

Basisprogramme ENDBERICHT UND ENDABRECHNUNG



Ein **Endbericht mit Endabrechnung** ist am Ende des Förderungszeitraums (inkl. eventueller Verlängerung) zu erstellen und innerhalb von 3 Monaten via eCall zu übermitteln. Der Endbericht soll über die im **gesamten** Förderungszeitraum durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse berichten. Bei mehrjährigen Projekten ist nach jedem Förderungsabschnitt (meist ein Jahr) ein Endbericht mit Endabrechnung zu erstellen.

Ein Endbericht soll umfangreicher als ein Zwischenbericht sein und auch eine Bewertung der Ergebnisse beinhalten. Als grober Richtwert kann ein Umfang von ca. 10 DIN A4 Seiten angegeben werden.

| | |
|---|-----------------------------------|
| Projekttitle: | Recycling von Tunnelausbruch |
| Projektnummer: | 834231 |
| Firmenname: | ÖBV-GmbH |
| Förderungszeitraum: (inkl. Genehmigter Verlängerung) | 01.07.2011-31.12.2012 |
| Verantwortliche Person für den fachlichen Teil | O.Univ.Prof. DI Dr. Robert Galler |
| Verantwortliche Person für die Abrechnung | DI Michael Pauser |

Kostenzusammenfassung

Tabellenbefüllung per Doppelclick aktivieren!

| | | | |
|--|----------------|----------------|------|
| Personalkosten | 8.800 | 10.601 | 120% |
| F&E-Infrastruktur - Nutzung | 0 | 0 | - |
| Sach- und Materialkosten | 0 | 0 | - |
| Leistungen Dritter | 463.300 | 453.693 | 98% |
| Reisekosten | 0 | 0 | - |
| Patentanmeldekosten | 0 | 0 | - |
| Gesamt | 472.100 | 464.294 | 98% |

1. Arbeiten und Termine

Beschreiben Sie (chronologisch) die im Förderungszeitraum durchgeführten Arbeiten. Vergleichen Sie den tatsächlichen Ablauf mit dem eingereichten Arbeits- und Terminplan. Beschreiben Sie Änderungen im Ablauf und in der Zielsetzung und beschreiben Sie die Ursachen für diese Änderungen.

Der vorliegende Bericht stellt die Kurzfassung des Endberichtes des von der FFG geförderten Forschungsprojektes „Recycling von Tunnelausbruch“ dar. Die Struktur des Forschungsprojektes, die während der gesamten Projektlaufzeit beibehalten wurde, ist in nachstehender Abbildung dargestellt:



Abbildung 1: Arbeitspakete des Forschungsprojektes

Es darf festgehalten werden, dass sämtliche Arbeitspakete (AP) in der geplanten Art und Weise abgearbeitet wurden. Dies gilt auch für das Arbeitspaket 10, wobei anzumerken ist, dass dieses Arbeitspaket von der Förderung der FFG ausgenommen war und daher getrennt finanziert wurde. Nichtsdestotrotz war dieses AP für eine umfassende Zielerreichung unabdingbar erforderlich.

Seitens der Forschungsgruppe wurde eine Entscheidungsmatrix entwickelt, die als Basis für weiterführende Ausarbeitungen zur Erstellung eines Merkblattes/einer Richtlinie des ÖBV dienen wird, in welche aber auch Gremien einzubinden sind, welche am vorliegenden Forschungsprojekt nicht mitgearbeitet haben. Als Beispiel seien die Vertreter von Bund und Ländern genannt.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Ausarbeitungen und Ergebnisse des Forschungsprojektes in stark komprimierter Form dargestellt.

1.1 Geologische Rahmenbedingungen

1.1.1 Geologischer Überblick Österreich

Zu Beginn des Projektes musste sich das Projektteam einen Überblick über die in Österreich im Zuge der Auffahrung von zukünftigen Untertageinfrastrukturen erwartbaren lithologischen Groß-Einheiten verschaffen. Es zeigte sich, dass alle österreichischen geologischen Einheiten Gesteine beinhalten die Baurohstoffe und Rohstoffe für bestimmte Verwendungen der Industrie darstellen. Eine Übersicht über Abbauorte und die geologische Zuordnung derzeit genutzter Baurohstoffe in Österreich zeigt Abbildung 1.1 basierend auf Erhebungen der Geologischen Bundesanstalt. Damit ist das Nutzungspotenzial von Gesteinen der einzelnen geologischen Zonen Österreichs als Baurohstoffe angedeutet. Diese Erkenntnis ist unmittelbar auf Ausbruchmaterialien von Tunnelprojekten übertragbar.

