

# Tunnelhaufwerk: lästiges Entsorgungsmaterial oder potentieller Betonzuschlag?

## Tunnel Muck: Troublesome Disposal Material or potential Concrete Aggregate?

Dr. C. Thalmann-Suter

**Natürliche Sand- und Kiesvorkommen sind nicht unerschöpflich. Die Weiterverwertung von geeignetem Tunnelhaufwerk zu Betonzuschlag und anderen Splittprodukten hat neben umweltpolitischen auch wirtschaftliche Vorteile. Eine optimale Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem Untertagebau bedingt eine geeignete Abbauweise, eine praxisfreundliche und baustellentaugliche Eignungsprüfung des Rohstoffes, richtig gewählte Aufbereitungsprozesse und letztendlich einen idealen Umgang mit Splittbeton.**

**Natural sand and gravel deposits are not inexhaustible. The further processing of suitable tunnel muck for concrete aggregate and other chip products has economic advantages in addition to ecological political ones. An optimal recycling of material extracted from underground excavations calls for a suitable working method, a practical and site-oriented suitability test of the raw material, correctly selected preparation processes and finally ideal treatment of chip concrete.**

Sand und Kies stellen mengenmäßig den weltweit wichtigsten Rohstoff dar, der vorwiegend zu Bauzwecken abgebaut wird. Der Marktwert dieser mineralischen Rohstoffe liegt nach den Energieträgern Erdöl, Steinkohle und Erdgas an vierter Stelle. Der intensive Abbau führte in diversen Gebieten der Erde zu einer Mangelsituation. Oftmals sind es aber Umweltinteressen und -gesetze, die zu Abbaurestriktionen in Kiesgebieten führen. Ein nicht zu unterschätzendes Potential an Kiesersatzmaterialien stellt das Ausbruchmaterial von Untertagbauten dar. Neben dem Tunnelbau für Straße und Bahn wurden ungezählte Untertagbauten und Stollensysteme für elektrische Wasserkraftwerke, Gasleitungen, für Durchleitung von Telefon- und Hochspannungskabel, für Trink- respektive Schmutzwasserleitungen und militärische Bauten erstellt.

### 1 Bewirtschaftung von Tunnelausbruchmaterial

Tunnelausbruchmaterial wurde bis vor einigen Jahren – und teilweise immer noch – eher als überflüssiges Material

klassiert und wurde entsprechend wie Siedlungsabfall oder Bauschutt behandelt. Die Aufbereitung des Ausbruchs zu Kiesersatz galt infolge der vor einigen Jahren noch reichlich vorhandenen und billigeren alluvialen Kiesvorkommen als wirtschaftlich uninteressant. Auch mit dem vermehrten Aufkommen von Tunnelbohrmaschinen war die Aufbereitung des Fräsmaterials für höhere Ansprüche bis in die 80er Jahre noch kaum denkbar, da aufgrund der damals verwendeten Meißeltypen und -anordnungen die anfallenden Gesteinskörnungen wesentlich feinkörniger waren als die heutigen. Materialbewirtschaftungskonzepte der heutigen und zukünftigen Tunnelbauten sehen vermehrt eine möglichst breite Weiterverwertung der anfallenden Ausbruchmaterialien vor. Die Vorteile einer Weiterverwendung sind:

- ❑ Selbstversorgung der Tunnelprojekte mit eigenen Sand- und Splittprodukten
- ❑ weniger Transportfahrten einerseits für die Entsorgung des Aushubes, andererseits für die Zubringung von Alluvialkiesen
- ❑ Abgabe von überschüssigem Ausbruchmaterial an Dritte
- ❑ die Verwertung von Tunnelausbruchmaterial wird sich letztendlich auch positiv auf die Gesamtkosten auswirken.

Sand und Gravel represent, in terms of quantity, the most important material worldwide, which is largely extracted excavation for construction purposes. The market value of these mineral raw materials takes fourth position after the sources of energy, mineral oil, hard coal and natural gas. Intensive extraction led to a scarcity in certain parts of the world. However, frequently, many environmental interests and laws lead to restrictions on mining in zones with gravel.

The material excavated from underground projects represents a potential of gravel substitute materials, which should not be under-estimated. Apart from tunnel construction for road and rail, countless underground structures and tunnel systems for hydro-electric power stations, gas lines, for telephone and high-voltage cables, for drinking water and sewer lines as well as military facilities have been built.

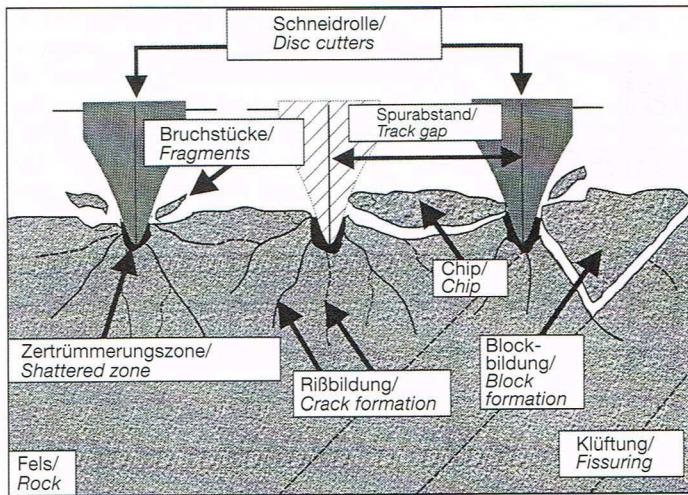
### 1 Controlling Tunnel Muck

Tunnel muck was up until a number of years ago – and in some cases, this still applies today – classified as a superfluous material and was dealt with in the same fashion as domestic garbage or construction debris. The preparation of muck as a gravel substitute was regarded as economically uninteresting on account of the alluvial gravel deposits, which were still readily available and cheaper some years ago. Even as an increasing number of tunnel boring machines (TBMs) were employed, the preparation of the cut material for more sophisticated purposes was hardly conceivable until into the 1980s, as on account of the types and patterns of bits used at the time, the rock granulations that were produced were considerably finer grained than is the case today. Material control concepts for current and future tunnel projects increasingly take as wide a further processing of the excavated materials as possible into consideration. The advantages of further processing are:

- ❑ self-provision of the tunnel projects with their own sand and chip products
- ❑ fewer transport trips for disposing of the muck on the one hand, on the other, for fetching alluvial gravel
- ❑ providing excess muck to third parties
- ❑ the use of tunnel muck also has a positive effect on the overall costs
- ❑ material control concepts for current underground projects foresee the prepa-

Dr. C. Thalmann-Suter,

# Betonzuschlag Concrete Aggregate



**1 Schematische Darstellung des Fräsvorganges mit den anfallenden TBM-Bohrgut-Typen**  
Schematic presentation of the cutting process with the types of TBM muck that resulted

Materialbewirtschaftungskonzepte aktueller Untertagebauten sehen vor, auch geeignetes Ausbruchmaterial aus dem TBM-Vortrieb zu Spritz- und/oder Betonaggregaten aufzubereiten:

□ so wird zur Zeit das im TBM-Vortrieb anfallende TBM (> 16 mm) der Hochgebirgsbaustelle Cleuson-Dixence vor Ort zu Betonaggregaten der Fraktionen 4 bis 26 mm veredelt. Der Natursand (0 bis 4 mm) wird, wegen des zu hohen Glimmergehaltes im Ausbruchsand, aus dem Tal bezogen

□ der Nordabschnitt des Vereina-Tunnels wird im Gegensatz zum Süden maschinell aufgefahren. Für diese Baustelle wird das geeignete Felsmaterial zu Ortbetonzuschlägen 0 bis 32 mm und zu Spritzbetonzuschlägen 0 bis 8 mm aufbereitet

