Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 116 (1998)

Heft: 19

Artikel: Tunnelausbruch Vereina und Gotschna: Aufbereitung und Verwendung des Ausbruchmaterials

Autor: Röthlisberger, Bruno / Fromm, Johannes

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79497

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: 08.08.2025

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

Bruno Röthlisberger, Chur, und Johannes Fromm, Landquart

Tunnelausbruch Vereina und Gotschna

Aufbereitung und Verwendung des Ausbruchmaterials

Bei Tunnelbauten fallen grosse Mengen an Ausbruchmaterial an, die entsorgt werden müssen. Zum Auffahren der Tunnelbauwerke kommen immer mehr Tunnelbohrmaschinen (TBM) zum Einsatz. Die hohen Vortriebsleistungen verkürzen die Bauzeit und optimieren die Wirtschaftlichkeitsrechnung, bringen aber enorme Ausbruchkubaturen in relativ kurzen Zeitabschnitten ans Tageslicht. Die notwendige Deponierung dieses Materials führt zu ernsthaften Transport- und Entsorgungsproblemen, verbunden mit entsprechenden Kosten und Umweltbelastungen.

In der Schweiz werden jährlich rund 30 bis 35 Mio. Kubikmeter mineralische Rohstoffe (Sand und Kies) verbaut. Dies führt bereits zu einer deutlichen Verknappung an abbaubaren, hochwertigen Alluvialkiesen. Durch den Bau grosser Tunnelprojekte werden diese Zahlen regional sehr schnell zunehmen. Verschiedene Nutzungsansprüche der kiesführenden Regionen führen zu starken Interessenskollisionen. Es sind dies vor allem Waldgebiete, Bauzonen, Verkehrswege, Landschafts- und Grundwasserschutz. Aus diesen Gründen ist die Gewinnung von Sanden und Kiesen limitiert, und es müssen Alternativen gefunden werden.

Eine Lösung für die Zukunft bietet die Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial, nach dem Motto «von der Tunnelbrust an das Tunnelgewölbe». Durch optimierte Materialbewirtschaftung einer Tunnelbaustelle können Deponiestandorte reduziert werden, Zuschlagstoffe für den Eigenbedarf oder den Verkauf an Dritte aufbereitet werden sowie der Ausbruch auch als Rohmaterial an Kieswerke verkauft werden.

Beim Vereinatunnel wurde diesem Motto, wenn immer möglich, nachgelebt.

Dazu wurden am Nord- wie Südportal zweckmässige Bahnverladeinstallationen für Ausbruchmaterial und aufbereitete Komponenten aufgebaut und betrieben. Das Ausbruchmaterial wurde in Kiesaufbereitungsanlagen zu Betonkieskomponenten, Kiessanden und Bahnschotter aufbereitet. Im Projektkonzept wurde auch sehr viel Wert darauf gelegt, dass möglichst viel nicht aufbereitungswürdiges Ausbruchmaterial für Dämme und Schüttungen der Vereinalinie verwendet werden konnte. In einer mustergültigen Zusammenarbeit zwischen dem Tiefbauamt Graubünden und der RhB, d.h. zwischen der Umfahrung Klosters und der Vereinalinie, konnte das anfallende Ausbruchmaterial mit kleinstmöglichen Transporten zum gegenseitigen Nutzen verwendet werden. Dank weitsichtiger Planung des Tiefbauamtes Graubünden konnte die Vereinalinie Zehntausende von Kubikmetern Kiessande kostengünstig produzieren und mit öffentlichen Verkehrsmitteln auf Zwischendeponien transportieren. Hunderttausende von Kubikmetern Vereina-Ausbruchmaterial wurden zudem für gemeinsame Schüttungen verwendet.

Ausgangsmaterial und dessen Verwendung

Geologie der Vereinalinie

Der Zugwald-Tunnel liegt auf seiner ganzen Länge im Sedimentgestein. Der vorgefundene Prättigauer-Flysch, die Aroser-Schuppenzone wie auch die Kalke aus der Falknis- und Sulzfluhdecke eigneten sich nicht für eine weitere Verwendung als Kiessand.

Im Vereinatunnel Nord wurden auf den ersten zwei Kilometern Gesteine der Aroser-Schuppenzone, eine mächtige Serpentinlinse und Glimmergneise des Dorfbergkristallins sprengtechnisch ausgebrochen. Die mechanisch aufgefahrenen 9500 m Ausbruch im Norden lagen von Nord nach Süd ablaufend im Dorfbergkristallin und anschliessend in Gneisen, Bänderamphiboliten und Amphiboliten der Silvretta-Decke. Im Sprengvortrieb Süd wurde vorwiegend Amphibolit vorgefunden.