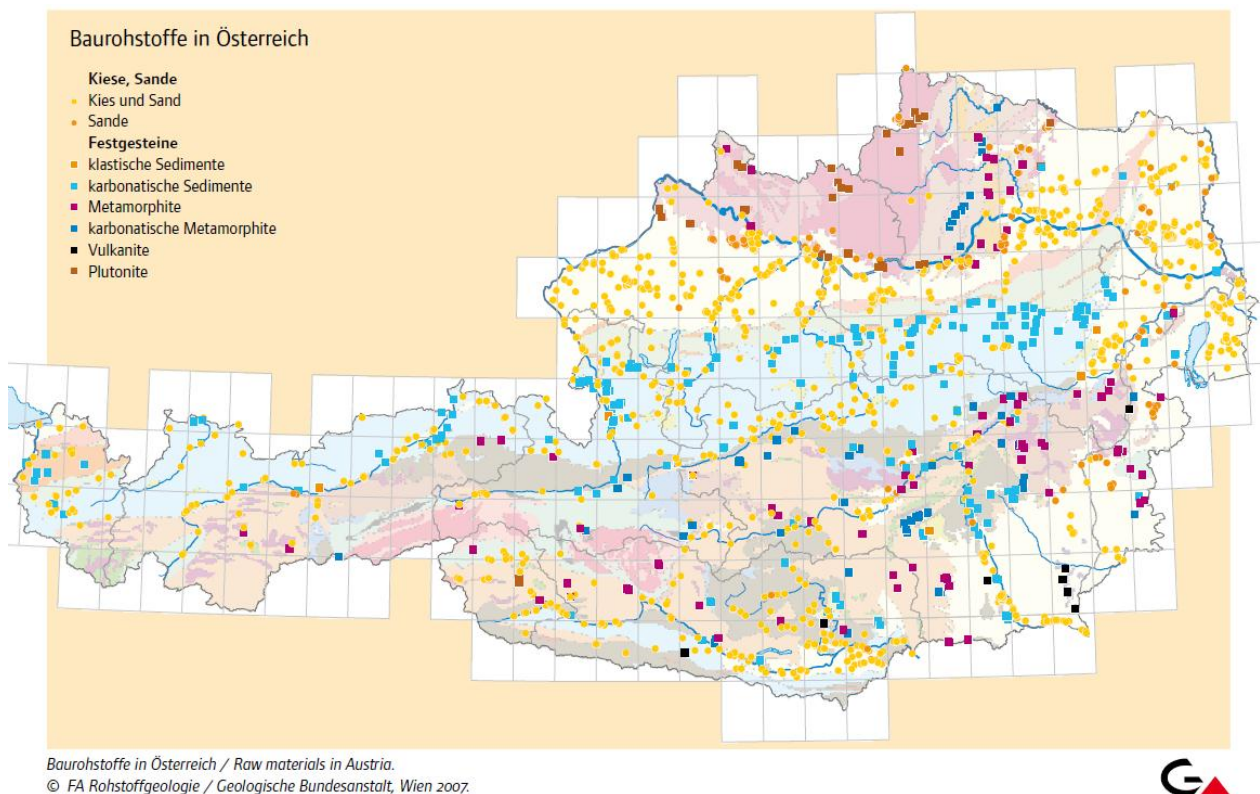


Abbildung 1.1: Übersichtskarte der Baurohstoffe in Österreich

Österreich hat Anteil an den geologischen Großzonen:

- Böhmisches Massiv
- Ostalpen
- Südalpen (inkl. der Periadriatischen Grenzzone)
- Tertiärbecken
- Quartäre Talfüllungen

1.1.2 Ermittlung der Gesteinsparameter

Die in den nachfolgenden Unterkapiteln beschriebenen Gesteinsparameter sollen Aufschluss über eine Eignung der Lithologien als Gesteinskörnung und industriell nutzbarer mineralischer Rohstoff geben. Im Forschungsteam wurde beschlossen, in erster Näherung folgende Parameter für die Entscheidung heranzuziehen:

- Modaler Mineralbestand (Dünnschliffuntersuchungen)
- Geotechnische Parameter
- Untersuchungen zur Abrasivität
- Schichtsilikatgehalt am Formtrenntisch
- Glimmer-Gefüge Index
- Seismische Untersuchungen
- Geochemische Parameter

Im Rahmen des Projektes wurden die Gesteine Kalkglimmerschiefer, Augengneis, Amphibolit, Granitgneis, Biotit Plagioklas Gneis, Raibler Dolomit und Schiefergneis untersucht.