□ mit dem Bau der Neuen Eisenbahn Alpen Transversalen NEAT gilt es, rund 42 Mio. Tonnen Ausbruch- und Aushubmaterialien zu bewirtschaften (diese Menge entspricht etwa einem Jahresbedarf an Kiesprodukten für die Schweiz). Davon entfallen rund 24 Mio. auf Seite Gotthard zwischen Erstfeld und Biasca. Beim Lötschberg-Tunnel fallen rund 18 Mio. Tonnen Ausbruch an. Das NEAT-Projekt sieht vor, die Versorgung der Baulöse mit Schüttgütern und Betonzuschlagstoffen, soweit möglich, durch die Aufbereitung von eigenem Ausbruchmaterial sicherzustellen. Rund 30 % des anfallenden Ausbruchmaterials des Gotthard-Basistunnels (insgesamt rund 24 Mio. t) könnten für eigene Zwecke eingesetzt werden. Davon sollen 5 Mio. t als Betonzuschlagstoffe wiederverwendet werden. Weitere 30 % sollen als Baurohstoffe an Dritte abgegeben werden. Minderwertiges Ausbruchmaterial dient der Rekultivierung von bestehenden Kiesgruben und Steinbrüchen. Die Materialien werden in folgende drei Hauptklassen eingeteilt: Betonzuschlagstoff oder Kiessand-Ersatz; Massenschüttgut; bau-technisch ungeeignetes Material. Auf der Lötschbergseite ist geplant, rund 15 % des anfallenden Materials als Betonzuschläge einzusetzen.

lien werden in folgende drei Hauptklassen eingeteilt: Betonzuschlagstoff oder Kiessand-Ersatz; Massenschüttgut; bau-technisch ungeeignetes Material. Auf der Lötschbergseite ist geplant, rund 15 % des anfallenden Materials als Betonzuschläge einzusetzen.

## 2 Einfluß der Abbaumethode und Geologie auf das Ausbruchmaterial

Die heutigen stark weiterentwickelten Vortriebsmethoden sind, neben dem konventionellen Sprengvortrieb, der maschinelle Vortrieb mit Tunnelbohr-(TBM) und Teilschnittmaschinen (TSM). Im Vergleich zum Haufwerk des konventionellen Sprengvortriebes ist dasjenige des maschinellen Vortriebes feinkörnig und fällt durch seine typische plattig-stengelige Kornform auf.

TBM-Fräsmaterialien lassen sich in vier charakteristische Gruppen unterteilen (Bild 1):

Gesteinsmehl: Zertrümmerungszone im Kontaktbereich Fels-Diske

Gesteinssplitter, -bruchstücke: Lösen und Abplatzan kleinerer Gesteinskomponenten

Chip (Span): Lösen zwischen zwei Schneidrollenspuren

Blöcke: Lösen von größeren Bruchstücken infolge Trennflächen im Fels. Um eine genügende Menge an Betonzuschlägen der Fraktion > 16 mm aufbereiten zu können (Brechen, Waschen, Klassieren), wird ein möglichst hoher Anteil an Grobkomponenten im TBM-Fräsmaterial angestrebt. Der Grobanteil wiederum ist maßgeblich von den in Bild 2 aufgeführten maschinenspezifischen und geologischen Parametern abhängig:

□ Der Schneidrollenabstand übt den wichtigsten Einfluß seitens der TBM auf

ration of suitable muck from the TBM drive into shotcrete and/or concrete aggregates:

□ for example, at present the spoil (> 16 mm) produced during the TBM drive at the Cleuson-Dixence mountain site is prepared on the spot into concrete aggregates with 4 to 26 mm fractions. The natural sand (0 to 4 mm) is obtained from the valley on account of the excessively high glimmer content of the extracted sand

□ the northern section of the Vereina Tunnel is being driven by mechanical means in contrast to the southern one. At this site, suitable rock material is prepared as in situ concrete aggregates with 32 mm grain size and as shotcrete aggregates ranging from 0 to 8 mm

□ with the construction of the New Rail Alpine Transit Routes (NRATR), around 42 million t of excavated materials have to be controlled (this quantity roughly corresponds to the annual requirement of gravel products for Switzerland). Of this total, around 24 million t are accounted for by the Gotthard between Erstfeld and Biasca. Some 18 million t of muck are produced by the Lötschberg Tunnel. The NRATR project foresees the provision of construction lots with bulk materials and concrete aggregates, as far as possible, through preparing the muck obtained on the spot. Around 30 % of the muck obtained from the Gotthard Base Tunnel (altogether some 24 million t) could be used accordingly. 5 million t of this total were allocated for re-use as concrete aggregates. A further 30 % was earmarked as construction materials for third parties. Poor quality muck serves to recultivate existing gravel pits and rock quarries. The materials are divided into the following 3 main classes: concrete aggregate or gravel sand substitute, bulk material, technically unsuitable material. Around 15 % of the material produced during the Lötschberg project, is scheduled to be used as concrete aggregates.

## 2 Influence of the Excavation Method and Geology on the Muck

The current pronouncedly further developed heading methods are, apart from conventional drill + blast, mechanical driving using tunnel boring machines (TBMs) and roadheaders. Compared with the muck produced by conventional drill+blast, that resulting from mechanical heading is fine grained and is distinguished by its typical platy-spiky grain form.

# Betonzuschlag

## Concrete Aggregate

die Korngrößenverteilung des Fräsmaterials aus. Ein erhöhter Spurabstand steigert die Komponentengröße und die Menge an gedrungenen (größeren) Bruchstücken im Ausbruchmaterial. Es ist sogleich die einzige maschinenspezifische Änderung, die ohne größeren Aufwand vorgenommen werden kann. Fräsversuche in einem Granodiorit haben gezeigt, daß Schneidrollenabstände im Brustbereich von 130 mm nicht unrealistisch erscheinen und dabei die Vortriebsleistung nicht negativ beeinflußt wird (Büchi & Thalmann, 1995). Der Anteil an Komponenten > 32 mm wird dadurch beinahe verdoppelt.

□ diverse Fräsversuche haben ergeben, daß ein erhöhter Anpreßdruck nicht sicher zu größeren Chips führt (overbreak).

□ einen kleineren und kaum erkennbaren Effekt auf die Bohrgutgröße hat auch der Schneidring-Abnutzungsgrad, da dieser, gesamthaft betrachtet, nicht stark variiert

□ neben diesen maschinenspezifischen Parametern beeinflussen vor allem geologische und petrographische Verhältnisse die Größe des anfallenden Ausbruchmaterials. Mit zunehmender Dichte an Trennflächen im Gebirge und/oder erhöhtem Gebirgsdruck steigt auch der Anteil an groben Komponenten.

Zusammenfassend sind in Tabelle 1 die anfallenden Materialmengen des TBM-Vortriebs im Vergleich zu anderen Vortriebsarten aufgeführt. Aus der Zusammenstellung wird ersichtlich, daß beim konventionellen Sprengvortrieb der größte Anteil an groben Komponenten anfällt (Büchi & Thalmann, 1996).