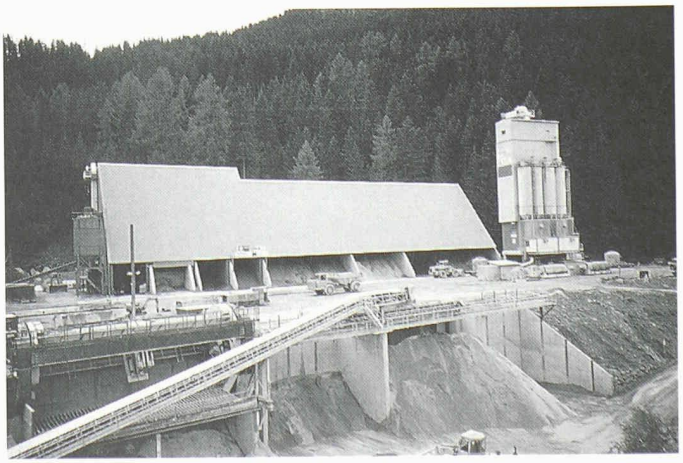
Ausbruch aus Sprengvortrieb Süd

Der gesamte Ausbruch der 2000 m langen Drei- und Zweispurstrecke und der 5400 m langen Einspurstrecke wurde im Portalbereich Süd auf eine Körnung 0–150 mm vorgebrochen. Die rund 650 000 m^3 Felsausbruch lose wurden wie folgt verwendet:

- Eigene Schüttungen: 160 000 m^3
- Abtransport in Deponien ausserhalb der Baustelle: 180 000 m^3
- Aufbereitung zu Betonkieskomponenten: 220 000 m^3
- Aufbereitung zu Kiessanden: 30 000 m^3
- Aufbereitung zu Bahnschotter: 60 000 m^3

Ausbruch aus Spreng- und TBM-Vortrieb Nord

Zugwald-Tunnel: Mit dem Ausbruch aus der Lockermaterialstrecke Klosters wurde eine Unwetterhangrutschung an der Landquart geschüttet. Die gesamte TBM-Ausbruchkubatur von 140 000 m^3 lose wurde über eine kurvengängige Bandanlage im Tunnel direkt aus dem Vortrieb in zwei Silos à 800 m^3 transportiert. Die Ausbruchchips wurden mit der RhB nach Untervaz transportiert und dienten dort als Füllmaterial von ausgebeuteten Kiesgruben.



1
Rotationskippe
Vereinatunnel Nord

▪ Vereinatunnel, Drei- und Zweispurstrecke: In erster Priorität wurden diese 360 000 m³ Ausbruchmaterial lose als Schüttkörper für den zukünftigen Verladebahnhof verwendet.

Das anfallende Ausbruchmaterial des Dorfbergkristallins ab Tunnelmeter 1700 zeigte sich optisch von recht guter Qualität. Die Bauleitung liess das Material petrographisch untersuchen und veranlasste sofort einen Brechversuch mit einer mobilen Brechanlage. Es zeigte sich sehr bald, dass das anfallende Material zu den verschiedensten Produkten aufbereitet werden konnte: 2300 m³ als Bahnschotter III. Klasse für den Baubahnhof der AVN und der RhB, 3100 m³ als Betonkies 0–50 mm für die Betonsohle im Vereinatunnel Nord und 6900 m³ als Kiessand II. Klasse für den Eigenbedarf und Dritte.

Mit dieser, nicht von langer Hand geplanten Aufbereitungsaktion, konnten fiktiv mehr als Fr. 350 000.– für die Vereinalinie gespart werden; zudem entfielen teure Transporte in Deponien inner- und ausserhalb der Baustelle.

▪ Vereinatunnel, TBM-Strecke: Aus der 9500 m langen TBM-Strecke fielen 850 000 m³ Ausbruch lose in Form von Chips (0–50 mm) an. Der Entscheid, ob der täglich anfallende Ausbruch aufbereitet werden kann, wurde auf der Baustelle gefällt. Die Geologie musste täglich durch die Bauleitung in Zusammenarbeit mit den Geologen und der Unternehmung beurteilt werden. Kontinuierlich wurden Ausbruchproben entnommen und Siebanalysen sowie petrographische Gutachten erstellt.

Nur mit einer ständigen Überwachung und Beurteilung (Erfahrung) der Felsverhältnisse konnte der Aufbereitungsentscheid gefällt werden, der Grundlage für aus TBM-Ausbruch aufbereitete, qualitativ gute Betonzuschlagstoffe war.

