Wiederverwendung des Haufwerks beim Sprengvortrieb im Vergleich zum maschinellen Vortrieb mit Teilschnitt- und Tunnelbohrmaschinen

Comparison of blasting and TBM muckpiles regarding their utilization

Réutilisation des débris lors de l'avancement à l'explosif en comparaison à l'avancement par machines d'attaque ponctuelle et par tunneliers

von Ernst Büchi und Cédric Thalmann

Inhalt
In den kommenden Jahren wird der Tunnelbau stark zunehmen. Das bedeutet, daß große Mengen an Ausbruchmaterial anfallen, die nur zum Teil im Straßenbau oder für ähnliche Zwecke eingesetzt werden können. Andererseits werden im Tunnelbau ganz erhebliche Mengen Spritz- und Füllbeton benötigt. Es liegt also nahe, zu versuchen, das Ausbruchmaterial als Zuschiagstoff und Ersatz für Sand oder Kies einzusetzen. Die Autoren berichten über Untersuchungen an verschiedenen Ausbruchmaterialien, bei denen sowohl die mineralogische Zusammensetzung als auch die Ausbruchmethode eine Rolle bei der Frage spielen, ob das Material als Zuschlagstoff zu Beton geeignet ist oder nicht.

Summary
In the years to come, tunnel construction will considerably increase. As a result, large quantities of muckpile will be available and part of it can only be used for road construction or similar purposes. It would be of great interest to use this material instead of sand or gravel as components for concrete. The authors report on results of tests on several materials where the mineralogical characteristics as well as the heading method were of influence for the decision whether the material was suitable or not as component for concrete.

Résumé
Dans les prochaines années, la construction tunnelière va s'accentuer. Cela signifie de larges quantités de débris, qui ne seront utilisés que partiellement pour la construction routière ou des applications similaires. D'un autre côté, de grandes quantités de béton projeté et coulé seront nécessaires pour la construction tunnelière. On conçoit facilement l'intérêt à essayer d'utiliser ces débris comme agrégats en remplacement du sable et du gravier. Les auteurs décrivent les essais réalisés avec divers types de débris, pour lesquels non seulement la composition minéralogique joue un rôle, mais aussi la méthode d'abattement pour juger si ce matériau est apte à l'utilisation comme agrégat pour le béton ou non.

Einleitung 62
Ausbruchverfahren im Tunnelbau 63
Bewirtschaftung von Ausbruchmaterial 63
Bisherige Praxis 63
Zukünftige Bewirtschaftung 63
Tunnel-Ausbruchmaterial als Zuschlagstoff für Beton und Spritzbeton 64
Normen für Zuschlagstoffe 64
Mineralien, die negative Einflüsse auf Frisch- und Festbetoneigenschaften ausüben 64
Haufwerk verschiedener Ausbruchmethoden im Vergleich 65
Zusammenfassung 66
Schrifttum 67

Einleitung

Sand und Kies stellen mengenmaßig den weltweit wichtigsten Rohstoff dar, der vorwiegend zu Bauzwekken abgebaut wird. Dieser natürliche Rohstoff wird als Zuschlagstoff für die Beton- und Baustoffherstellung oder für Straßenbelag eingesetzt. Große Mengen von Kiessandgemischen werden als Material für Schüttungen und Tragschichten im Straßen- und Wegebau benötigt. Der Marktwert der Sand- und Kiesrohstoffe liegt weltweit nach den Energieträgern Erdöl, Steinkohle und Erdgas an vierter Stelle. Der intensive Abbau die-

Dr. phil. nat. Geologe Ernst Büchi, GEOTEST AG, Zollikofen und Dipl.- Geologe Cédric Thalmann, Ingenieurgeologe ETHZ, Zürich

versprechen. Diese Revisionszeiten werden genauesten vorbereitet, mit den Gerätelieferanten abgesprochen und die Wartungs- und Reparaturarbeiten von ihnen durchgeführt. Wegen der großen Entfernung zwischen Vortrieb und Außenwerkstatt sowie dem Umstand, daß einige Geräte bis Vortriebsende nicht mehr aus dem Tunnel herausgefahren werden können, werden sämtliche Großgeräte im Bühnenbereich gewartet und revidiert.