### 3 Prüfverfahren zur Qualitätsbestimmung des Ausbruchmaterials

#### 3.1 Ausgangslage

Geologische Prognosen für den Tunnelbau stützen sich nicht selten auf einzelne Bohrungen, aus denen die oftmals komplexe Geologie, mitsamt den Felssparametern, abgeleitet werden muß. Geologische Prognosen sind dadurch mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor behaftet (Schindler, 1991). Häufige Qualitätsänderungen des Ausbruchmaterials infolge eines Lithologie-Wechsels, durch das Auffahren von Störungszonen oder durch rasche Alternation zwischen hochwertigen, respektive minderwertigen Materialien sind nicht unüblich. Da die Tunnelachse nur in seltenen Fällen senkrecht zu den geologischen Schichten verläuft, kann es

**2 Einfluß der maßgebenden maschinenspezifischen und geologischen Parameter, die zu einer erhöhten Menge an größeren TBM-Ausbruchmaterialien führen**  
**Influence of the governing machine-related and geological parameters, which lead to an increased amount of larger muck cut by a TBM**

Maschinenspezifische Parameter Machine-related Parameters	Einfluß/Influence klein /small      hoch/large
großer Schneidrollenabstand <i>large cutter roller spacing</i>	
ausgewogener Anpreßdruck <i>balanced contact pressure</i>	
kleiner Abnutzungsgrad der Schneidrollen <i>small degree of wear of the cutter rollers</i>	
Geologische Parameter Geological Parameter	
Trennflächen im Fels (Klüftung, Bankung usw.) <i>Separation planes in the rock (fissuring, bedding etc.)</i>	
hoher Gebirgsdruck <i>high rock pressure</i>	
vorhandene Textur (Schieferungsgrad, Anisotropie) <i>existing texture (degree of cleavage, anisotropy)</i>	
Winkel zwischen Textur zur Tunnelachse <i>Angle between texture and tunnel axis</i>	

Materials cut by a TBM can be split up into 4 characteristic groups (Fig. 1):

- rock dust, destruction zone in the contact area between rock and disc
  - rock splinters, fragments: parting and spalling of smaller rock components
  - chip: parting between 2 cutting roller tracks
  - blocks: parting of larger fragments owing to separation planes in the rock.
- In order to be able to prepare a sufficient amount of concrete aggregates with the fraction > 16 mm (crushing, washing, classifying), an effort is made to obtain as high a share of coarse components in the material cut by the TBM. The coarse share for its part largely depends on the mechanically-related and geological parameters contained in Fig. 2:
- as far as the TBM is concerned, the spacing between cutter rollers exercises the most important influence on the grain size distribution of the cut material. An increased gap between tracks enhances the component size and the quantity of coarser fragments in the muck. At the same time, it is the sole mechanically-related change that can easily be undertaken. Cutting tests in granodiorite revealed that cutter roller spacing in the face area of 130 mm does not appear to be unrealistic and the tunnelling performance here is not negatively influenced (Büchi & Thalmann, 1995). The share of components > 32 mm is almost doubled as a result

- diverse cutting tests have shown that increased contact pressure does not inevitably lead to coarser chips (overbreak)
- the extent of wear of the cutting ring has also a smaller and scarcely recognisable effect on the size of the cut material, although by and large, it does not vary greatly

□ apart from these mechanically-related parameters, geological and petrographical conditions above all influence the size of the muck that is present. The share of the coarse components also increases given increasing incidence of separation planes in the rock and/or greater rock pressure

The material quantities resulting from a TBM drive are shown in Table 3 compared with other types of tunnelling. It can be seen that conventional drill + blast results in the largest share of coarse components (Büchi & Thalmann, 1996).

### 3 Test Methods to ascertain the Quality of the Muck

#### 3.1 Starting Position

Geological forecasts for tunnelling are not infrequently based on single bores, from which the often complex geology including the rock parameters have to be derived. As a result, geological forecasts bear a certain factor of uncertainty (Schindler, 1991). Frequent quality changes of the muck as a result of a lithological alteration, passing through fault zones or as a result of rapid alternation between high-grade and low-grade materials are not unusual. As the tunnel axis only very seldom runs perpendicularly to the geological layers, it can happen that unsuitable spoil is mixed with high-quality material within the same tunnel cross-section.

Quite often the in situ rock strength differs from the rock strength of the spoil that is produced. Above all, in rock zones with high load states (overburden and/or lateral pressure), the rock strength, which has been weakened through pressure relief, can be somewhat less than the rock

# Betonzuschlag

## Concrete Aggregate

Zeitpunkt der Dateninformation bezogen auf den Materialfall <i>Point-in-time of the Data Information related to the Incidence of Material</i>	Möglichkeiten der Qualitätsbestimmung <i>Possibilities for Determining the Quality</i>	Zuverlässigkeit der Aussage <i>Reliability of the Finding</i>	
		klein small	hoch large
vorher <i>before</i>	Prognosen, Erfahrungswerte Geophysikalische Vorabklärungen Bohrung (Geophysik, Kerne) <i>Forecasts, experimental values Geophysical pre-clarifications Boring (geophysics, cores)</i>		
während <i>during</i>	Felsklassierung Geophysikalische Vorabklärungen TBM- und Bohr-Parameter Kerne, Vorausbohrung Schmidt'scher Rückprallhammer <i>Rock classification Geophysical pre-clarifications TBM and bore parameters Cores, advance-boring Schmidt's rebound hammer</i>		
nachher <i>after</i>	Sondierstollen (geologische Aufzeichnung u. Materialuntersuchung) Untersuchung des Ausbruchmaterials <i>Pilot tunnel (geological recording) and material examination</i>		
	Examination of the muck		

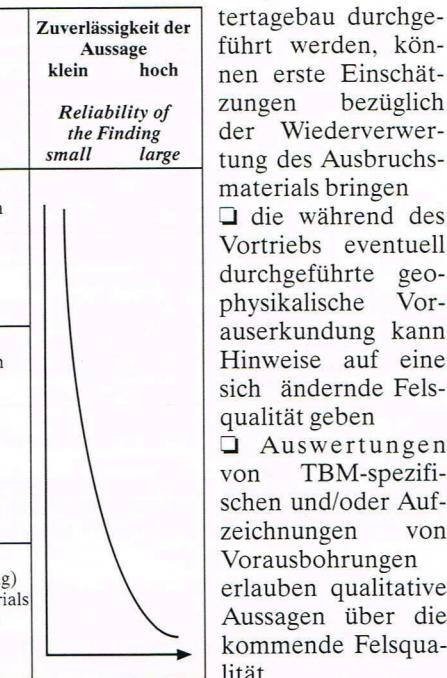
3 Mögliche Informationsquellen, die bezüglich der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial von Nutzen sein können  
Possible information sources which can be of use for the re-utilisation of muck

vorkommen, daß innerhalb desselben Tunnelquerschnittes ungeeignetes mit hochwertigem Bohrgut vermischt wird. Nicht selten unterscheidet sich die In-situ-Felsfestigkeit von der Gesteinsfestigkeit des anfallenden Ausbruchmaterials. Vor allem in Gebirgskörpern mit hohen Spannungszuständen (Überlagerungs- und/oder Seitendruck) kann die durch Druckentlastung geschwächte Gesteinsfestigkeit um einiges tiefer liegen als die angetroffene Felsfestigkeit. Gebirgsentlastung äußert sich durch Mikrorißbildungen, Abplatzungen und/oder Niederbrüchen. An Bohrkernen macht sich eine Druckentlastung am sogenannten „Disk-Chipping“ bemerkbar. Aufgrund dieser Unterschiede drängt es sich auf, die maßgebenden Gesteinskennwerte zur Beurteilung des Gesteinsmaterials erst am anfallenden Bohrgut zu ermitteln.

### 3.2 Erste Informationsquellen bezüglich der abzubauenden Felsqualität

Um dennoch einen möglichst guten Einblick in die zu erwartenden Gesteinstypen zu erhalten, gilt es im Rahmen eines Untertagebaus die diversen Informationsquellen zu nutzen, die Angaben über Felskennwerte liefern können (Bild 3):

❑ vorhandene geophysikalische und geologisch-geotechnische Messungen, die im Rahmen einer Vorabklärung im Un-



tertagebau durchgeführt werden, können erste Einschätzungen bezüglich der Wiederverwertung des Ausbruchsmaterials bringen

- ❑ die während des Vortriebs eventuell durchgeführte geophysikalische Vorauskundung kann Hinweise auf eine sich ändernde Felsqualität geben
- ❑ Auswertungen von TBM-spezifischen und/oder Aufzeichnungen von Vorausbohrungen erlauben qualitative Aussagen über die kommende Felsqualität
- ❑ interessante Angaben über die Felshärte können bei korrekter Anwendung und Auswertung mit dem Schmidtschen Rückprallhammer gewonnen werden. Diese Methode genügte den Ansprüchen als einfaches Testverfahren, die In-situ-Gesteinsfestigkeit rasch, kostengünstig und mit ausreichender Genauigkeit zu definieren.