▪ Petrographie und Mineralogiekriterien für Betonzuschlagstoffe: Für die Gewinnung qualitativ einwandfreier Zuschlagstoffe ist nicht nur die Kornform und -verteilung entscheidend, sondern auch die petrographische und mineralogische Analyse. Diese Untersuchungen zeigen die Gesteinszusammensetzung des Felsens und den Anteil an Weichgesteinen. Die Gesteinskomponenten werden in Klassen eingeteilt und beurteilt. Als petrographisch geeignet gelten:

- I: Feine, homogene Kristallingesteine, Spilite, Horngesteine sowie gut verfestigte quarzreiche Sandsteine; sehr fest und kompakt; hart.
- II: Kalk- und Dolomitgesteine, Kalksandsteine, Kieselkalke; fest bis sehr fest und kompakt; mittelhart bis hart.
- III: Grobkristalline Gesteine, glimmerreiche Gneise; bevorzugte Spaltflächen, aber fest und kompakt als Ganzes; mittelhart.

Als petrographisch ungeeignet gelten:

- IV: Grobkristalline Kalkspate, Mergelkalke, weiche Molassesandsteine, stark poröse sowie verwitterte, mürbe Komponenten, Rauhwacken, Gips, Anhydrit, Pyrit.
- V: Glimmerblättchen, Glimmer-, Chlorit-, Kalk- und Tonschiefer, Mergelschiefer
- VI: Schädliche Beimengungen: Holz, Glas, Schlacken, Kohle,...

Der Anteil an Weichgesteinen ist die Summe aus der Klasse IV und V. Falls dieser Wert nicht mehr als 5 Gewichtsprozente beträgt, ist das Material als Betonzuschlagstoff geeignet.

Stand der Technik am Vereinatunnel

Im Vereina Süd wie Nord wurden ähnlich konzipierte Kiesaufbereitungsanlagen nach den Leistungsvorgaben des Projektanten erstellt. Nachfolgend beschränken wir uns, die Aufbereitung Vereinatunnel Nord mit Grundmaterial TBM-Ausbruch näher zu betrachten.

Das Ausbruchmaterial von Tunnelbohrmaschinen weist einen hohen Anteil an Feinkörnern und eine eher ungünstige Kornform (plattig, stengelig) auf.

Zur Herstellung von gut verarbeitbarem Beton, insbesondere von Pumpbeton, ist ein kubisches bzw. kugeliges Korn erforderlich. Die schweizerischen Normen definieren keinen absoluten Grenzwert für den Mindestanteil kubischen Korns. Es wird nur eine Verwendbarkeit der Kiesgemische definiert. Als Anhaltswert für den Mindestanteil kubischen Korns wird der Grenzwert der deutschen Norm von 50% herangezogen. Als kubisch gelten Aggregate mit einem Verhältnis von kleinstem zu grösstem Durchmesser von grösser oder gleich 0,4.

Die Zusammensetzung des TBM-Ausbruchs hängt stark von der Geologie (Brüchigkeit) und den Meisselabständen am Bohrkopf ab. Die Kornverteilung des Ausbruchs muss fortlaufend kontrolliert werden. Am Beispiel des Vereinatunnels erfolgte die Kontrolle des Ausbruchs über 9500 Tunnelmeter. Ausgewertet werden die Kornfraktionen je grösser 8, 11,2 und 16 mm. Am Vereinatunnel wurde eine Vorabscheidungsanlage grösser 16 mm installiert. Die Ausbeute der Ausbruchchips >16 mm stellte sich bei 34% ein.

Entscheidend für eine optimale Nutzung des TBM-Ausbruchs zur Aufbereitung ist die Vorabscheidung. Da das Material einen sehr hohen Feinanteil aufweist, ist es wichtig, auf Grund der Siebkurve die Grösse der Vorabscheidung zu bestimmen. Folgende Entscheidungskriterien für die Vorabscheidungsdimensionierung müssen überprüft werden:

- Gewünschte Korngrössen der Endprodukte
- Regelmässigkeit der Siebkurven bei wechselnder Geologie
- Berücksichtigung der Aufbereitungsverluste durch den verschiedenen Feinanteil der Korngrössen

Die Wahl der Vorabscheidungsgrösse muss auf die Erfahrungen und die Rahmenbedingungen der Baustelle abgestimmt werden. Spätere Anpassungen und Änderungen der Vorabscheidungsanlage sind aufwendig und mit Mehrkosten verbunden.