1.1.3 Ergebnisse

1.1.3.1 Gesteinsbeschreibung und modaler Mineralbestand

- Kalkglimmerschiefer: Hauptmineralbestand ist Calcit (73%), Quarz (14%), Muskovit (10%) und Chlorit (1%)
- Augengneis: Hauptmineralbestand ist Quarz (40%), Feldspat (51%) und Biotit (7%)
- Amphibolit: Hauptmineralbestand ist Quarz (25%), Amphibol (42%), Feldspat (7%) und teilweise Zoisit/Epidot (14%), Chlorit (4%) und Granat (7%)
- Granitgneis: Hauptmineralbestand ist Quarz (43%), Feldspat (46%) und Biotit (8%)
- Biotit Plagioklas Gneis: Hauptmineralbestand ist Feldspat (40%), Quarz (22%) und Biotit (29%)
- Raibler Dolomit: Dolomit (min. 90 %) ist meist von kleinen Calcitadern (max. 10 %) ohne bevorzugte Orientierung durchzogen



Abbildung 1.2: Petrographische Untersuchungen

1.1.3.2 Bestimmung der Stressgrade an Quarzen zur Vorausbestimmung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität

Anhand des Erscheinungsbildes von Quarzmineralen im Dünnschliff lassen sich Schlüsse über die tektonische Beanspruchung respektive die interne Deformation der Quarze ziehen. Gestresste Quarze zeigen im Polarisationsmikroskop bei Durchlicht undulöses Auslösches. Ungestresste respektive rekristallisierte Quarze löschen gerade aus und zeigen keine interne Deformation. Um den Einfluss gestresster Quarze auf die Alkali-Kieselsäure-Reaktivität zu bestimmen, wurde der Anteil von undulös auslöschenden Quarzen in den einzelnen Lithologien bestimmt. Der Kalkglimmerschiefer weist 53 % undulös auslöschende Quarze auf, der Augengneis 95 %, der Amphibolit 86 %, der Granitgneis 69 % und der Biotit Plagioklas Gneis 89 %.

1.1.3.3 Ergebnisse der Gefügebestimmungen mittels Glimmer-Gefüge-Index

Die Ermittlung der Glimmer Gefüge Indices (GGI) gibt den Grad des anisotropen Gefüges in Zahlen von 2 bis 8 an, wobei 2 quasi Isotropie und 8 extreme Anisotropie bzw. Einregelung der Glimmerminerale bedeutet.

| Lithologie | Glimmer Gefüge Index |
|-------------------------|----------------------|
| Kalkglimmerschiefer | 3 bis 4 |
| Augengneis | 3 bis 4 |
| Biotit Plagioklas Gneis | 4 bis 6 |
| Granitgneis | 3 bis 5 |
| Amphibolit | 3 bis 4 |

Tabelle 1.1: Ergebnis auf Basis der Gefügebestimmung

1.1.3.4 Ergebnisse der geotechnischen Versuche

Es wurde versucht, möglichst viele Versuchsdaten aus bestehenden Geotechnischen Berichten der zu untersuchenden Lithologien zu entnehmen. Wo dies nicht der Fall war, wurden entsprechende Versuche von den Forschungspartnern durchgeführt. Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse.