Dieser Wartungs- und Reparaturplan hat dazu beigetragen, daß die Verfügbarkeit aller Geräte und Maschinen bei mehr als 95 % liegt. Es gibt noch zwei weitere Gründe für die hohe Verfügbarkeit:

1. werden nur Maschinen mit ausgereifter Konstruktion eingesetzt und
2. wurde ein Verwamsystem für das Personal eingeführt, falls es mit den ihnen anvertrauten Geräten nicht vorsichtig und sorgfältig umgeht. Bei mutwilliger Beschädigung ist sogar eine Beteiligung an den Reparaturkosten vorgesehen.

Baustellenspezifische Randbedingungen

Es ist sicher möglich, die Leistung in einem Vortrieb mit anderem Querschnitt und unter günstigen geologischen Bedingungen noch zu steigern. Man könnte z. B. längere Abschläge von 4,5 m bis 5,0 m Länge sprengen. Bei der Annahme, daß die Rüstzeiten bei kürzeren oder längeren Abschlägen praktisch gleich sind, kann man so einen größeren Vortrieb/d erreichen.

In diese Überlegung muß aber auch immer die Verwendbarkeit der einzelnen Geräte miteinbezogen werden. Für längere Abschläge braucht man eine größere Nutzbohrlänge. Dann sind aber die Lafetten zum Bohren der Ankerlöcher zu lang und das gleichzeitige Bohren von Spreng- und Ankerlöchern - wie es häufig in der Praxis vorkommt - nicht mehr möglich. Zudem führen längere Abschläge zwangsläufig zu einem größeren Überprofil, weil die Profilbohrlöcher stets ein wenig nach außen verlaufen.

Leistungssteigerung durch Einführen eines Durchlaufbetriebes

Vor einer Hochrechnung, welche Vortriebsleistungen bei einem über 320 Tage im Jahr laufenden Betrieb möglich wären, kann nur gewarnt werden. Ein solcher Durchlaufbetrieb hat zur Folge, daß die unbedingt notwendige Maschinenrevision zeitlich stark verkürzt werden muß.

Diese Instandhaltung nach genauem Plan, also laufende Wartung und Generalinspektion, ist nach unserer Meinung ein absolutes Muß während einer langandauernden Auffahrung; denn die Maschinen und Geräte, die im Tunnelbau eingesetzt werden, sind starker Beanspruchung ausgesetzt und können deshalb einen langjährigen Dauereinsatz ohne regelmäßige und sorgfältige Wartung und Instandhaltung nicht überstehen.

Personal

Auf Hochleistungsbaustellen mit einer so sehr ausgefeilten Logistik und mit kompliziertem Betriebsablauf kann nichtleistungsfähiges oder nichtleistungswilliges Personal nicht eingesetzt werden. Die Tunnelbelegschaft muß in der Lage sein, mit den neuen Technologien umzugehen und sie optimal zu nutzen. Eine langjährige Erfahrung im Umgang und in der Bedienung älterer Maschinen und Geräte ist in einem solchen Hochleistungsbetrieb eher ein Negativfaktor.

Das zuvor Gesagte gilt in besonderem Maße für das Führungs- und Aufsichtspersonal. Die Führungsverantwortung und die Kompetenzen sind umfassend auf die örtlich zuständigen Bauführer delegiert.

Die Führungs- und Organisationsstruktur der ARGE Vereinatunnel ist sehr einfach gehalten und die einzelnen Positionen sind personell knapp besetzt.

Zusammenfassung

Beim Bau des 19.058 m langen Vereinatunnels ist durch den weltweit ersten Einsatz einer 230 m langen Nachläuferbühne, die der Ver- und Entsorgung des Vortriebes dient, eine neue Vortriebstechnik möglich geworden (Bild 19).

Das Ausbruchmaterial wird über die Förderanlage auf der Bühne abtransportiert und am Ende der Bühnenkonstruktion in gleisgebundene Schutterzüge geladen.

Sohlenaushub und Betonieren der endgültigen Tunnelsohle sind dadurch schon etwa 150 m hinter der Ortsbrust möglich, ohne daß der Vortrieb selbst in irgendeiner Weise behindert wird. Dieses im Tunnelbau neue Vortriebskonzept und eine hochentwickelte Logistik tragen zu den hohen Durchschnittsleistungen bei.