Randbedingungen

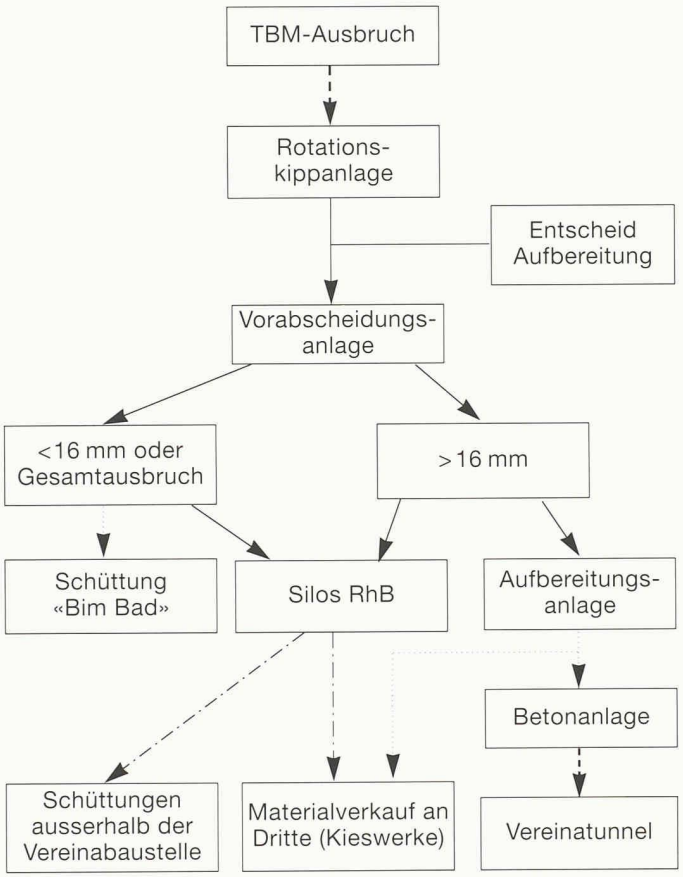
Das Materialbewirtschaftungskonzept der Vereinabaustelle Nord forderte eine möglichst hohe Wiederverwendung des Ausbruchmaterials. Seit Oktober 1995 ist die Baustelle durch den Zugwald-Tunnel direkt mit dem Bahnnetz der RhB verbunden, so dass alle Transporte per Bahn erfolgen konnten. Die 850 000 m³ wurden soweit als möglich zu Betonzuschlagstoffen für den Eigengebrauch und zu Kiessandgemischen für den Strassenbau der Umfahrung Klosters aufbereitet. Ein Teil des aufbereitungswürdigen Ausbruchs wurde auch an Kieswerke abgegeben. Das Überschussmaterial wurde vor Ort oder in Büel deponiert. Mit diesem Materialbewirtschaftungskonzept versucht man, Transporte zu reduzieren und Kosten einzusparen.

Umsetzen des Materialbewirtschaftungskonzepts in die Praxis

Der TBM-Ausbruch wurde im Tunnel auf dem Nachläufer per Förderband auf die Kipper der Stollenbahn verladen. Von dort gelangte es mit den Zugskompositionen (8 Kipper = 160 m³) zur Rotationskippanlage auf dem Installationsplatz (Bild 1).

Nach dem Kippen des Ausbruchmaterials wurde entschieden, ob der Fels aufbereitungswürdig ist oder nicht. Dieser Entscheid wurde auf Grund der täglichen Felsbeurteilungen im Vortrieb und den petrographischen Untersuchungen ähnlicher Felsformationen gefällt. Der Aufbereitungsentscheid basierte grundsätzlich auf den Erfahrungen des zuständigen Bauleitungspersonals (Bild 2).

Falls das Material nicht aufbereitungswürdig war, wurde es mit Dumpern auf die Schüttung oder über die Siloanlage mit der RhB zu Schüttungen ausserhalb der Vereinabaustelle geführt.



Transportlegende

- Stollenbahn
- Förderband
- Dumper
- Rhätische Bahn

2
Entscheidungsbaum für die Materialbewirtschaftung Vereinatunnel Nord

Falls das Material als aufbereitungswürdig taxiert wurde, kam es zur Vorabscheidungsanlage, wo die Komponenten grösser 16 mm ausgesiebt wurden. Das restliche Material wurde auf die Schüttung transportiert, und das ausgesiebte einerseits mit einer Bandanlage zur Aufbereitungsanlage oder andererseits zur Siloanlage der RhB geführt. In der Aufbereitungsanlage werden Betonzuschlagstoffe für den Eigenbedarf und den Verkauf aufbereitet. Diese Endprodukte werden auf der Betonanlage zu Tübbingmörtel, Ort- und Spritzbeton verarbeitet und zurück in den Tunnel transportiert. Das restliche Material wurde an regionale Kieswerke abgegeben.

Aus der sprengtechnisch ausgeführten 2300 m langen Aufweitung in Tunnelmitte fielen weitere 100 000 m³ Ausbruch an. Nach dem Vorbrechen im Bereich der Kippstelle wurde auch dieser Bänderamphibolit zu wertvollen Komponenten aufbereitet.