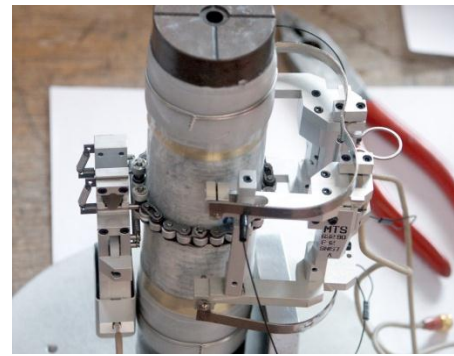


Abbildung 1.3: Einachsialer Druckversuch - Probenvorbereitung

| Lithologie | UCS [MPa] | E-Modul [MPa] | V-Modul [MPa] | Poisson Zahl [-] | SPZ [MPa] | Reibungswinkel [°] | Kohäsion [MPa] |
|-------------------------|--------------|------------------|------------------|---------------------|--------------|-----------------------|-------------------|
| Kalkglimmerschiefer | 83.2 | 54517 | 41047 | 0.21 | 8.7 | 33.3 | 24.3 |
| Augengneis | 228.4 | 36717 | 31123 | 0.11 | 12.4 | 53.6 | 44.4 |
| Biotit Plagioklas Gneis | 152.2 | 77863 | 72300 | 0.17 | 15.5 | 51.7 | 25.0 |
| Granitgneis | 132.3 | 41717 | 33463 | 0.15 | 10.3 | 51.5 | 17.5 |
| Amphibolit | 119.8 | 60927 | 45430 | 0.13 | 16.9 | 54.9 | 45.6 |
| Raibler Dolomit | 140.9 | 86627 | 78250 | 0.20 | 15.3 | 58.2 | 26.8 |

Tabelle 1.2: Ergebnisse aus den geotechnischen Laborversuchen

1.1.3.5 Ergebnisse der Abrasivitäts Index Tests

Die beiden nebenstehenden Bilder zeigen die LA-Trommel und das LCPC Versuchsgerät – beide situiert am Lehrstuhl für Subsurface Engineering der Montanuniversität Leoben, mit welchen es gelungen ist, gute Korrelationen zwischen den entsprechenden Versuchsparametern zur Abrasivität herzustellen. Zusätzlich wurden CAI-Tests durchgeführt. Die Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle enthalten.



Abbildung 1.4: LA- und LCPC Tests

| Lithologie | CAI-Wert |
|-------------------------|----------|
| Kalkglimmerschiefer | 1.93 |
| Augengneis | 4.92 |
| Amphibolit | 4.65 |
| Biotit Plagioklas Gneis | 3.37 |
| Granitgneis | 4.30 |
| Dolomit | 2.55 |

Tabelle 1.3: Cerchar Abrasivitäts Index Werte (CAI) der untersuchten Lithologien

Die angegebenen Mittelwerte beziehen sich auf kombinierte Untersuchungen parallel und normal zur Schieferung. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass alle Lithologien als abrasiv einzustufen sind.

1.1.3.6 Ergebnisse der seismischen Untersuchungen

| Lithologie | Kompressionswellengeschwindigkeit [m/s] |
|-------------------------|---|
| Kalkglimmerschiefer | 3801 |
| Augengneis | 3140 |
| Amphibolit | 4911 |
| Biotit Plagioklas Gneis | 5528 |
| Granitgneis | 3884 |
| Dolomit | 4863 |

Tabelle 1.4: Kompressionswellengeschwindigkeiten der untersuchten Lithologien

Die höchsten Laufzeiten weist der Biotit Plagioklas Gneis mit über 5,5 km/s auf. Auffallend ist, dass der Augengneis als Lithologie mit der höchsten einachsialen Druckfestigkeit den geringsten Elastizitätsmodul und die geringste Wellengeschwindigkeit aufweist.

1.1.3.7 Ergebnisse der geochemischen Analysen

Die Schwankungsbreite der geochemischen Parameter ist innerhalb einer Lithologie marginal. Detaillierte Ergebnisse dazu finden sich im Langbericht zu diesem Projekt.

1.1.3.8 Ergebnisse der Untersuchungen am Formtrenntisch

Die Bandbreite der Untersuchungsergebnisse wird in Gew. % angegeben. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass die Wiederholbarkeit der Ergebnisse der Glimmerbestimmung mit dem Formtrenntisch auch bei geringen Probenmengen gegeben ist, weshalb dieser Versuch für die Qualitätskontrolle auf der Baustelle als besonders geeignet hervorgegangen ist.

| Lithologie | Glimmergehalt am Formtrenntisch (125 – 250 µm) |
|-------------------------|--|
| Kalkglimmerschiefer | 23 bis 25 |
| Augengneis | 7 bis 11 |
| Amphibolit | 9 bis 13 |
| Biotit Plagioklas Gneis | 9 bis 11 |
| Granitgneis | 18 bis 21 |

Tabelle 1.5: Ergebnisse der Schichtsilikatbestimmungen am Formtrenntisch

1.2 Analysen zur Nutzbarmachung von Tunnelausbruchsmaterial

Die Bestimmung der chemischen Eigenschaften des anstehenden Gebirges bzw. des Ausbruchmaterials ist wichtiger Bestandteil der Charakterisierung des Ausbruchmaterials.