Die Summe aller dieser Informationen bietet ein recht gutes Bild über die Qualität des anfallenden Ausbruchmaterials.

### 3.3 Qualitative Beurteilung des Ausbruchmaterials mittels einfacher Prüfverfahren

Eine abschließende Beurteilung des Ausbruchmaterials bezüglich der Weiterverwertung zu Betonzuschlagstoffen kann erst am anfallenden Haufwerk gefällt werden. Diese Materialuntersuchungen verfolgen zwei Hauptziele:

- ❑ das Prüfverfahren dient zur Beurteilung des Ausbruchmaterials und erlaubt eine Entscheidung, ob eine Verarbeitung zu Beton- und/oder Spritzbetonzuschlagstoffen (oder für andere Zwecke) geeignet ist
- ❑ Instrument zur Qualitätssicherung. Bauherr, Bauleitung und Unternehmungen (eventuell auch separates Aufbereitungs-Los) kennen dadurch die genau definierten Rohmaterialien, die zu Betonzuschlägen weiterverarbeitet werden. Damit ein solches Untersuchungsprogramm in der Praxis übernommen wer-

strength that is encountered. Rock relief expresses itself through micro-crack formation, spalling and/or caving. Pressure relief is visible on bore cores through what is known as "disc chipping".

On account of these differences, it becomes evident that the relevant rock parameters for assessing the rock material should first be determined from the resulting cut material.

### 3.2 First Information Sources relating to the Rock Quality to be tunnelled

However, in order to obtain as good an insight as possible into the rock types that are anticipated, various information sources should be used within the framework of an underground project, which can supply data relating to rock parameters (Fig. 3):

- ❑ existing geophysical and geological/geotechnical measurements, which are carried out in tunnelling in the form of advance investigations, can provide initial appraisals relating to the further use of the muck

- ❑ the geophysical advance investigation possibly carried out during the drive can provide pointers to a changing rock quality
- ❑ evaluations of TBM-specific and/or recordings of advance bores permit qualitative statements on the coming rock quality

- ❑ interesting data relating to the rock hardness can be obtained via Schmidt's rebound hammer test providing it is used and assessed correctly. This method suffices as a simple test method in order to define the in situ rock strength quickly, cheaply and with adequate accuracy.

The sum of all these data provides a fairly good picture of the quality of the muck that is present.

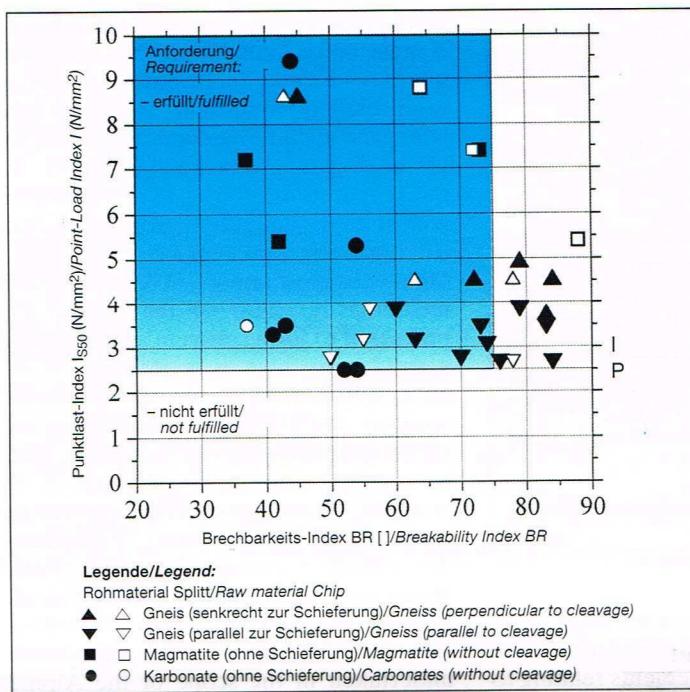
### 3.3 Qualitative Assessment of the Muck using simple Test Methods

A final assessment of the muck relating to its further processing as concrete aggregates can first be obtained from the spoil that is produced. These material investigations pursue 2 main purposes:

- ❑ the test method serves to assess the muck and makes it possible to decide, whether it is suitable for processing as concrete and/or shotcrete aggregates (or for other purposes)

- ❑ as an instrument for quality control. Client, site management and contractors (possibly also a separate preparation lot) are aware as a result of the exactly defined raw materials, which are to be further processed as concrete aggregates

# Betonzuschlag Concrete Aggregate



**6 Bestimmung der Gesteinhärte an diversen Ausbruchmaterialien und deren Splittprodukte mittels Punktlast- und Brechbarkeits-Index.** Materialien im blauen Bereich erfüllen die Anforderungen für einen Beton der Festigkeitsklasse B40/30 (Punktlast-Anforderung für Gesteine: P = parallel zur Schieferung; I = ohne Schieferung, isotrop) Determining the rock hardness for diverse excavated materials and their chip products using the Point Load Index and the Breakability Index. Materials in the blue zone fulfil the requirements for a concrete in strength class B 40/30 (point load requirement for rocks: P = parallel to cleavage; I = without cleavage)

den kann, müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

die Untersuchungen dürfen den Vortrieb in keiner Weise stören oder verlangsamen

das Prüfverfahren muß sowohl eine Beurteilung aller Haufwerk-Typen (Spreng-, TBM-, TSM-Vortrieb, Gesteinsmaterial aus Bohrungen) als auch der daraus aufbereiteten Splittprodukte erlauben

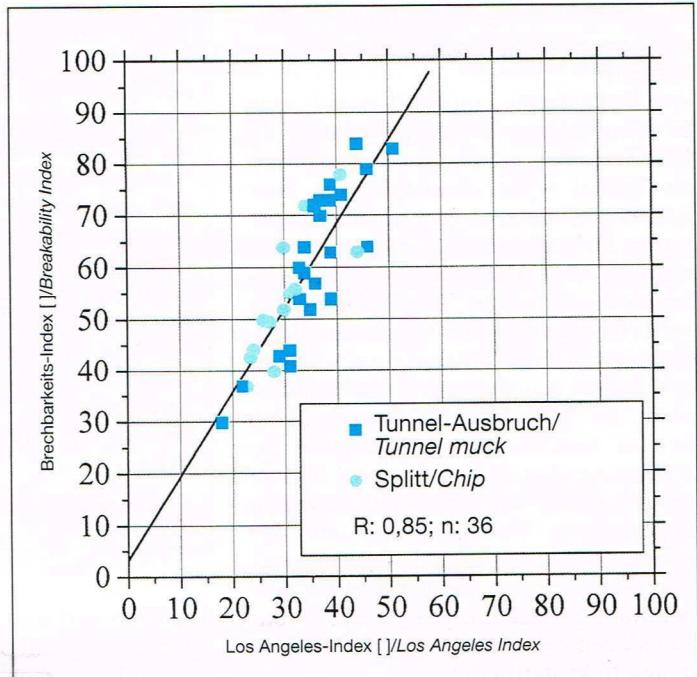
die zu verwendenden Test-Apparaturen müssen in der Fachwelt gebräuchlich und anerkannt sein

hohe Aussagekraft und Reproduzierbarkeit der Tests

diese Materialuntersuchungen müssen rasch durchführbar (erste Ergebnisse innerhalb ein bis zwei Stunden) und wirtschaftlich vertretbar sein. Dies erfordert ein kleines Feldlabor unmittelbar beim Tunnelportal.