Installationskonzept

Die Aufbereitungsanlage wurde im Sommer 1995 auf der Baustelle Selfranga (Vereina Nord) gebaut und Ende August in Betrieb genommen. In dieser Anlage wurde das Material nass aufbereitet. Sie wurde auf eine Leistung von mindestens 30 m³/h respektive 400 m³/AT dimensioniert. Die Anlage wurde von Montag bis Samstag 13 Stunden im Tag betrieben. Im Januar 1996 wurde die Anlage über zwei Wochen bei minus 10 Grad betrieben. Während dieser Zeit wurde rund um die Uhr aufbereitet.

Die Anlage wurde mit einem Prallbrecher und einer langen Schwertwäsche ausgerüstet; der Schlamm nach der Zugabe von Flockungsmittel eingedickt, gepresst und auf die Deponie geführt.

Die Anlage produzierte alle Betonzuschlagstoffkomponenten von 0–32 mm Korndurchmesser, Bahnschotter 40–60 mm und Kiessandprodukte. Die Endprodukte wiesen eine gute Qualität auf.

Resultate und Erfahrungen, Baustelle Vereina

Wichtig für eine Tunnelbaustelle ist die Materialbilanz des Ausbruchs. Total wurden pro Tunnelmeter rund 84 m³ TBM-Ausbruchmaterial lose ans Tageslicht gefördert. Bei der Vorabscheidung gewann man durchschnittlich 34% (29 m³) Ausbruchmaterial, das grösser 16 mm war. Dieses Ausbruchmaterial teilte sich nach der Aufbereitung wie folgt auf (pro Tunnelmeter):

- 5% Aufbereitungsverluste (Schlamm)
- 3% Tübbingmörtel
- 6% Bankettbeton
- 13% Sicherungsspritzbeton
- 20% Ausbauspritzbeton
- 5% Konstruktionsbeton
- 48% Verkauf an Dritte

Die Materialbilanz zeigt auf, dass rund 52% für den Eigenbedarf benötigt wurden und 48% des aufbereitungswürdigen Materials an Dritte z.B. Kieswerke abgegeben werden konnten.

Um die geforderten Beton- und Spritzbetonqualitäten zu erreichen, wurden auf der Baustelle Vorversuche mit dem eigenaufbereiteten Material, verschiedenen Zusatzmitteln und Zementsorten durchgeführt. Im Vortrieb wie im Gewölbeausbau wurden durchwegs sehr gute Prüfresultate erreicht (Bild 3). Mit dem Konstruktionsbeton wurden mittlere Druckfestigkeiten von 50 bis 60 N/mm² nach 28 Tagen erreicht. Die Frostbeständigkeit im Frostwechselverhalten, nach Norm SIA 162/1, Prüfung 8, kontrolliert, weist eine hohe Frostbeständigkeit auf.

3
Spritzbetonqualität Vereinatunnel Nord

	Bohrkerndruck-festigkeit (28 Tage)	Standard-abweichung	Wasser-dichtigkeit	Hydratations-poren
Sicherungsspritzbeton B 40/30, BTC 450 kg/m³	41,7 N/mm²	4,9 N/mm²	17 mm	18,2%
Gewölbeausbauspritzbeton B 40/30, BTC 425 kg/m³	58,6 N/mm²	4,4 N/mm²	13 mm	15,6%

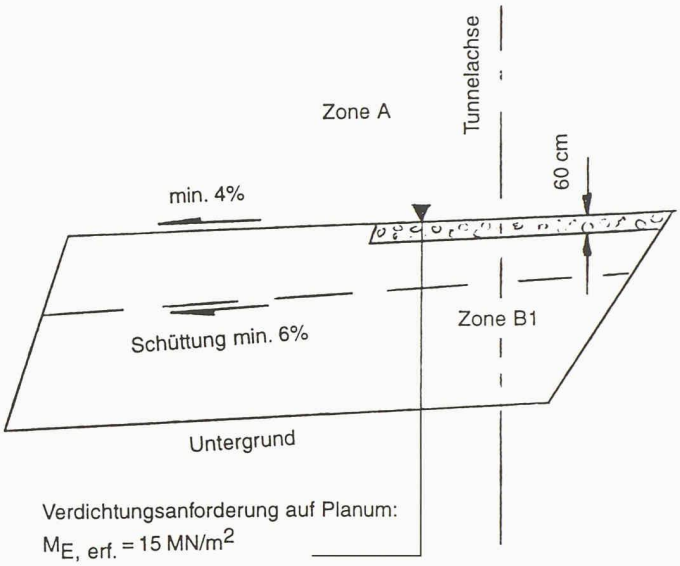
Zusammenfassung

Die grossen Materialmengen, die Tunnelbauten heute und in Zukunft ans Tageslicht fördern, müssen mit einem durchdachten Materialbewirtschaftungskonzept bewältigt und genutzt werden. Nur durch die Eliminierung aufwendiger Transportwege und die Wiederverwendung des

Ausbruchmaterials können Kosten und Umweltbelastungen reduziert werden.