Für die Planung möglicher Verwendungsszenarien ist es schon im Vorfeld der Vortriebsarbeiten unabdingbar die chemischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials abzuschätzen. Vor allem die Verwendbarkeit des Ausbruchmaterials als Industrierohstoff kann wesentlich durch die chemischen Eigenschaften beeinflusst werden. Diesbezüglich wurde im Projekt dringender Handlungsbedarf geortet.

Zukünftig sollte der anstehende Boden/Fels obligatorisch in der Projektierungsphase auf die chemischen Eigenschaften hin untersucht werden. Die für die Untersuchung erforderlichen Proben könnte man dabei sehr leicht den ohnehin durchzuführenden Probebohrungen entnehmen. Als Materialmenge werden hierfür ca. 2 kg benötigt.

Gemäß Deponieverordnung ist bei Hauptproben grundsätzlich eine Vollanalyse durchzuführen; bei Nebenproben sind jedenfalls im Eluat die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Nitrat-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff und im Feststoff die Parameter Kohlenwasserstoffindex und TOC zu untersuchen. Diesbezüglich wurde im Forschungsprojekt herausgearbeitet, dass zuerst festgestellt werden sollte, für welche Verwendungen das Ausbruchmaterial in Frage kommt und darauf aufbauend die erforderlichen Untersuchungen festgelegt werden sollten. Werden bei einem Tunnelausbruch beispielsweise keine Sprengmittel verwendet, kann die Untersuchung von Nitrat- und Nitrit-Stickstoff entfallen; soll das Ausbruchmaterial für die Betonherstellung verwendet werden, ist die Sinnhaftigkeit der pH-Wert Untersuchung zu hinterfragen.

1.2.1 Verunreinigung des Ausbruchmaterials auf Basis unterschiedlicher Vortriebsarten

Die geochemischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials können durch die Vortriebsarbeiten beeinflusst werden. Die chemischen Gehalte im Feststoff und im Eluat sind sowohl im Falle einer

Deponierung, als auch im Falle der Verwendung zu bestimmen und mit festgelegten Grenzwerten zu vergleichen. Im Falle der Verwendung sollte die Liste der Untersuchungen allerdings auf die verwendungsspezifisch erforderlichen Parameter eingeschränkt werden.

1.2.1.1 Stoffeintrag beim NATM-Vortrieb

Im Zuge von Eluatversuchen an Ausbruchmaterial konnte festgestellt werden, dass durch den Sprengvortrieb lösliche Anteile an Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-), und Ammonium (NH_4^+) in das Ausbruchmaterial eingetragen werden:

- Nitrat (NO_3^-): 6,0 bis 15,0 g-N/Tonne Ausbruch
- Nitrit (NO_2^-): 1,0 bis 2,4 g-N/Tonne Ausbruch
- Ammonium (NH_4^+): 0,2 bis 3,3 g-N/Tonne Ausbruch

1.2.1.2 Stoffeintrag beim maschinellen Vortrieb

Im Maschinenbereich kann es zum Eintrag von Ölen, Fetten und Treibstoffen in das Ausbruchmaterial kommen. Beim maschinellen Vortrieb im Lockergestein können durch Zugabe von Konditionierungsmitteln ferner Veränderungen der Eigenschaften des Ausbruchmaterials hervorgerufen werden.

1.2.1.3 Stoffeintrag durch Bauhilfsmaßnahmen

- *Düsenstrahlverfahren*: der auftretende Rücklauf, ein Gemisch aus Bindemittelsuspension und Botenteilchen, kann Schwermetalle enthalten.
- *Bodeninjektionen*: hierbei kommen Zementsuspensionen, Chemikalien und Feinstbindemittel zur Anwendung

1.2.1.4 Verunreinigung von Schlämmen aus Tunnelentwässerung und Materialaufbereitung

Beim Bau des Gotthard Basistunnels wurde nachgewiesen, dass die anfallenden Schlämme aus der Tunnelentwässerung und der Materialaufbereitung zum Teil mit Nitrit, Ammonium, Kohlenwasserstoffen und Chromat (Chrom VI) belastet waren. Folgende Begründungen für die Verunreinigungen konnten identifiziert werden:

