich die nagelfluhartige Verkittung des Aathal-Schotters in Doppelkernrohrbohrungen als skelettartiges Gerüst (vgl. Fig. 3), weil der Bohrmeister mit einem sehr grosszügigen Spülfluss die Ton-, Silt- und Sandfraktion komplett ausgespült hatte. Für ein kohärentes Bild über die effektive Beschaffenheit des Aathal-Schotters war die Kombination verschiedener Bohrverfahren bzw. Kernentnahmen und von in Piezometern durchgeführten Flowmeter-Tests wertvoll.

3 Angetroffene Untergrundverhältnisse

3.1 Lockergesteinsabschnitt Dietlikon-Baltenswil

Der Abschnitt der rund 450 m langen Tagbaustrecke Dietlikon und dem anschliessenden, mit TBM aufzufahrender Lockergesteinsabschnitt zeichnet sich durch ausgesprochen heterogene Lockergesteinsverhältnisse aus. Währenddem die Objektstudie im Bereich der Tagbaustrecke Dietlikon auf Basis einer noch sehr bescheidenen Sondierdichte von einem Rückzugsschotter über eiszeitlichen Seeablagerungen und Moräne ausgegangen ist (Fig. 4), wurde in den Sondierungen im Sommer 2018 in der Moräne in drei Bohrungen ein Schotterkörper angetroffen. Weil dieser Schotterkörper unmittelbar unterhalb der geplanten Baugrubensohle angetroffen wurde und keine Aussagen über dessen laterale Ausdehnung möglich waren, wurden im Sommer 2019 weitere Kernbohrungen, Ramm- und Drucksondierungen abgetieft

Fig. 3: Bohrkern aus dem Aathal-Schotter, oben mit Einfachkernrohr gebohrt (mit erhöhtem Feinanteil), unten mit Doppelkernrohr (Ton-, Silt- und Sandfraktion ausgespült).

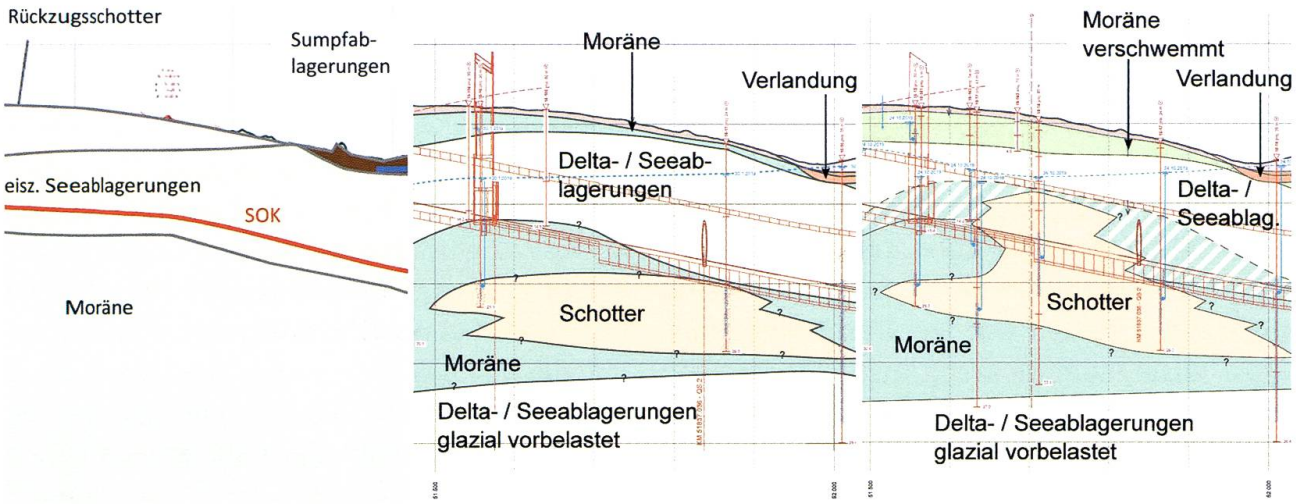


Fig. 4: Auszug aus den geologischen Längenprofilen Tagbaustrecke Dietlikon, km 51.5-52.0: links auf Stufe Objektstudie, Mitte auf Stufe Vorprojekt Stand 2018, rechts auf Stufe Vorprojekt Stand 2019.

und ein dreiwöchiger Pumpversuch durchgeführt. Damit konnten Lage und Ausdehnung des in Figur 4 orange dargestellten Schotterkörpers präzisiert und dessen heterogenen Durchlässigkeiten (k-Werte zwischen 2×10^{-4} und 2×10^{-5} m/s) beziffert werden.