Die deutliche Verknappung der abbaubaren Rohstoffe und die immer geringeren Deponiemöglichkeiten zwingen uns, den Ausbruch nach dem Motto «von der Tunnelbrust an das Tunnelgewölbe» zu nutzen, sei dies in Form von Betonzuschlagstoffen oder in Form von Kiessanden für den allgemeinen Tiefbau.

Die Erfahrungen aus den Versuchen für den Gotthard-Basistunnnel und die praktische Applikation am Vereinatunnel haben aufgezeigt, dass es möglich ist, aus TBM-Ausbruchmaterial Beton von hoher Qualität herzustellen. Diese Tatsache darf uns mit viel Zuversicht den grossen Tunnelbauten der Zukunft entgegenblicken lassen.



4
Schema Schüttprofil mit Verdichtungswerten Drostobel.
Zone A: Hochwertige Dammschüttung für oberste 60 cm unter Planum, Kornabstufung 0–150 mm, Setzungszuwachs pro Verdichtungsphase 2 mm
Zone B1: Normale Dammschüttung, hinterer Teil mit Kornabstufung 0–300 mm, max. Schichtstärke beim Einbau: 80 cm, Setzungszuwachs pro Verdichtungsphase 5 mm

Gotschnatunnel

Die Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials

Der Gotschnatunnel ist das wichtigste, nicht das attraktivste Teilstück der Umfahrung Klosters. Anfänglich war geplant, die neue Talstrasse von Küblis in einer offenen Linienführung nach Selfranga oberhalb Klosters zu führen. In den heute vorliegenden und bewilligten Auflageprojekten ist jedoch mehr als die Hälfte der Gesamtstrecke unter Tag gelegt worden.

Insbesondere bei der Umfahrung Klosters wurde die Traversierung des sich in Bewegung befindenden Gotschnahangs nicht nur aus Umweltverträglichkeitsgründen verlassen. Die viel zu geringe Hangstabilität provozierte die Verlegung der Strasse ins Berginnere.

Das unter der Rutschmasse liegende Tunnelgebirge besteht aus zwei Felsdecken, dem unterliegenden Prättigauerflysch (Bündnerschiefer) und der darübergeschobenen Aroserzone. Der untere Teil des Gotschnatunnels, also derjenige Teil der vom Drostobel her erschlossen wird, liegt im bankigen Bündnerschiefer. Ein Gestein, das keine höheren Ansprüche erfüllt, bei dem aber der Ausbruch der vorgesehenen Tunnelröhre ohne grosse Probleme realisiert werden kann.

Das hier anfallende Schuttermaterial aus dem steigenden Tunnelausbruch – total rund 480 000 m³ – wird in die beiden nachfolgend umschriebenen Schüttstellen Drostobel und Büel eingebracht.

Der obere Tunnelbereich, d.h. die letzten 600 der insgesamt 4200 m, liegen voraussichtlich ganz in der Aroserdecke, einem tektonisch ausserordentlich stark beanspruchten Gebirge. Als Tunnelgebirge sind vor allem die letzten 400 m als sehr schlecht zu beurteilen. Dies äussert sich in mehr oder minder mächtigen kakeritisierten Störzonen, in denen sprödere Gesteine schwimmen.

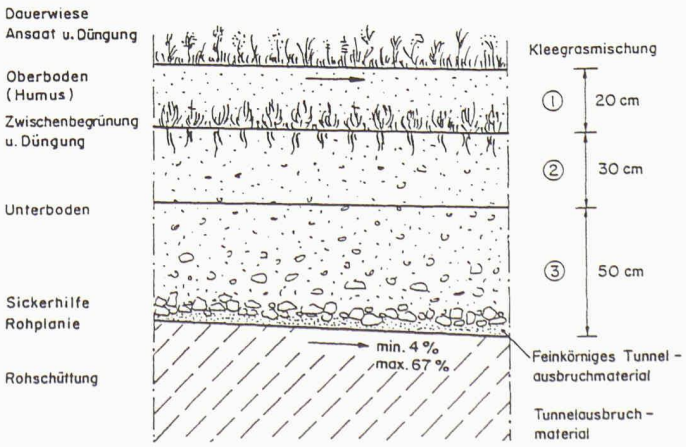
Diese, als Mélange bezeichnete Gesteinsabfolge, kann vorbehältlich ihres Wassergehalts nur für Unterbauschüttzwecke Verwendung finden. Möglicherweise muss einzelnes Ausbruchmaterial infolge zu hoher Feuchtigkeit einem Trocknungsverfahren unterzogen oder aber in einer speziellen Schlechtmaterialdeponie gelagert werden.