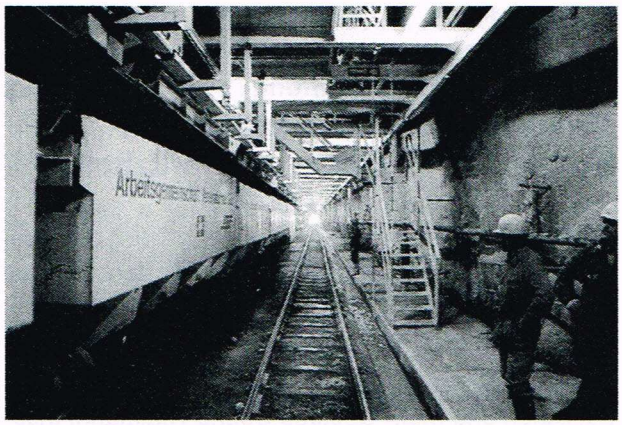

Bild 19. Blick in den Tunnel etwa 150 m hinter der Ortsbrust

ser mineralischen Rohstoffe führte in diversen Gebieten der Erde zu einer Mangelsituation. Oftmals sind es auch die zahlreichen Umweltinteressen und - gesetze, die zu Abbaurestriktionen in Kiesgebieten führen.

Die Forschung nach alternativen Sand- und Kiessubstraten wurde in den letzten Jahren stark vorangetrieben. Sogenannte Recyclingprodukte aus dem Bauabbruch, überschüssige Glasabfälle oder zu Splitt und Brechsand aufbereitete Felsmaterialien werden heute mit Erfolg anstelle von hochwertigen Alluvialkiesen eingesetzt. Als Ersatzstoffe können die in der Tabelle 1 angeführten zwei Hauptgruppen unterschieden werden:

Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Stoffe	
Lockergesteine, die Kies enthalten, der qualitativ befriedigt und mit tragbarem Aufwand gewonnen werden kann.	Gebrochene Festgesteine (und Abbruchmaterialien), die als Splittprodukte geeignet sind, die Funktion von Kies ganz oder teilweise zu übernehmen.
λ Quartäre glaziale Ablagerungen: Moräne λ Quartäre glaziofluviale Ablagerungen: Mit Moräne verzahnter Schotter (Schottermoräne)	λ Schuttablagerung: Bergsturzschutt und Gehängeschutt λ Festgestein: Felsabbau und Ausbruchmaterial im Untertagebau λ Recycling-Granulate aus Abbruchmaterial: Mischabbruchgranulat, Betongranulat, Recycling-Kiessand

Tabelle 1.
Möglichkeiten der Alluvialkies-Substitution durch andere Rohstoffe (Ergänzt nach Jackli & Schindler, [1])

Ein nicht zu unterschätzendes Potential an Kiesersatzmaterialien stellt das Ausbruchmaterial der Untertagebauten dar. Neben dem Tunnelbau für Straße und Bahn werden unzählige Untertagebauten und Stollensysteme für Wasserkraftwerke, Gasleitungen, für Durchleitungen von Telefon- und Hochspannungskabeln, für Trink- und Schmutzwasserleitungen sowie militärische Bauten erstellt.

Ausbruchverfahren im Tunnelbau

Im Festgesteins-Tunnelbau unterscheiden wir grundsätzlich drei verschiedenen Ausbruchverfahren

1. konventionell: den Sprengvortrieb (SpV)
2. maschinell: den Vortrieb mit einer Teilschnittmaschine (TSM) und
3. maschinell: den Vortrieb mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM)

Fällt beim Sprengvortrieb grundsätzlich grobblockiges Haufwerk an, so ist das Ausbruchmaterial beim maschinellen Vortrieb deutlich feinkörniger. Das mittlere Größtkorn hängt beim TSM-Vortrieb von der Rotationsgeschwindigkeit des Schrämkopfes sowie von dessen Schwenkgeschwindigkeit ab. Beim TBM-Ausbruchmaterial wird das mittlere Größtkorn durch den Schneidspurabstand der Bohrwerkzeuge bestimmt.

Bei allen Ausbruchmethoden kommen aber auch die geologischen Strukturen (Schichtung, Bankmächtigkeit, Schieferung, Bänderung) sowie ihre relative Lage zur Vortriebsrichtung zum Tragen.

Bewirtschaftung von Ausbruchmaterial

Bisherige Praxis

Bereits in früheren Zeiten wurde offensichtlich das Ausbruchmaterial bei der Auskleidung der Tunnel soweit wie möglich wieder eingesetzt. Dies geschah vorwiegend in Form von Hausteinen zur Ausmauerung des Tunnelgewölbes und zur Hinterfüllung von Hohlräumen und zwar sowohl im alpinen Bereich mit qualitativ guten Kalk- und Sandsteinen sowie kristallinen Gesteinen (Gneis, Granit) als auch im Bereich des Juras mit den entsprechenden festen Kalksteinformationen. Selbst bei Tunnelbauten in der mittelländischen Molasse wurden zum Teil vermörtelte Molassesandsteinquader für Tunnelauskleidungen eingesetzt. Beim Kraftwerksbau konnte vermehrt das geeignete Ausbruchmaterial der Stollen für den Massenbeton der Staumauern eingesetzt werden. Nur überschüssiges oder ungeeignetes Material wurde deponiert.