3.2 Molassefels

Der Fels der Oberen Süsswassermolasse wurde als Sandstein und Mergel mit den Mischformen mergeliger Feinsandstein, Silt- und Tonstein angetroffen. Der Tunnel verläuft vollständig in der höher liegenden OSM II. Gemäss aktueller Prognose verläuft der Tunnel auf der ganzen Länge über den bekannten Glimmersandstein-Vorkommen. Entstehungsbedingt weist der Molassefels stark variierende Eigenschaften auf, was sich zum Beispiel in den einfachen Druckfestigkeiten zeigt. Zu Figur 5 sei angemerkt, dass schwach zementierter Sandstein oder Mergel mit Druckfestigkeiten < 4 MPa entweder nicht ins Labor transportiert oder vom Labor nicht aufbereitet werden konnten. Die stark variablen felsmechanischen Eigenschaften machen die Wahl repräsentativer Erwartungs- und Extremwerte für die statische Dimensionierung schwierig, und erfordern Baugrundmodelle, welche die meist (sub-)horizontalen, sedimentären Strukturen berücksichtigen.

Die Variabilität des Molassefelses zeigt sich auch in den Schwermetallgehalten. Im Hinblick auf die Wiederverwendung oder

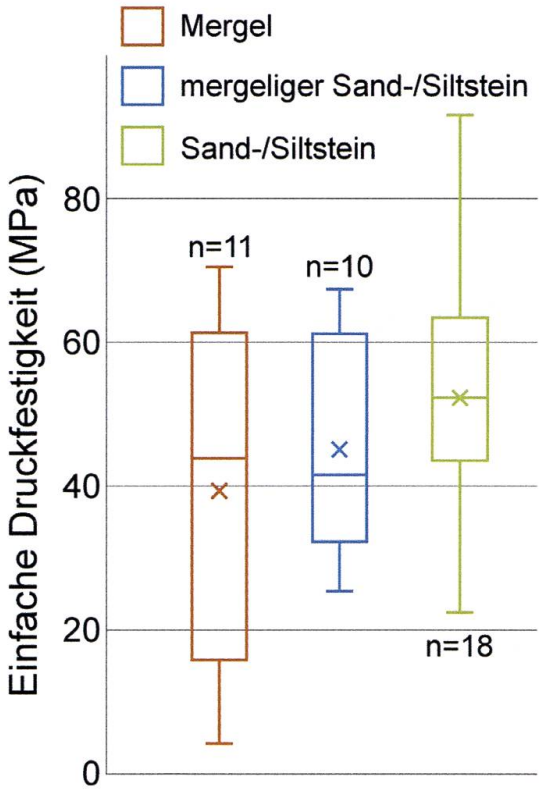


Fig. 5: Zusammenstellung einfache Druckfestigkeiten von Mergeln, mergeligen Feinsandsteinen / Siltsteinen und Sandsteinen (ohne schwach zementierte Sandsteine).

Deponierung des Felsausbruchs wurden verschiedene Schwermetall-Analysen an zürcherischen Molassefelsproben der OSM I und OSM II zusammengetragen (vgl. Fig. 6). Am Beispiel von Arsen zeigt sich, dass in der OSM I generell höhere Arsengehalte als in der OSM II vorliegen, aber auch in der OSM II im Mergel noch regelmässig erhöhte Arsengehalte festgestellt wurden. Der Molassefels weist zusätzlich zu Arsen auch für Chrom, Nickel und Kupfer geogen erhöhte Gehalte über dem Richtwert für unverschmutzten Aushub auf. Im Zuge des Vorprojekts wurden innerhalb des Projekts, aber auch mit den kantonalen Bewilligungsbehörden die Randbedingungen für eine Feld-Analytik sowie die Wiederverwendung des Molasseausbruchs als Schüttmaterial, als Rohmehlersatz in der Zementindustrie oder zur Wiederauffüllung von Kiesgruben diskutiert.