Drostobelschüttung

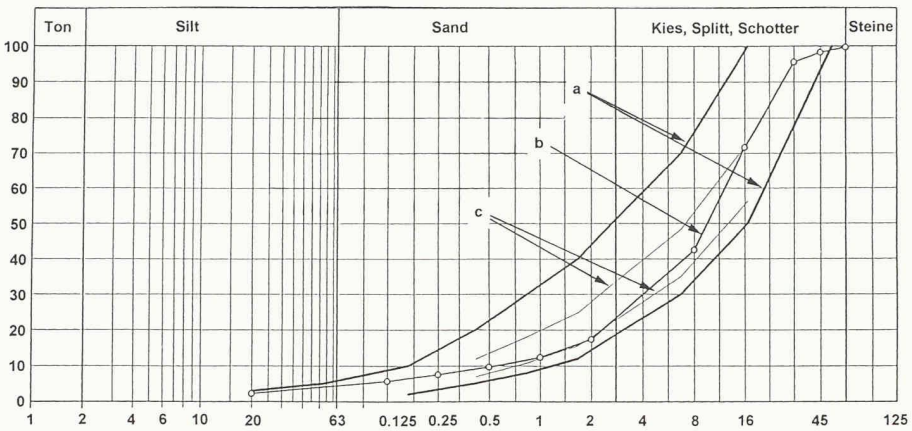
Das Auffüllen der Drosbachrunse erfolgt in zwei Etappen. In einem ersten Arbeitsgang werden rund 100 000 m³ Ausbruchmaterial im Runsenfuss eingebaut. Auf dieser Schüttung liegt das Verbindungsstrassenstück Sunnibergbrücke-Gotschnatunnel. Um die geforderten Tragfähigkeitskriterien zu erfüllen, wird das vorgebrochene Felsmaterial in Schichten von maximal 80 cm eingebaut und mit einfachen Geräten verdichtet. Später werden in einer weiteren Etappe nochmals etwa 120 000 m³ Ausbruchmaterial für die Überschüttung bzw. die terrestrische Endgestaltung des Portalbereichs verwendet. Obwohl an diesen Materialauftrag keine speziellen Anforderungen gestellt werden, soll die Oberfläche doch eine nachfolgende Aufforstung gestatten. Dies wird ein Einarbeiten von Humus oder Walderde in die Deckschicht notwendig machen (Bild 4).

Schüttung Büel

Bei der Schüttung Büel, mit einem Deponievolumen für Tunnelmaterial von 260 000 m³, sind andere Randbedingungen zu erfüllen. Dieses Gebiet wurde für den Bau der Umfahrungsstrasse der landwirtschaftlichen Nutzung entzogen. Es soll



5
Rekultivierung Schüttung Büel
1: Humus, min. 20 cm. Auflockerung vor Aussaat. 2: Unterboden min. 30 cm. Mit Aushub- sowie feinem Tunnelausbruchmaterial (bis d = 100 mm) vermischt. Separater Einbauarbeitsgang. Auflockerung vor Zwischenbegrünung.
3: Gebrochenes Tunnelausbruchmaterial min. 50 cm, max. d = 300 mm, Korngrösse von oben nach unten abnehmend

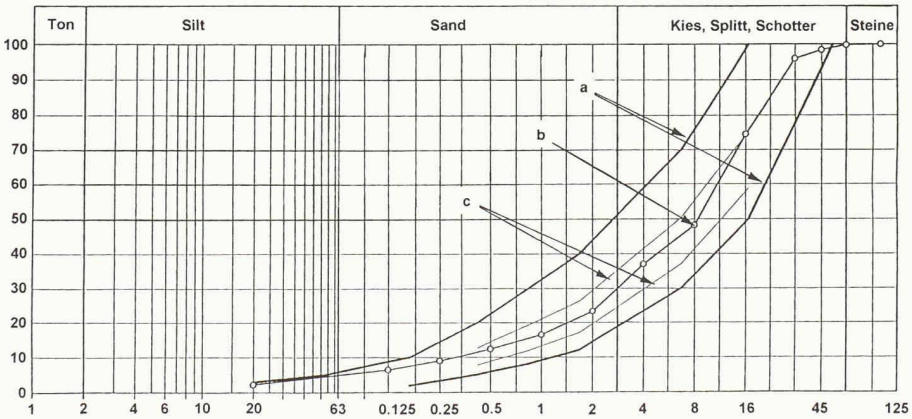


6

Siebkurve Kiessand II. a: Korngrössenverteilungsbereich KS I, Umrechnungsfaktor Rund- auf Quadratloch: 1,2. b: Mittelwert Kies Vereina. c: Streuband für KS I, umgerechnet auf Quadratlocheben