In der Schweiz konnten wichtige Erfahrungen bezüglich der Weiterverwertung von Tunnelausbruchmaterialien zu Kiesersatzprodukten im Rahmen des Baus der Nationalstraße N 8 am Brienzersee gesammelt werden [5]. Aus den vier im konventionellen Vortrieb erstellten Tunneln wurde das Felsmaterial gebrochen und als Fundationsschicht und als Betonzuschlagstoff für die Bauwerke - inklusive Belagsbeton - eingesetzt. Umfangreiche Analysen und Studien im Bereich der Zuschlagstoffe selbst, der Betonrezepturen und Qualitätskontrollen sowie die Gestehungskosten-Analysen zeigten die Wirtschaftlichkeit dieses Vorgehens auf. Ebenfalls für Betonbauten und Koffermaterial der Straßentunnels Kerenzerberg (Kieseikalke und Pierre Pertuis (Malmkalke) wurde das anfallende Tunnelausbruchmaterial eingesetzt. Kieselkalke des Tunnels Crapteig wurden aufbereitet und als Betonzuschlag gebraucht.

Zukünftige Bewirtschaftung

Materialbewirtschaftungskonzepte der heutigen und zukünftigen Tunnelbauten sehen vermehrt eine möglichst breite Weiterverwertung der anfallenden Ausbruchmaterialien vor. Das heißt, das Material soll vor-

erst nach seiner Qualität klassiert werden, um dadurch eine maximale Wiederverwendbarkeit in verschiedensten Bereichen zu erreichen bzw. den Anteil an überschüssigem Material, das deponiert werden muß, zu minimieren.

Dabei steht einerseits die direkte Weiterverwertung beim entstehenden Bauwerk im Vordergrund, andererseits kann auch die Abgabe an Dritte gefordert und optimiert werden. Dabei zeigt sich oft, daß sich die Kluft zwischen ökologischen Anliegen und ökonomischen Aspekten eines Bauwerks bei der Frage "Deponie oder Aufbereitung mit größtmöglicher Wiederverwendung?" deutlich verkleinern läßt.

Mit dem Bau der NEAT gilt es, rund 38 Mio. m^3 (mehr als 60 Mio. t) Ausbruch- und Aushubmaterialien zu bewirtschaften. Diese Menge entspricht etwa einem Jahresbedarf an Kiesprodukten für die Schweiz. Das Projekt sieht vor, die Versorgung der Baulose mit Schüttgütern und Betonzuschlagstoffen soweit wie möglich mit der Aufbereitung von eigenem Ausbruchmaterial sicherzustellen. Rund 30 % des anfallenden Ausbruchmaterials des Gotthard-Basistunnels könnten für eigene Zwecke, d. h. Wiederverwendung vor Ort, eingesetzt werden. Weitere 30 % sollen als Baurohstoffe an Dritte abgegeben werden. Minderwertiges Ausbruchmaterial wird der Wiederauffüllung von bestehenden Kiesgruben und Steinbrüchen dienen. Die Materialien werden in folgende drei Hauptklassen eingeteilt:

- Betonzuschlagstoff oder Kiessand-Ersatz
- Massenschüttgut
- Bautechnisch ungeeignetes Material [3]

Tunnel-Ausbruchmaterial als Zuschlagstoff für Beton und Spritzbeton

Normen für Zuschlagstoffe

Bei Tunnelprojekten wird ein großer Teil der benötigten Kiesmaterialien für die Herstellung von gut verarbeitbarem Ortsbeton, Pumpbeton und Spritzbeton benötigt. Die Schweiz besitzt keine Normen, die speziell für Splittbeton ausgerichtet sind. Die bestehende SIA-Norm 162 hat sich für Rundkiesmaterialien gut bewährt, dagegen kann sie für gebrochene Materialien nicht ohne weiteres übernommen werden. Die Norm läßt somit dem Anwender über den Weg von Vorversuchen die Möglichkeit, eigene Rezepturen zu erstellen, um die gewünschten Qualitätsanforderungen zu erreichen. In diesem Bereich besteht in der Schweiz ein Nachholbedarf im Vergleich zum Ausland, sich Erfahrungs- und Richtwerte mit dem Umgang von Splittbeton anzueignen.