3.3 Unterquerung Kempt und Lampergrain

Der nördliche Tunnelabschnitt vor dem bergmännischen Portal Winterthur unterquert von Dietlikon kommend die Kempt, den Hügelzug des Lampergrain und die Autobahn A1. Die Auswertung historischer Karten, Luftbilder und der Sondierdaten zeigen für diesen Bereich eine vielfältige Geschichte: In den 1880er Jahren wurde für die Eisenbahnverbindung zwischen dem Lampergrain und dem südlich anschliessenden Rossberg ein bis zu rund 20 m tiefe, frei abgeböschter Einschnitt abgetragen. Anschliessend wurden der über dem Molassefels oder der Moräne liegenden Schotter in Kiesgruben abgebaut und die Kempt wurde ein erstes Mal umgelegt und die alte Flussrinne zur Landgewinnung aufgeschüttet. Beim Autobahnbau zwischen 1965 und 1972 wurde die Eisenbahnlinie überdeckt, der Lampergrain grossflächig abgetragen und der abgetragene Schutt südlich des Lampergrains für eine Dammschüttung verwendet. Die Kempt wurde neben diesem Damm, aber auch in der nördlichen Fortsetzung beim Lampergrain in ein neues, künstliches Bachbett ein weiteres Mal umgelegt.

Die geologische Entstehungsgeschichte, aber auch die anthropogenen Veränderungen widerspiegeln sich in den Untergrundverhältnissen. Die Felsisohypsen in Figur 7 zeigen nicht nur die anthropogenen Eingriffe für den Autobahnbau, sondern auch eine bis vor den Lampergrain verlaufende, schmale Felsrinne und beim Lampergrain vermutlich eine verhältnismässig hohe Felsschwelle. Die

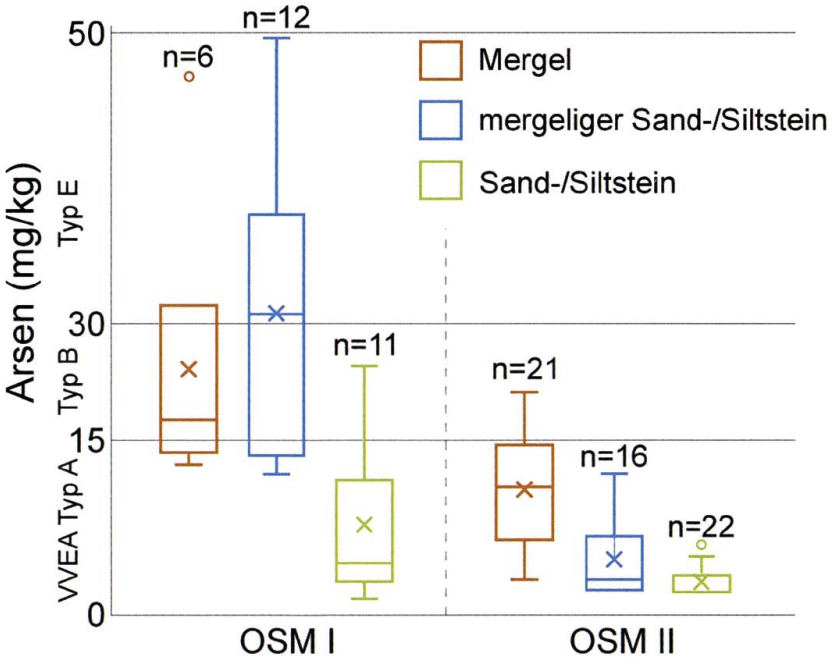


Fig. 6: Auswertung geogener Arsengehalte aus der oberen Süsswassermolasse des Grossraums Zürich: Links aus der tiefer liegenden OSM I, rechts aus der höher liegenden OSM II. Das Projekt Brüttenertunnel kommt vollumfänglich in die OSM II zu liegen.