Das vorgeschlagene Prüfprozedere selbst ist modular aufgebaut und besteht aus verschiedenen Tests mit unterschiedlichen Aussagen über die Gesteinsparameter. Je nach Bedarf oder visueller Änderung der Gesteinsqualität können nur einzelne oder mehrere Untersuchungen durchgeführt werden. Die Prüfkriterien für das anfallende Ausbruchmaterial basieren im wesentlichen auf:

der Gesteinhärte im generellen Sinn



**5 Vergleich Los-Angeles – mit dem Brechbarkeits-Index**  
Comparison of the Los Angeles Index with the Breakability Index

So that such an investigation programme can be taken over in practice, the following criteria must be fulfilled:

the investigations must not disturb or hold up tunnelling in any way  
 the test method must both allow an assessment of all types of spoil (drill + blast, TBM drive, roadheader drive, rock material from bores) as well as the chip products derived from them

The equipment used for the test must be in common use and be recognised by other experts  
 high relevant value and reproducibility of the tests  
 it must be possible to carry out these material examinations rapidly (initial results within 1 to 2 hours) and they must be economically acceptable. This calls for a small field laboratory at the tunnel portal.

**Tabelle 1: Materialanfall in Massenprozenten für verschiedene Vortriebsarten (min.-respektive max.-Werte).**  
Table 1: Muck produced in Mass Percentages for various Tunnelling Methods (min./max. Values)

Art des Tunnelvortriebs Type of tunnelling method	Schneidrollenabstand Cutting disc spacing [mm]	0–4 [mm]	> 32 [mm]	> 100 [mm]
Konventioneller Sprengvortrieb (Kristalline Gesteine) Conventional drill + blast (Crystalline rock)	–	2–5	85–95	75–85
Hinterschneidtechnik (Sandstein) Back cutting technique (sandstone)	–	15–20	65–75	45–60
TSM-Vortrieb (Jura-Kalke) Roadheader drive (Jura limestones)	–	15–40	5–35	0–5
TBM mit Warzenmeißel TBM with insert bits	60–70	30–50	2–20	0
TBM-Vortrieb mit Diskenmeißel (Sedimente, kristalline Gesteine) TBM drive with disc bits (sediments, crystalline rocks)	65–85	15–50	5–50	0–10
TBM-Vortrieb mit vergrößerten Schneidrollenabständen (Plutonit) TBM drive with enlarged cutting roller spacing (plutonite)	86 129 172	45 40 20	20 30 35	0 5 15

## Betonzuschlag Concrete Aggregate

□ und der Petrographie (insbesondere auf dem Anteil an ungünstigen Komponenten).

Aus Zeitgründen empfiehlt es sich, eine Erstbeurteilung (Wiederverwertung als Betonzuschlag: ja/nein) des Felsmaterials im Tunnel selbst durchzuführen. Hier wird entschieden, ob das Ausbruchmaterial in die Aufbereitungsanlage zur Herstellung von Betonzuschlagsstoffen gelangt oder für andere Zwecke verwendet wird. Unabhängig von dieser Erstbeurteilung wird Probenmaterial entnommen und gemäß dem Schema in Bild 4 untersucht. Im Falle einer Fehlentscheidung bei der Erstbeurteilung muß damit gerechnet werden, daß eine gewisse Menge (ein Abschlag, ein Schutterzug usw.) an ungeeigneten Rohmaterialien auf das Zwischenlager für die Aggregatproduktion gelangt. Diese werden aber im Aufbereitungsprozeß mit geeigneten Betonzuschlägen vermischt, so daß ein Verdunngseffekt stattfindet.

Eines der wichtigsten Kriterien, das Ausbruchmaterial erfüllen muß, damit es zu Betonzuschlägen veredelt werden kann, ist eine genügend hohe Gesteinsfestigkeit. Betonnormen machen keine Angaben über minimale Druckfestigkeitsanforderungen der Splittprodukte. In der Praxis wird oft eine minimale Druckfestigkeit von mindestens 100 N/mm<sup>2</sup> für Betonaggregate vorgeschriften (Dubuisson, 1959; Bundesverband Naturstein-Industrie, 1993). Gestützt auf zahlreiche Materialuntersuchungen und auf über 150 Labor- und Baustellen-Betonversuche, die im Rahmen der AlpTransit-Voruntersuchungen durchgeführt wurden (Kruse & Weber, 1995), kann als Richtgröße für einen Beton der Festigkeitsklasse B40/30 eine minimale Gesteinsfestigkeit von 75 N/mm<sup>2</sup> empfohlen werden.

Der von der CEN-Norm eingeführte Los-Angeles-Index (CEN/TG/07/A5, 1992) beurteilt die Festigkeit der Zuschläge indirekt aufgrund ihres Abriebverhaltens gegenüber Schlag und Zertrümmerung. Das Abriebverhalten ist unter anderem auch von der Gesteinsfestigkeit abhängig. Es kann aber durchaus vorkommen, daß Zuschläge mit einem genügenden Los-Angeles-Wert eine zu geringe Druckfestigkeit aufweisen und umgekehrt. Das Los-Angeles-Verfahren gemäß CEN für Betonzuschläge wird sich kaum als einfache und rasch durchzuführende Laborprüfung durchsetzen können, da der zeitliche Aufwand und die benötigten Probenmengen zu hoch sind. Ein ähnliches, aber vereinfachtes Testverfahren mit guter Aussagekraft, welches

### LCPC-Brechbarkeits-Index

Essai d'abrasivité et de broyabilité entwickelt vom Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) in Paris (AFNOR P18-579). Der Versuch wird an 500 g der Probenfraktion 4/6.3 mm durchgeführt. Das zu prüfende Material wird in einen zylindrischen Behälter eingefüllt, worin ein Metallplättchen (5 x 25 x 50 mm; Härte: Rockwell B 60–75 HRB) während 5 Minuten mit einer Drehzahl von 4500 U/min dreht. Die Apparatur weist eine Grösse von L 45 x B 22,5 x H 47,5 cm auf. Der Abrasimeter wiegt rund 60 kg.

Beschreibung des Testverfahrens siehe auch Büchi et al., 1995 in Tunnel 5/95.

The proposed test procedure itself is set up modularly and comprises a number of tests with different statements relating to the rock parameters. Depending on requirement or visual change of the rock quality, only individual or several examinations can be carried out. The test criteria for the muck that is present largely depends on:

□ the rock hardness in a general sense  
□ and the petrography (particularly on the share of unfavourable components)  
Owing to the time factor, it is advisable to obtain an initial opinion (processing as concrete aggregate: yes/no) of the rock material in the tunnel itself. It is decided here whether the spoil is taken to the preparation plant for producing concrete aggregates or is used for other purposes. Apart from this initial assessment, sample material is obtained and examined in accordance with the method shown in Fig. 4. Should the wrong appraisal have

### LCPC Breakability Index

Essai d'abrasivité et de broyabilité developed by the Laboratoire Central des Ponts et Chausées (LCPC) in Paris (AFNOR P18-579). The test is carried out on 500 g of the sample fraction 4/6.3 mm. The material that is to be tested is filled in a cylindrical container, in which a metal plate (5 x 25 x 50 mm; hardness: Rockwell B 60 - 75HRB) rotates for 5 min at 4,500 rpm. The apparatus is 45 x 22.5 x 47.5 in size (L x W + H). The Abrasimeter weighs some 60 kg.

For description of the test method, please also see Büchi et al., 1995 in Tunnel 5/95.