Die entstehenden Euro-Normen (CEN TC 154 Zuschläge), welche die Schweiz vermutlich ebenfalls übernehmen wird, lassen im Umgang mit unterschiedlichsten Zuschlägen ebenfalls einen großen Spielraum. Die Verwendung unüblicher Betonzuschläge soll auch hier im Rahmen von Voruntersuchungen aufzeigen, ob die geforderten Qualitatskriterien erzielt werden können.

Im Sinne des Performance-Prinzips sollen die Eigenschaften bzw. die Qualität des Endproduktes (Kiessand oder Beton) definiert werden und nicht die detaillierte Zusammensetzung und die einzelnen Komponenten. Damit wird dem einzelnen Anbieter mehr Spielraum gewährt, eine seinem Ausgangsmaterial optimal entsprechende Aufbereitung zu suchen, um so die geforderte Qualität des Betons zu erreichen.

Ein wesentlicher Aspekt dabei ist die differenzierte Qualitätsanforderung an Betonzuschlagsmaterial. Das heißt, das Anforderungslimit an Zuschlagsstoffe soll nach den Anforderungen an das Zielprodukt differenziert werden können. Dies ist ein Anliegen, das die Eidgenössische Materialprüfanstalt in Dobendorf seit Jahren vertritt, das aber noch nicht entsprechend in die Normen Eingang gefunden hat. Umfangreiche Versuche und Studien über die Wiederverwendbarkeit von Tunnelausbruchmaterial zur Herstellung von Beton und Spritzbeton werden im Rahmen des AlpTransit-Projektes z.Z. durchgeführt. Erste, recht optimistische Ergebnisse wurden kürzlich publiziert [2,4]. Dabei wird ersichtlich, daß auch vom planenden Ingenieur gefordert wird, eine entsprechende Differenzierung der Qualitätsanforderungen an die Baustoffe in seine Planung aufzunehmen, die der Wiederverwendbarkeit der Ausbruchmaterialien entgegenkommt.

Mineralien, die negative Einflüsse auf Frisch- und Festbetoneigenschaften ausüben

Bei Tunnelbauten im zentralen Alpenraum besteht ein großer Teil der zu durchfahrenden geologischen Schichten aus Kristallingesteinen, die einen hohen Anteil an Schichtsilikaten aufweisen können. Wichtige Schichtsilikate sind Glimmer, deren häufigste Vertreter Biotit (Dunkelglimmer) und Muskowit (Hellglimmer) sind. Bild 1 zeigt eine miskroskopische Gefügeaufnahme eines Betons 030 mit Zuschlagstoffen aus einem TBM - Vortrieb mit Zweiglimmergneis.

Weitere Schichtsilikate sind Talk, Serpentin, Chlorit und Tonmineralien. Glimmerführende Sande als Be-

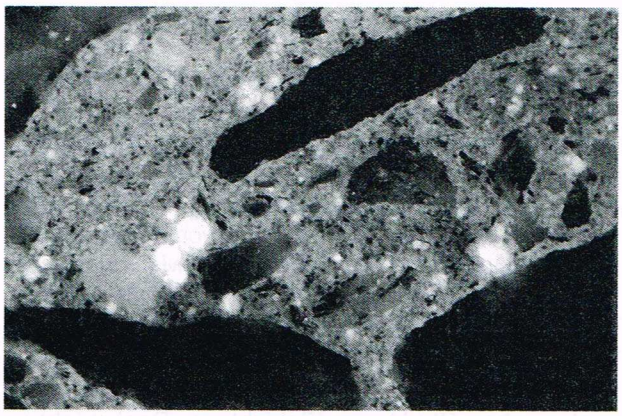

Bild 1. Mikroskopische Gefügeaufnahme eines Betons mit Lucamo-Gneis als Zuschlagstoff aus TBM-Vortrieb (Bildausschnitt 9 mm × 6,4 mm)

tonzuschläge haben im Nordtessin immer wieder zu Problemen geführt. Schichtsilikate sind oftmals < 1 mm im Durchmesser und werden durch den Aufbereitungsprozeß in den Feinstfraktionen stark angereichert. Bild 2 ist eine mikroskopische Gefügeanalyse eines Betons, dem Zuschlagstoffe aus einem TBM-Vortrieb beigefügt wurden. Man kann dabei den hohen Anteil an plattigen Glimmerkomponenten in der Sandfraktion erkennen.