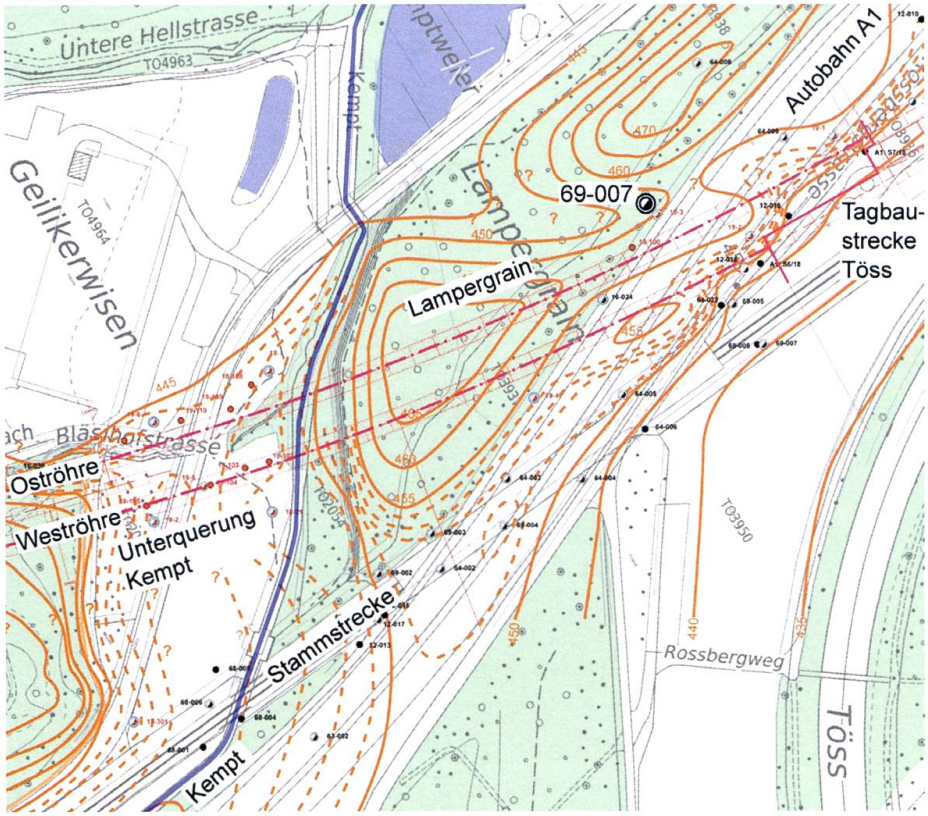


Fig. 7: Modellierte Felsisohypsen vor dem Tunnelportal Winterthur, links Bereich der Kemp-Unterquerung, rechts die Unterquerung der Autobahn A1 mit dem anschliessenden bergmännischen Portal und der Tagbaustrecke Winterthur.

genannte Felsrinne wurde in der Bohrung Nr. 64-007 zuoberst auf dem Lampengrain angetroffen, wo diese bis rund 25 m tief ist. Möglicherweise ist diese Rinne eine randglaziale Erosionsrinne. Auch die anthropogenen Eingriffe beim Autobahnbau wie der Felsabtrag beim Lampergrain oder die Hinterfüllungen bei den Stützmauern und der Überdeckung der Bahnlinie sind für den Brüttenertunnel relevant, da diese Bereiche unmittelbar beim bergmännischen Portal sowie parallel zur Tagbaustrecke mit der nahen Autobahn und der bestehenden Bahnlinie liegen.

4 Der Brüttenertunnel in Building Information Modelling (BIM)

Building Information Modelling (BIM) ist eine aktuelle Bauplanungs-, Ausführungs- und Betriebsmethode, welche die räumlichen Geometriedaten einzelner Bauteile mit Attributen kombiniert. Auf Stufe Vorprojekt verlangte die Bauherrschaft von der Ingenieurgemeinschaft einen Testlauf mit der BIM-Planung eines Querschlags. Der Test wurde so erfolgreich umgesetzt, dass für das Vorprojekt der ganze Tunnelabschnitt mit der BIM-Methodik bearbeitet wurde.

Auf den ersten Blick beschränken sich die Beiträge der Geologen an BIM-Modelle auf die Bereitstellung zusätzlicher räumlicher Modell-Daten. Die Modellierung geologischer Schichten ist in der Ingenieurgeologie keine Neuheit, die Nutzung dieser Modelle in BIM jedoch schon. Folgende Unterschiede zur klassischen Plandarstellung ergeben sich:

- Während Bauteile in BIM zentimetergenau berechnet und dargestellt werden, sind geologische Modelle nicht nur ungenau, sondern sie weisen auch statistisch relevante Unsicherheiten auf. Diese Unsicherheiten konnten bis anhin in Plandarstellungen mithilfe von Fragezeichen signalisiert werden. Im Wissen um ihre Ungenauigkeiten gehört zur geologischen Prognose nicht nur die Geometrie einzelner Schichten, sondern auch die Charakterisierung der geologischen Einheiten inklusive ihrer geologischen Risiken und Gefährdungsbil-