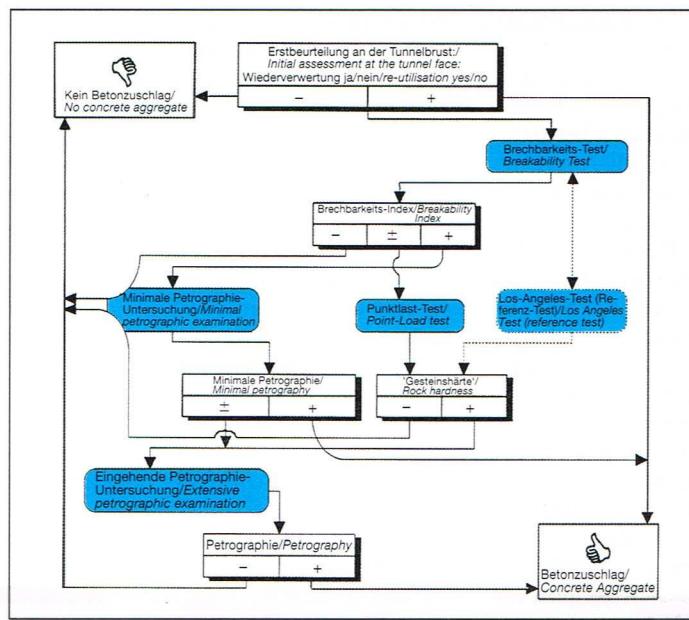
been made during the initial assessment, it must be reckoned with that a certain quantity (a round of advance, a mucking train, etc.) of unsuitable raw materials will reach the intermediate storage depot for aggregate production. However, in the preparation process, they are mixed with suitable concrete aggregates so that a dilution effect takes place.

One of the most important criteria, which muck has to fulfil so that it can be processed to form concrete aggregates, is a sufficiently high rock strength. Concrete norms provide no details about minimal compressive strength requirements for the chip products. In actual fact, a minimum compressive strength of at least 100 N/mm<sup>2</sup> for concrete aggregates is proposed (Dubuisson, 1959; Bundesverband Naturstein-Industrie, 1993). Based on a large number of material examinations and on more than 150 laboratory and site concrete tests, which were undertaken in the scope of the Alpine Transit advance investigations (Kruse & Weber, 1995), a minimum rock strength of 75 N/mm<sup>2</sup> can be recommended as the standard parameter for a concrete of strength class B 40/30.

The Los Angeles Index (CEN/TG/07/A5, 1992) introduced by the CEN norm assesses the strength of the aggregates indirectly on the basis of their wear behaviour vis-a-vis impact and fracturing. The wear behaviour also depends on the rock strength. However, it can be the case that aggregates with an adequate Los Angeles value possess an insufficient compressive strength and vice versa. The Los Angeles method in accordance with CEN for concrete aggregates will scarcely be able to establish itself as a simple and rapid laboratory method, as the amount of time needed and the quantities of samples required are too high. A similar but more straightforward test method which produces good results, providing initial results within 1 1/2 h, is the so-called LCPC Breakability Index. In the case of this method, the rock sample is subjected to a wear process as a result of the grinding effect of a rotating small metal plate, which can be compared with the Los Angeles method. Fig. 5 shows the linear connection between these 2 methods.

The breakability test is proposed as a daily test method within the scope of quality control. The Los Angeles Index serves as a reference method and can be applied as a calibrating method in accordance with Fig. 5. During the same test series, an Abrasivity Index ABR can be determined along side the so-called Breakability Index BR.

## Betonzuschlag Concrete Aggregate



**4 Prüfschema zur Beurteilung des Tunnelausbruchmaterials für die Wiederverwendung zu Betonzuschlagstoffen. Blaue Kasten = Laboruntersuchungen; Kasten mit schwarzer Umrissung = Beurteilung der Laboruntersuchungen; Anforderungen: – nicht erfüllt, ± Grenzbereich, + erfüllt**  
Test chart for assessing the tunnel muck for re-utilisation as concrete aggregates. Blue box: lab tests; black-framed box = appraisal of the lab tests; requirements: – non fulfilled, ± border zone, + fulfilled

innerhalb 1 1/2 Stunden erste Ergebnisse liefert, ist der sogenannte LCPC-Brechbarkeits-Index. Bei diesem Verfahren wird die Gesteinsprobe infolge des Mahleffekts eines drehenden Metallplättchens einem Abriebprozeß unterworfen, der sich mit dem Los-Angeles-Verfahren vergleichen lässt. Bild 5 zeigt den linearen Zusammenhang zwischen diesen beiden Verfahren.

Der Brechbarkeitstest wird als tägliches Prüfverfahren im Rahmen einer Qualitätssicherung vorgeschlagen. Als Referenzverfahren dient der Los-Angeles-Index, der gemäß Bild 5 als Eichverfahren eingesetzt werden kann. Im gleichen

Die Brechbarkeits- und Los-Angeles-Testverfahren beziehen sich verständlicherweise auf aufbereitete Splittprodukte mit isometrischen Kornformen und nicht auf das anfallende Bohrgut. Auch der Punktlastindex wird gemäß ISRM (1985) an Bohrkernen oder mehr oder weniger gleichförmigen Prüfkörpern durchgeführt.

Die Anwendung dieser Prüfverfahren hat ergeben, daß der Kornform-Einfluß der plattig-stengeligen Gesteinsproben – insbesondere bei TBM-Rohmaterialien – auf das Versuchsergebnis zu gravierend ist und somit eine Testdurchführung nach Norm nicht zuläßt. Mittels geeigneter

Versuchsdurchgang läßt sich neben dem sogenannten Brechbarkeits-Index BR ein Abrasivitäts-Index  $A_{BR}$  bestimmen.

Als weiteres Verfahren zur Bestimmung der Gesteinshärte wird der Punktlast-Index (indirekte Zugfestigkeit) empfohlen, der weit verbreitet ist und einen oft verwendeten Gesteinsparameter im Untertagebau darstellt.

Damit der zeitliche Aufwand für die Probenzubereitung möglichst minimal gehalten werden kann, werden diese Laboruntersuchungen am Ausbruchmaterial selbst durchgeführt.

The Point Load Index (indirect tensile strength), which is commonly applied and often used as a rock parameter in tunnelling, is recommended as a further means of determining the rock hardness. In order to ensure that the amount of time required for preparing the samples is kept to a minimum, these laboratory tests are carried out on the spoil itself. The breakability and the Los Angeles test methods understandably relate to prepared chip products with isometric grain forms and not to the cut material that is produced. The Point Load Index is carried out with bore cores or more or less identically shaped test objects in accordance with ISRM (1985).

The application of these test methods has shown that the grain form influence of the platy-spiky rock samples – in particular, in the case of TBM raw materials – on the test result is excessive and thus executing the test in accordance with norm is not possible. By means of suitable sample preparation (sieving with slotted screens) and modified evaluation formulae for the point load test (effective fracture plane for TBM chips), the influence of the form factor could be minimised and kept constant. These adjustments permit a representative assessment both of the muck from TBM, roadheader and drill + blast drives as well as the prepared (broken) chip products (Fig. 6).

Apart from ascertaining the rock hardness, the petrographic description provides a further criterion for evaluating the muck. A macroscopic description and classification of the bored material in conjunction with the CEN/TC/154/SC6/N137E (1991) is sufficient for an initial appraisal.

As far as re-utilising the crude sand that yielded is concerned, the content of unsuitable components must be deter-

## Betonzuschlag Concrete Aggregate

Probenzubereitung (Aussiebung mit Spaltsieben) und modifizierten Auswertungsformeln für den Punktlast-Versuch (maßgebende Bruchfläche für TBM-Chips) konnte der Einfluß des Formfaktors minimiert und konstant gehalten werden. Diese Anpassungen erlauben eine repräsentative Beurteilung sowohl des Ausbruchmaterials des TBM-, TSM-respektive Spreng-Vortriebs als auch der aufbereiteten (gebrochenen) Splittprodukte (Bild 6).