Bild 2. Mikroskopische Gefügeaufnahme eines Betons mit Lucamo-Gneis aus TBM-Vortrieb. Glimmerplättchen in der Sandfraktion (Bildausschnitt 9 mm × 6,4 mm)

Nicht nur Glimmer haben einen negativen Einfluß auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften, sondern auch grobkörnige frische Feldspate, bedingt durch deren ausgeprägte Spaltbarkeit.

Die SIA-Norm 162/1 schreibt für Beton ab B 30/20 einen maximalen Glimmeranteil von 5 Massenprozent vor. Steigt der Glimmergehalt auf 5 bis 10 Massenprozent, ist die Wirkung auf die Eigenschaft des Festbetons zu prüfen. Für Beton B 20/10 und B 25/15 ist ein Glimmergehalt von 10 Massenprozenten zulässig. Beträgt der Anteil 10 bis 15 Massenprozent, ist auch hier die Wirkung auf die Eigenschaft des Festbetons zu prüfen.

Bei der Bestimmung des Schichtsilikatgehaltes muß unterschieden werden zwischen freien Schichtsilikaten in den Feinstfraktionen, den Schichtsilikaten an der Gesteinsoberfläche und den Schichtsilikaten in den Aggregaten selber. Letztere haben keinen merklich negativen Einfluß außer der durch die Gesteinsanisotropie hervorgerufenen Abnahme der Gesteinsdruckfestigkeit. Bild 3 ist eine mikroskopische Dünnschliffanalyse. Im linken Bild ist die parallele Einregelung der Glimmermineralien erkennbar, die die Gesteinsanisotropie bedingen. Das rechte Bild ist eine mit fluoreszierendem Licht gemachte Aufnahme, wobei helle Mikrorisse innerhalb der Glimmermineralien deutlich erkennbar werden.

Freie Schichtsilikate, die mit dem Mischwasser und Zement in Kontakt kommen, haben einen negativen Einfluß sowohl auf die Frischbeton- als auch auf die Festbetoneigenschaften. Mit steigendem Gehalt an Schichtsilikaten nimmt auch die benötigte Wassermenge für gleichbleibende Verarbeitbarkeit zu.

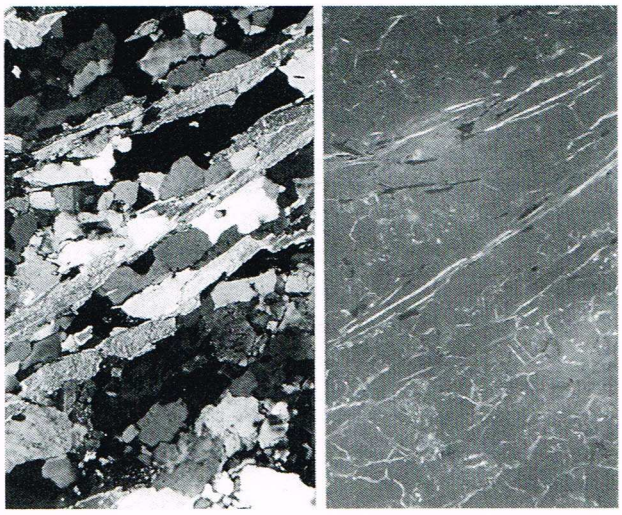

Bild 3. Entspannungsrisse im Mikrogefüge des Laventina-Gneises (Bildausschnitt 2,8 mm × 2,0 mm)

Haufwerk verschiedener Ausbruchmethoden im Vergleich

Die Aufbereitung von Ausbruchmaterial aus einem Sprengvortrieb entspricht grundsätzlich der normalen Splitt- und Brechsandproduktion, wie sie aus dem Steinbruch bekannt ist. Mit Vorbrechen, gefolgt von einem zweiten Brechvorgang mit Waschen und Auftrennen nach Fraktionen, lassen sich qualitativ gute Produkte mit einfacher Kontrollmöglichkeit herstellen. Der bekannte Mangel an Feinanteil und die generellen Probleme des Brechsandes (Sperrigkeit, Korngrössenverteilung) lassen sich heute mit Zyklonanlagen (Sandklassierungsanlagen) zum größten Teil beheben. Auch ein erhöhter Glimmeranteil im Brechsand läßt sich teilweise durch Glimmerseparation (Magnetabscheider, Flotation) reduzieren.