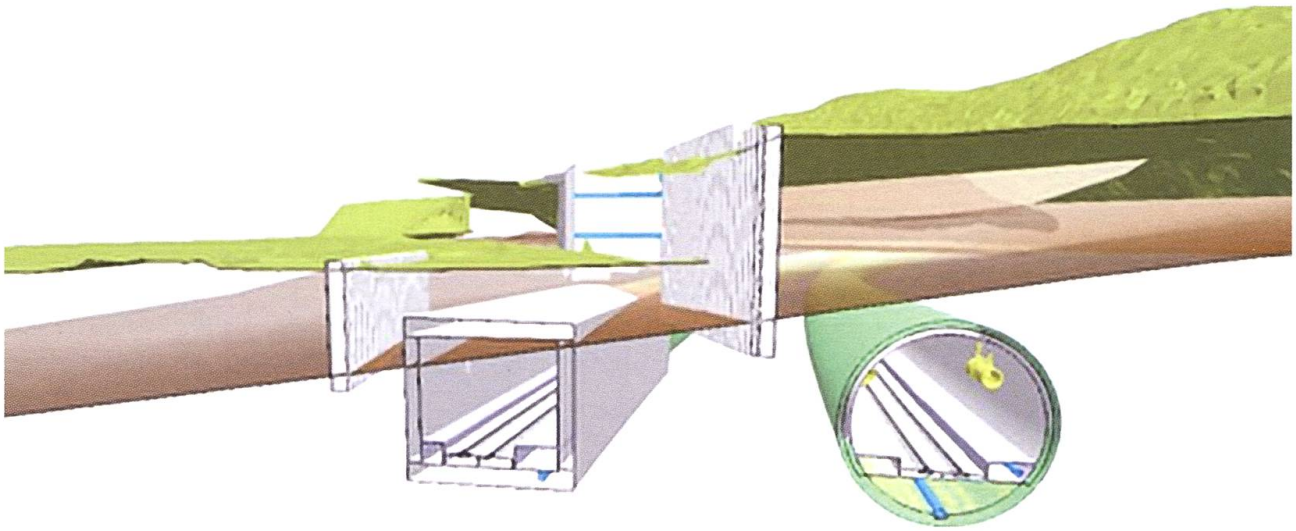


Fig. 8: Tagbaustrecke Portal Töss mit der Felsoberfläche, mit BIM dargestellt (Quelle: IG BRÜTT / SBB).

der (SIA 267:2013; SIA 197/1:2019).

- Geologische Modelle werden zweckgebunden erstellt: So werden in der Regel geologische Eigenschaft wie z.B. der Übergang zwischen Lockergestein und Fels dargestellt. Für die BIM-Projektierung sind aber andere Aspekte relevant, wie z.B. die Untergrenze der Verwitterungsschicht im Fels. Dabei können die geotechnischen Eigenschaften einer Moränenüberdeckung über dem Fels und die verwitterte Felsschicht sehr ähnlich und deshalb im BIM-Modell nicht relevant sein. Die BIM-Methodik zeigt noch stärker als in der klassischen Ingenieurgeologie, dass das geologische Prognosemodell nicht mit dem geotechnischen Baugrundmodell übereinstimmen muss.

Die Anwendung der BIM-Methodik bietet viele Chancen und vereinfacht den Planungsprozess. Die Einschätzungen des Autors laufen aber dahin, dass die neue Methodik das bestehende Spannungsfeld zwischen der geologischen Prognose und dem Baugrundmodell verschärft wird. Im Projekt Brüttenertunnel erwiesen sich beim Vorprojekt die Einbindung des Geologen in die Ingenieurgemeinschaft und der intensive Austausch über die Anwendungsgrenzen der geologischen BIM-Modelle als zielführend und notwendig.

Die Implementierung der BIM-Methodik in der Geologie wurde auch vom Schweizerischen Geologenverband CHGEOL aufgenommen, welcher zusammen mit der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW diesen mit dem innosuisse-Forschungsprojekt «Geol_BIM» weiter vertieft.