- Kohlenwasserstoffe: Schmiermittel, Treibstoffe und Hydraulikflüssigkeiten
- Nitrit und Ammonium: Sprengvortrieb
- Chromat: Spritzbetonrückprall bzw. Eluationen aus eingebautem Spritz- und Ort beton

1.2.2 Eignung von Tunnelausbruch als Ziegelton, -lehm

Die Anforderungen an Ziegelton bzw. -lehm werden in Abhängigkeit der Ziegelart festgelegt. Bezüglich der Ziegelart wird unterschieden zwischen Blockziegel (Hintermauerziegel), Klinker (Vormauerziegel), Pflasterklinker, Dachziegel und Steinzeugrohren. Ziegelton- bzw. Lehm für die Blockziegelproduktion muss dabei die geringsten Anforderungen erfüllen. Im Folgenden werden beispielhaft die Anforderungen für Blockziegel angegeben. Wesentlich für die Ziegelproduktion ist eine gleichbleibende Rohstoffqualität. Aus diesem Grund wird Ziegelton häufig zwischengelagert wodurch eine Vermischung ermöglicht wird. Die Aufbereitung von Ziegelton erfolgt im Ziegelwerk. Während der Aufbereitung durchläuft Ziegelton die Verfahrensschritte Dosieren, Zerkleinern, Mischen und Homogenisieren. Kann Ausbruchmaterial für die Ziegelproduktion verwendet werden, ist von der Baustelle nur der Rohstofftransport zu bewerkstelligen; die Aufbereitungsschritte sollten im Ziegelwerk erfolgen.

Die Korngrößenverteilung ist für Ziegelton von großer Bedeutung. Während der Aufbereitung wird das Ausgangsmaterial in einer stufenweisen Zerkleinerung auf eine maximale Korngröße von 2 mm zerkleinert. Durchschnittliche Korngrößenverteilungen von Ziegeltonen sind in nachstehender Tabelle angegeben.

| Korngrößen | Korngrößenverteilung [M.-%] | |
|------------------|-----------------------------|----------------|
| | Vollziegel ¹⁾ | Viellochziegel |
| > 0,020 mm | 50 - 70 | 40 - 60 |
| 0,020 - 0,002 mm | 15 - 35 | 15 - 35 |
| < 0,002 mm | 10 - 25 | 20 - 35 |

¹⁾ bis 15% Lochanteil

Tabelle 1.6: Durchschnittliche Korngrößenverteilungen in Ziegeltonen

Richtwerte für die chemische Zusammensetzung bzw. den Mineralbestand von Mauerziegelmassen sind in den beiden folgenden Tabellen angegeben:

| Chemische Zusammensetzung [M.-%] | Bereich der größten Häufigkeit Mauerziegelmassen (Voll- und Hochlochziegel) |
|--|---|
| SiO ₂ - Siliciumdioxid | 49,2 - 68,0 |
| Al ₂ O ₃ - Aluminiumoxid | 10,2 - 19,4 |
| Fe ₂ O ₃ - Eisen(III)-oxid | 2,7 - 8,0 |
| TiO ₂ - Titan(IV)-oxid | 0,3 - 1,7 |
| CaO - Calciumoxid (gebrannter Kalk) | 0,3 - 9,4 ¹⁾ |
| MgO - Magnesiumoxid | 0,5 - 2,9 |
| K ₂ O - Kaliumoxid | 1,3 - 4,0 |
| Na ₂ O - Natriumoxid | 0,3 - 1,2 |
| CaCO ₃ - Calciumcarbonat | 0 - 18 |
| C _{org} | 0,04 - 1,0 |
| Gesamt-Schwefel | 0,04 - 0,56 |
| GV - Glühverlust | 4,2 - 9,1 |

¹⁾ für Mergeltonen bis 13,5 M.-% maximaler Kalkgehalt: 30% CaCO₃ (=17% CaO); ab ca. 17% CaCO₃ (10% CaO) gelbbrennend

Tabelle 1.7: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung von Mauerziegelmassen

| Mineralogische Zusammensetzung [M.-%] | Bereich der größten Häufigkeit Mauerziegelmassen (Voll- und Hochlochziegel) |
|---------------------------------------|---|
| Kaolinit (fire clay-Mineral) | 0 - 15 |
| Sericit + Illit | 10 - 20 |
| Smektit | 0 - 5 |
| Chlorit | 0 - 5 |
| Quarz | 30 - 55 |
| Feldspat | 0 - 13 |
| Calcit | 0 - 10 |
| Dolomit + Ankerit | <1 |

| | |
|----------------------|--------|
| Goethit | <1 |
| Hämatit | <1 |
| Siderit | <1 |
| Pyrit | <1 |
| Gips | <1 |
| Hornblende | <1 |
| Röntgenamorpher Rest | 1 - 10 |

Tabelle 1.8: Durchschnittlicher Mineralbestand von Mauerziegelmassen

Vor allem schwefelhaltige Minerale (Pyrit, Markasit, Gips und Magnesiumsulfat) sind, da sie Ausblühungen verursachen können, in der Ziegelproduktion unerwünscht.