Der zweimalige Brechvorgang erlaubt einerseits bei entsprechender Brecherwahl beim 2. Brechvorgang eine Optimierung der Kornform, d.h. Erhöhung des Anteils an kubischen Komponenten resp. weniger plattigen oder stengeligen Körnern, andererseits kann der Anteil an unerwünschten, stark schiefrigen Gesteinen nach dem ersten Brechvorgang durch Abtrennen der kleineren Fraktionen reduziert werden. D.h., eine gewisse Veredelung des Ausgangsmaterials ist möglich, ein gewünschter Aspekt z.B. bei alpinen Sandsteinen und Kalken mit geringmächtigen Zwischenlagen von Tonschiefern.

Beim maschinellen Vortrieb mit Teilschnittmaschinen liegt heute die wirtschaftliche Einsatzgrenze bei Gesteinen mit Druckfestigkeiten zwischen 60 MPa bis 80 MPa. Dies sind jedoch Festigkeiten, wie sie für Zuschlagstoffe der Betonherstellung als ungenügend bis höchstens knapp genügend beurteilt werden. Im Bereich von Fundationen kann jedoch das Material als Kiessand 2 gut herangezogen werden. Beim Voll-

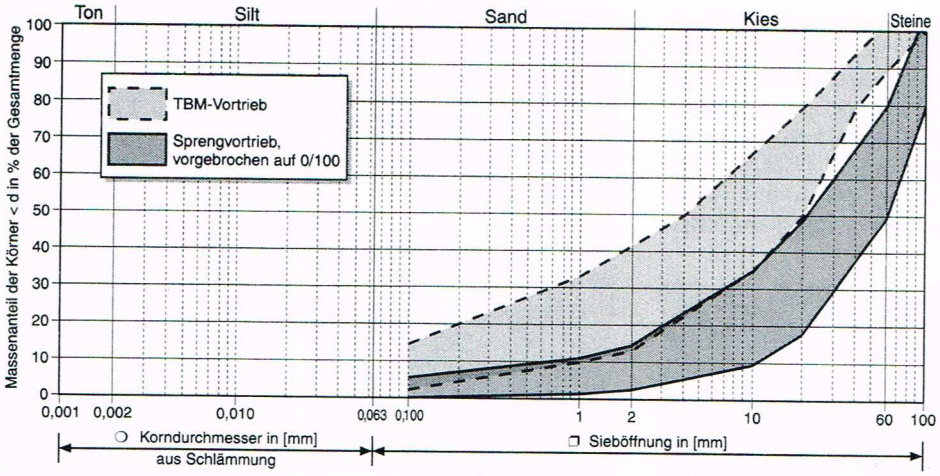

Bild 4. Korngrößen-Verteilungskurven beim Spreng- bzw. TBM-Vortrieb

schnittmaschinen-Vortrieb bestehen bezüglich Gesteinsfestigkeiten keine Einschränkungen wie bei der TSM. Im Ausbruchmaterial liegt ein entsprechend hoher Anteil an Feinmaterial vor, was als Vorteil gegenüber dem Sprengvortrieb zu sehen ist (Bild 4).

Als Nachteile sind jedoch die ungünstige Plattigkeit der größeren Komponenten zu sehen [2] und allfällige Rißbildungen. Das Bild 5 zeigt eine mikrospische Gefügeanalyse eines Betons 0/30 mit TBM-Ausbruchmaterial als Zuschlagstoff. Trotz der Mikrorisse im Chip (große Komponente im Bild) erreicht der Beton gute Festigkeitswerte. Bei einer systematischen Aufbereitung des Ausbruchmaterials mit einmaligem Brechvorgang, Waschen mit Auftrennen nach Fraktionen sind qualitativ gute Zuschlagstoffe erreichbar. Diese weisen bei zusätzlich schiefrigem Gefüge des Gesteins jedoch einen erhöhten Anteil an plattigen und stengeligen Komponenten auf. Im weiteren entsteht für die gröbere Fraktion16/30 mm ein qualitativer Mangel im Hinblick auf die Betonproduktion 0/30, nicht jedoch bei der Spritzbeton-Herstellung.

Neueste Entwicklungstendenzen bei Tunnelbohrmaschinen gehen jedoch in Richtung größerer Bohrwerkzeugabstände und damit gröberer TBM-Ausbruchmaterialien [4]. Bei einzelnen Komponenten besteht die Gefahr, daß sie Mikrorisse vom Bohrvorgang der TBM aufweisen. Diese reduzieren zwar die angenommene hohe Festigkeit des Ausgangsgesteins, dürften sich aber kaum negativ auf die Festigkeit eines Normalbetons B 25/30 auswirken (Bilder 6 und 7).