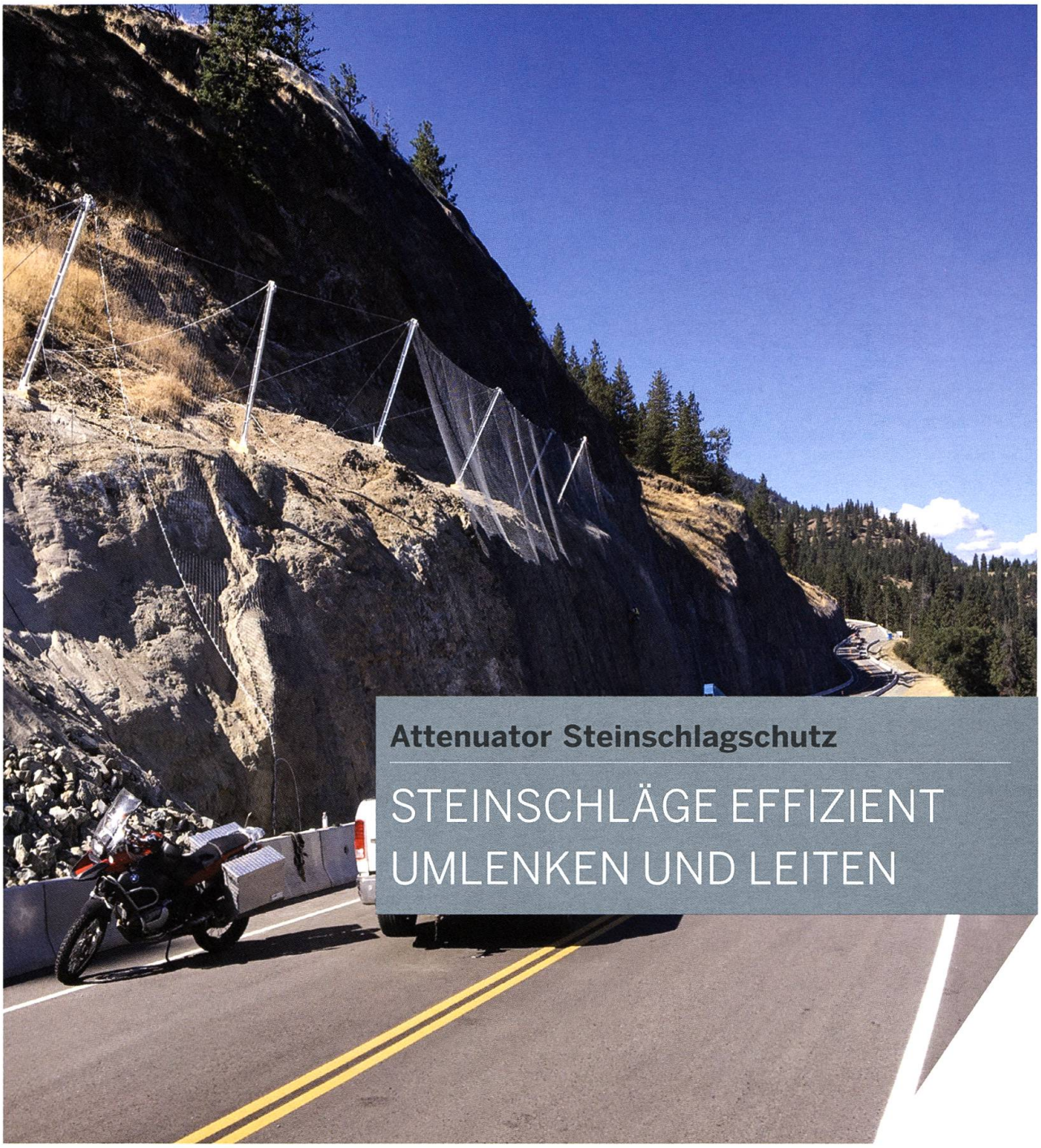
Literatur

SIA 267:2013: Geotechnik, Schweizer Norm SN 505 267

SIA 197/1:2019: Projektierung Tunnel – Bahntunnel, Schweizer Norm 505 197/1

GEOBRUGG®
BRUGG
Safety is our nature

www.geobrugg.com/attenuator



Geobrugg AG | CH-8590 Romanshorn | www.geobrugg.com