7

Siebkurve Kiessand I. a: Korngrössenverteilungsbereich KS I, Umrechnungsfaktor Rund- auf Quadratloch: 1,2. b: Gemisch Kies Vereina mit 10% Sand. c: Streuband für KS I, umgerechnet auf Quadratlochebene



aber nach Beendigung der Bauarbeiten wieder bäuerlich genutzt werden können, d.h., es sollen wieder Fettwiesen mit Feldgehölz als Umrandung entstehen, wozu ein besonderer Aufbau der Oberflächenschicht notwendig ist (Bild 5).

In Anlehnung an bereits ausgeführte Aufbaumodelle wird dieser dreischichtig mit einer Gesamtstärke von einem Meter ausgeführt. Insbesondere sei auf die Zwischenbegrünung unter der nachfolgend aufzubringenden Humusschicht hingewiesen.

Verwendung von KS II aus Vereinatunnelausbruch

Das aus dem Vortrieb des Vereinatunnels anfallende Amphibolit-Gneis (Brechschotter) wurde im Kieswerk Vereina mittels verschiedener Siebvorgänge zu Fundationsmaterial KS II aufbereitet.

Der Kanton Graubünden, als Bauherr der Umfahrungsstrasse Klosters, war an der Übernahme von geeignetem, kostengünstigem Fundationsmaterial interessiert. Nachdem der Produzent - also die RhB als Bauherrin der Vereinalinie - die von der Kiessand-Norm geforderten Kriterien, insbesondere diejenigen der Kornabstufung erfüllt hatte, stand der Lieferung von 25 000 m^3 Koffer KS II nach Büel nichts mehr im Weg. Bild 6 zeigt die Siebkurve, gemittelt aus 26 Einzelproben.

Obwohl bekannt ist, dass auch mit gebrochenem Fundationsmaterial hohe Tragfähigkeiten erreicht werden, stellten sich der Baustelle die praktischen Fragen nach Einbau- und Verdichtungsaufwand. Dazu dürfen wir aus der Publikation von M. Caprez «Anforderungen an die Verdichtung von Kiessanden» (Mitteilung Nr. 131 GBF) zitieren: «Die Vorteile der erhöhten Tragfähigkeit und Stabilität von Kiessand mit gebrochenem Korn treten nur dann in Erscheinung, wenn eine genügend hohe Lagerungsdichte (Verdichtung) der eingebauten Trag- oder Fundationsschicht erreicht wird.»

Da der Raum für eine ausführliche Beschreibung der sehr aufwendigen Einbau- und insbesondere der Verdichtungsversuche fehlt, darf ich die Resultate zusammenfassen:

- Das angelieferte Fundationsmaterial weist einen Sandanteil 0,02-2,00 mm von 17,3% auf
- Trotz Schichtstärken von max. 30 cm war ein Erreichen des geforderten M_E-Werts von 100 MN/m^2 mit Vibroverdichtungsgeräten auch nicht annähernd möglich.
- Nur unter zeitlich unwirtschaftlichem Einsatz von 14 bis 16 t schweren, statisch wirkenden, Pneuradwalzen waren einigermassen befriedigende Resultate zu erzielen.
- Schon ein einmaliges Befahren einer statisch verdichteten Fundationsschicht mit einer Vibrowalze reduzierte den vorhandenen M_E-Wert sofort wieder um 20-30%.
- Anhand praktischer Versuchen wurde der optimale Sandanteil 0,02-2,00 mm mit 23-25% ermittelt. Diese Erhöhung konnte mit dem Zumischen von 10 Volumenprozent gewaschenen Rundsands 0-4 mm erreicht werden

Auch das optimierte Fundationsmaterial, dessen Kornverteilungskurve innerhalb des Streubandes für Kiessand I liegt (Bild 7), muss mit statisch wirkenden Geräten verdichtet werden, jedoch liegt nun der zeitliche Aufwand im Bereich des Üblichen.

Um unnötige Optimierungskosten zu vermeiden, sollte bei der Verwendung von Brechschotter als Fundationsmaterial der Sandgehalt bis 2 mm über 20% liegen, dies selbstverständlich unter Einhaltung der Frostsicherheitskriterien.

Für die Verdichtung bieten sich statisch wirkende Geräte mit hoher Linienlast an.

Adresse der Verfasser:
Bruno Röthlisberger, dipl. Ing. HTL/STV, Amberg Ingenieurbüro AG, Ringstr. 18, 7000 Chur, und *Johannes Fromm*, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurbüro, 7302 Landquart