Bild 5. Beton mit TBM-Ausbruchsmaterial als Zuschlagstoff (Bildausschnitt 9 mm x 6,4 mm)

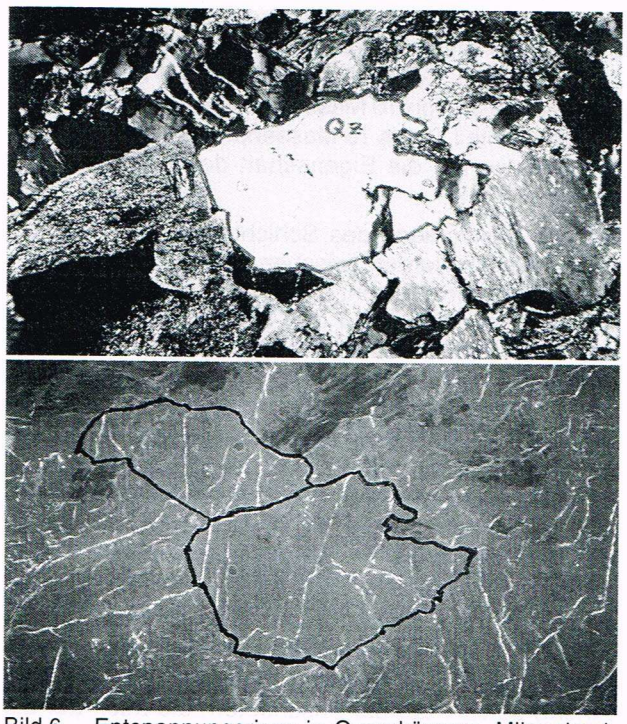

Bild 6. Entspannungsrisse in Quarzkörnern. Mikroskopische Dünnschliffanalyse. Bild oben: doppelt polarisiertes Licht. Quarzkorn Qz. Bild unten: Fluoreszierendes Licht (Bildausschnitte: 1,4 mm x 1,0 mm)

Zusammenfassung

Das Ausbruchmaterial, das bei untertägigen Baumaßnahmen anfällt, sollte möglichst weitgehend weiterverarbeitet, z. B. als Zuschlagstoff zu Beton verwendet werden, um die natürlichen Ressourcen an alluvialem Kies und Sand zu schonen. Hinsichtlich der mineralogischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteine sind aber diesem Bestreben bisher gewisse Grenzen gegeben.

Bild 7. Grobkörniges Ausbruchsmaterial aus TBM-Vortrieb

Angesichts der enorm großen Ausbruchmassen des Tunnelbaus, vor allem im Hinblick auf die geplanten Alpentransversalen, wird deshalb intensiv geforscht, um den Herstellern und Verwendern von Beton Empfehlungen geben zu können, damit das Ausbruchsmaterial aus dem Tunnelbau möglichst am Ort des Enstehens einer sinnvollen Nutzung zugeführt werden kann.

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigen auf, daß auch das Ausbruchverfahren, herkömmlicher Sprengvortrieb oder maschinelle Auffahrung, Einfluß auf die Brauch- und Wiederverwendbarkeit des anfallenden Haufwerks als Zuschlagstoff hat.

Dabei schneidet der Sprengvortrieb am günstigsten ab. Das beim Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen anfallende Material ist bedingt geeignet, während das beim Teilschnittmaschinenvortrieb anfallende Gestein weniger brauchbar ist.

Schrifttum

[1] Jackli, H., Schindler, C.: Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe. NF-Programm 4.294.0.79.07; Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 68, Kümmerly & Frey AG, Bern 1986.

[2] Thalmann, C.: Beurteilung und Möglichkeiten der Weiterverwendung von Tunnelausbruchmaterialien aus dem maschinellen Vortrieb. Dissertation, ETH Zürich (in Vorbereitung).

[3] Zbinden, P.: Die Materialbewirtschaftung beim Projekt AlpTransit Gotthard. SIA Nr. 47, 16. November 1995.

[4] Büchi, E. und Thalmann, C.: Wiederverwertung von TBM-Ausbruchmaterial - Einfluß des Schneidrollenabstandes. TBM Know-how zum Projekt NEAT. Atlas Copco - Robbins. Vortrag am Symposium Luzern, 16. März 1995.

[5] Kunz, U., Giudicetti, F., Jenk, K.: Fundationsschichten, Bauwerks- und Belagsbeton mit 100 % gebrochenem Gestein. SIA Nr. 46/83, 10. November 1983.