Neben der Bestimmung der Gesteinshärte stellt die petrographische Beschreibung ein weiteres Kriterium für eine Evaluation des Ausbruchmaterials dar. Für eine erste Beurteilung genügt eine makroskopische Beschreibung und Klassifikation des Bohrgutes in Anlehnung an die CEN/TC/154/SC6/N137E (1991).

Im Hinblick auf eine Wiederverwertung des anfallenden Rohsandes muß der Gehalt an ungeeigneten Komponenten bestimmt werden. In Sedimentgesteinen sind es vor allem weiche, leicht mergelige Gesteinsbruchstücke und gröbere Calcitkristalle mit ausgeprägter Spaltbarkeit, die als ungeeignet bezeichnet werden. Bei Tunnelbauten im zentralen Alpenraum besteht ein großer Teil der zu durchfahrenden geologischen Schichtreihen aus kristallinen Gesteinen, die einen hohen Anteil an Schichtsilikaten aufweisen können. Diese sind oftmals < 2 mm im Durchmesser und werden durch den Aufbereitungsprozeß in den Feinstfraktionen angereichert.

Freie Schichtsilikate (nicht im Gesteinsverband eingebunden), die mit Mischwasser und Zement in Kontakt kommen, haben einen negativen Einfluß sowohl auf Frischbeton- als auch auf Festbetoneigenschaften. Mit steigendem Gehalt an Glimmer nimmt auch die Wassermenge für gleichbleibende Verarbeitbarkeit zu. Gesamtglimmergehalte von < 10 Stück-% (bezogen auf die Gesamt-Zuschläge im Betongemisch) haben sich in den durchgeföhrten Untersuchungen nicht merklich auf Betoneigenschaften ausgewirkt. Eine quantitative Glimmerbestimmung der ungeeigneten Komponenten in der Sandfraktion 0 bis 4 mm wird am einfachsten mittels Binocular an Unterfraktionen durchgeführt.

Nach Bedarf empfiehlt es sich bereits in der Phase der Voruntersuchungen eines Untertagebaus, Aggregatuntersuchungen an repräsentativen Gesteinsproben (Handstücke aus der Oberfläche oder aus Sondierstollen, Bohrkerne usw.) durchzuführen, wie zum Beispiel Frost-Tauwechsel-Verhalten, Gehalte an Chlo-

rid, schwefelhaltige Bestandteile, Radioaktivität der Zuschläge usw.

Untertagebauten fördern wegen der darin vorherrschenden klimatischen Bedingungen (hohe Feuchtigkeit und Temperaturen) eine mögliche Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR). Die bekannteste Art der Alkali-Aggregat-Reaktion ist die sogenannte Alkali-Silikat-Reaktion (ASR), die in Form einer chemischen Reaktion zwischen löslichen Alkalien ( $K^+, Na^+$ ) im Betongemisch und löslichem Silizium oder reaktiven Silikaten der Aggregate auftritt. Das Produkt dieser Reaktion ist ein expansives Gel, welches zu Rissen im Betoninneren und an der Oberfläche führen kann. Auf internationalem Niveau wurde keine einheitliche Normierung betreffend die AAR erreicht, da die möglichen Reaktionen vom jeweiligen Zuschlagstyp der geologischen Region abhängig sind. In den CEN-Normen wurde auf eine europaweite Normierung verzichtet und empfohlen, auf die nationalen Normen und Erfahrungen zurückzugreifen. Die Schweiz kennt keine Normen bezüglich der AAR, da bis anhin kaum Schadensfälle öffentlich bekannt wurden (Hammerschlag & Regamey, 1995). Die im Rahmen der AlpTransit-Untersuchungen durchgeföhrten AAR-Prüfungen haben ergeben, daß von den bis anhin fünf untersuchten Aggregate-Typen aus kristallinen TBM-Ausbruchmaterialien eine Gesteinsorte als potentiell gefährlich bezeichnet werden muß (AAR-Prüfungen wurden gemäß französischen Normen durchgeföhr: AFNOR P18-588 Mikrobar-Mörtel Schnellprüfung und AFNOR P18-589 Bestimmung der potentiellen Reaktivität der Aggregate mittels chemischem Versuch).

### 4 Aufbereitung von geeignetem TBM-Ausbruchmaterial zu Betonzuschlagstoffen

Eine optimale Zubereitung von Betonzuschlägen aus TBM-Fräsmaterial benötigt – im Gegensatz zum Ausbruch aus dem Sprengvortrieb – zusätzliche aufbereitungstechnische Maßnahmen (Thalmann, 1994 und 1995). TBM-Bohrgut muß vorab intensiv mit Waschtrommeln vom Feinstanteil gereinigt werden. Dies bedingt eine leistungsfähige Schlammpräbanlage. Weiter gilt es, die a priori kleinen TBM-Gesteinsbruchstücke mittels geeigneter Verfahren schonend zu brechen, damit kein Sandüberschuß anfällt. Hierbei hat sich das sogenannte Vertikal-Brechersystem, in welchem die Komponenten durch Korn-Korn-Kontakt gebrochen werden, als geeignet er-

mined. In sedimentary rocks, light marly rock fragments and coarser calcite crystals with pronounced cleavage, can, first and foremost, be described as unsuitable. In the case of tunnel projects in the central Alpine region, a large proportion of the geological series of beds that have to be penetrated consist of crystalline rocks, which possess a high share of layer silicates. These are frequently < 2 mm in diameter and are enriched into the finest fractions through the preparation process.

Free layer silicates (not bonded into the rock mass), which come into contact with combined water and cement, have a negative effect both on fresh concrete and the properties of set concrete. As the glimmer content increases, the water quantity for constant processing also increases. Overall glimmer contents of < 10 piece-% (related to the total aggregates in the concrete mixture) did not perceptibly effect the concrete properties in the examinations that were undertaken. A quantitative glimmer analysis of the unsuitable components in sand fractions 0 to 4 mm is most easily carried out by binocular means with sub-fractions.

According to need, it is advisable to carry out aggregate examinations of representative rock samples (specimens from the surface or from pilot tunnels, bore cores, etc.), such as for instance, frost, thaw behaviour, chloride contents, sulphurous components, radioactivity of the aggregates, etc. during the pre-investigatory phase for an underground project.

On account of the climatic conditions (high humidity and temperatures) prevailing in underground projects, they cause a possible alkali aggregate reaction (AAR).

The best-known form of the AAR is the so-called alkali silicate reaction (ASR), which occurs in the form of a chemical reaction between soluble alkalis  $K^*, Na^+$  in the concrete mixture and soluble silicon or reactive silicates in the aggregates. The product of this reaction is an expanding gel, which can lead to cracks in the interior of the concrete and on its surface. No common standardisation regarding the AAR has been arrived at internationally, as the possible reactions depend on the given type of aggregate of the geological region. There are no standards relating to the AAR in Switzerland, as previously there were scarcely any cases that became publicly known (Hammerschlag & Regamey, 1995). The AAR tests carried out within the scope of the Alpine Transit Route investigations revealed that one type of rock must be described as

# Betonzuschlag

## Concrete Aggregate

wiesen. Zahlreiche Aufbereitungsversuche haben gezeigt, daß Rohmaterial erst ab der Fraktion 8 mm (zum Teil auch höher) gebrochen werden muß, da die ungebrochenen Körner im Bereich 0 bis 8 mm oftmals die Kornform-Anforderungen an Betonzuschläge bereits erfüllen. Diese ungebrochenen Komponenten können mit denjenigen der gebrochenen Fraktionen vermischt werden.

Bei diesen verfahrenstechnischen Versuchen konnte nachgewiesen werden, daß die Wiederverwertungsrate der TBM-Materialien in bezug auf die Zuschlagsstoffproduktion um einiges höher liegt als angenommen. So können aus aufbereiteten Fräsmaterialien (Vertikalbrecher) durchschnittlich 35 % eines Betongemisches 0 bis 32 mm und 45 % eines Spritzbeton-Gemisches 0 bis 8 mm produziert werden. Der „Überschuß“ beträgt somit im Mittel 20 %.

### 5 Schlußbemerkung

Haufwerk aus dem Untertagebau (auch TBM-Fräsmaterial) wird in Zukunft vermehrt als Kiesersatzprodukt eingesetzt werden. Damit diese Betonzuschlagstoffe die gestellten Betonanforderungen erfüllen können, muß deren Eignung im Sinne einer Qualitätssicherung mittels praxisfreundlichen Prüfverfahren nachgewiesen werden. Solche Eignungsprüfungen werden bereits heute auf der Hochgebirgsbaustelle Cleuson-Dixence (TBM-Vortrieb) und beim kürzlich begonnenen Zwischenangriff in Sedrun (Sprengvortrieb) eingesetzt.

Dieser Beitrag ist als Kurzfassung aus der Dissertation „Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen“ entnommen (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Ingenieurgeologie; Referent: Prof. Dr. C. Schindler, Koreferenten: Prof. Dr. Böhni, Dr. E. Büchi, W. Studer). Die Forschungsarbeit konnte dank der finanziellen Unterstützung der Schweizerischen Bundesbahnen SBB und der Bern-Lötschberg-Bahn BLS realisiert werden. Zum Gelingen dieser Untersuchungen haben die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA (Abteilung Beton und Bindemittel) und die für die Materialbewirtschaftung zuständigen Ingenieurunternehmungen von AlpTransit Gotthard und Lötschberg beigetragen. Besonderer Dank gebührt den Herren M. Kruse (Ernst & Basler und Partner, Zollikon), R. Weber (A.S.E.-Technik, Emmen), M. Zermatten (Bonnard & Gardel SA, Lausanne) und Ph. Arnold (Geotechnisches Institut, Bern). Fruchtbare Zusammenarbeit fand auch mit den zuständigen Materialbewirtschaftern von Cleuson-Dixence statt (Büro Dr. Pralong SA, Sion; Schneller, Ritz & Partner AG, Brig; CSC AG, Lugano).

#### Literatur:

- Büchi, E.; Mathier, J., & Wyss, Ch. (1995): Gesteinsabrasivität – ein bedeutender Kostenfaktor beim mechanischen Abbau von Fest- und Lockergestein. Tunnel 5/95.  
Büchi, E.; Thalmann, C. (1995): Wiederverwertung von TBM-Ausbruchmaterial. Einfluß des Schneidrollenabstands. TBM Know-how zum Projekt NEAT, Atlas Copco-Robbins Symposium, 16. März 95, Luzern.

Büchi, E.; Thalmann, C. (1996): Wiederverwendung des Haufwerks bei konventionellem Vortrieb im Vergleich zu TSM- und TBM-Vortrieb. Atlas Copco & Dynamit Nobel Bohr- und Sprengtechnik-Symposium, 18. Januar 96, Zürich.  
Bundesverband Natursteinindustrie (1993): Bauen mit Splittbeton. Bundesverband Naturstein-Industrie e.V., Bonn.

Dubuisson, B. (1959): Encyclopédie pratique de la construction et du bâtiment. Exécution de la construction traditionnelle Titre II-3<sup>e</sup> Partie. Paris.

Hammerschlag, J.-G. & Regamey, J.-M. (1995): Barrage de l'Ilsee – assainissement. Research and development in the field of dams, proceedings, september 1995 Crans-Montana, Switzerland.

Kruse, M., & Weber, R. (1995): Beton aus TBM-Ausbruchmaterial. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 47.

Schindler, C. (1991): Wie sicher sind geologische Prognosen? Sammelband des Symposiums „Sicherheit und Risiken bei Untertagebauwerken“ vom 21.–22. März 1991, ETH Zürich.

Thalmann, C. (1994): Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem konventionellen und maschinellen Tunnelvortrieb zu Kiesersatzprodukten – eine Herausforderung an die Kieswerke. Schweizer Baustoff-Industrie 6/94.

Thalmann, C. (1995): Optimale Wiederverwertung von TBM-Ausbruchmaterial. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 47.

AFNOR P 18-579 (1990): Granulats – essai d'abrasivité et de broyabilité. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR P 18-588 (1991): Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin – Essai accéléré sur mortier Microbar. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR P 18-589 (1992): Réactivité potentielle de type alcali silice et alcali silicate – test cinétique-méthode chimique. Association Française de Normalisation, Paris.

CEN/TC/154/SC6/N137E: (1991): Draft simplified method for description and petrography submitted to SC6 for approval in november 1991. Europäisches Komitee für Normung.

CEN/TG/07/A5 (1992): Method for determination of the resistance to fragmentation: Los-Angeles-Test. Europäisches Komitee für Normung.

ISRM Commission on Testing Methods (1985): Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 22.

powerful sludge pressing plant. It is also necessary to crush the a priori small TBM rock fragments gently by means of suitable methods so that no sand surplus results. In this connection, the so-called vertical crusher system, in which the components are broken through grain-to-grain contact, has proved to be effective. Numerous preparation tests have revealed that raw material must first be crushed as from fraction 8 mm (in some cases, even higher), as the uncrushed grains within the 0 bis 8 mm range have often already fulfilled the grain form demands applying to concrete aggregates. These uncrushed components can be mixed with those of the crushed fractions.

It could be proved through these technical tests that the re-utilisation value of the TBM materials vis-a-vis aggregate production is somewhat higher than was assumed. Thus, on average, 35 % of a concrete mixture 0 bis 32 mm and 45 % of a shotcrete mixture 0 bis 8 mm can be produced from prepared cut materials (vertical crusher). The mean “surplus” in other words, amounts to 20 %.

### 5 Summary

Spoil from underground projects (including cut TBM material) will increasingly be used as a gravel substitute product in future. In order to ensure that these concrete aggregates can fulfil the required demands relating to concrete, their suitability vis-a-vis quality assurance has to be determined by means of practice-friendly test methods. Such suitability tests have already been applied at the Cleuson Dixence mountain construction site (TBM drive) and for the intermediate point-of-attack recently begun at Sedrun (drill + blast).

potentially dangerous from the 5 types of aggregate comprising crystalline TBM spoil examined so far (AAR tests were executed in accordance with French norms: AFNOR P18-588 microbar mortar rapid test and AFNOR P18-589 determining the potential reactivity of the aggregates through a chemical test).

### 4 Preparing suitable TBM Muck as Concrete Aggregates

An optimal preparation of concrete aggregates from material cut by a TBM calls for additional technical measures (Thalmann, 1994 and 1995) – in contrast to the spoil obtained from drill + blast. TBM muck must first of all, be cleaned intensively in washing drums in order to remove the finest particles. This requires a

This article is an abbreviated version of the dissertation “Assessment and Possibilities for Re-utilising Muck from mechanical Tunnelling as Concrete Aggregates” (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Geotechnics; Lecturer: Prof. C. Schindler, Co-lecturers: Prof. Böhni, Dr. E. Büchi, W. Studer). The research project could be realised through the financial support of the Swiss Federal Railways SBB and the Berne-Lötschberg Railway BLS. The Swiss Material Testing and Research Institute EMPA (Department for Concrete and Binding Agents) and the responsible engineering enterprises responsible for material control for the Gotthard and Lötschberg Alpine Transit projects contributed towards the success of these investigations. Special thanks must be accorded M. Kruse (Ernst & Basler und Partner, Zollikon), R. Weber (A.S.E.-Technik, Emmen), M. Zermatten (Bonnard & Gardel SA, Lausanne) and Ph. Arnold (Geotechnisches Institut, Berne). There was also fruitful cooperation with those responsible for material control at Cleuson-Dixence (Büro Dr. Pralong SA, Sion; Schneller, Ritz & Partner AG, Brig; CSC AG, Lugano).

Bibliography: see German original