Entspricht das anfallende Ausbruchmaterial den angegebenen Anforderungen sollte bereits in der Projektierungsphase der Bedarf an Ziegelton im Umkreis des Tunnelprojektes festgestellt werden. Besteht dieser, sollten dem Ziegelproduzenten in einem nächsten Schritt Proben des Ausbruchmaterials für weitere Untersuchungen (z.B. Brennversuche) zur Verfügung gestellt werden.

Parallel zu Ziegelton und -lehm werden bei der Ziegelproduktion häufig auch Magerungsmittel verwendet. Hierfür kann eventuell auch Gesteinsmehl, welches im Zuge der Vortriebsarbeiten oder der Materialaufbereitung anfällt, herangezogen werden, wobei sich hierfür vorallem granitische und gneisige Gesteinseinheiten eignen. Der Eignungsnachweis sollte durch den potentiellen Abnehmer erfolgen. Mit Bohrkernproben der Wiener Linien konnten die oben angegebenen Grenzwerte für die Ziegelproduktion eingehalten werden.

1.2.3 Erkenntnisse aus Diskenschneidversuchen

Zur Erlangung der Kenntnisse über die entsprechenden geotechnischen Zusammenhänge zwischen Diskenschneidkräften, Penetrationen, Schneidspurabständen, Gefügeeigenschaften des Gesteins und dem Ausbruchverhalten wurden Versuche an Linearprüfständen in Österreich und der USA (Colorado School of Mines, welche Schwesteruniversität der Montanuniversität ist) durchgeführt.



Abbildung 1.5: Linear Cutter Tests

Die geotechnischen Eigenschaften des anstehenden Gesteins sind von den Gesteinsarten abhängig. Durch die Vortriebsart werden die Kornform und die Sieblinie des Ausbruchmaterials beeinflusst. Dies gilt vor allem für Vortriebe im Festgestein. Neben der Vortriebsart haben aber auch geologische Randbedingungen wie

- Trennflächen (z.B. Klüftung),
- Gebirgsdruck und
- Textur des Gesteins (Schieferungsgrad, Anisotropie)

Einfluss auf die Kornform und die Sieblinie des Ausbruchmaterials. Die Sieblinie eines maschinellen Vortriebs (hoher Feinkornanteil) unterscheidet sich wesentlich von jener eines NATM-Vortriebs (Grobkornanteil höher), was vor allem für die Abschätzung der für bestimmte Verwendungsmöglichkeiten zur Verfügung stehenden Massen von Bedeutung ist. Der Feinkornanteil des Ausbruchmaterials wird beim maschinellen Vortrieb durch den Anpressdruck der Disken beeinflusst. Ferner wurde festgestellt, dass mit der Aufbereitung eine weitere Verfeinerung des Ausbruchmaterials einhergeht. Der abschlämmbare Feinstanteil ($<0,063$ mm) kann nach der Aufbereitung bis zu 15 % der Gesamtmenge erreichen.

Vergleicht man die Sieblinie des Ausbruchmaterials des maschinellen Vortriebs mit den gemäß der Betonnorm einzuhaltenden Sieblinien, ist festzustellen, dass nur Teile des Ausbruchmaterials für die Betonproduktion verwendet werden können. Versuche bei einem TBM-Vortrieb (Durchmesser 5 m; in Granit) mit veränderlichen Schneidrollenabstand (86, 129, 172 mm) haben gezeigt, dass sich der Anteil grober Korngruppen mit zunehmenden Schneidrollenabstand (Diskenabstand) vergrößert.

Neben dem hohen Feinanteil ist für das TBM-Ausbruchmaterial in den groben Korngruppen eine plattig-ellipsoide Kornform (Chips) charakteristisch, was sich auf die Verarbeitbarkeit in der Betonproduktion negativ auswirkt. Versuche haben gezeigt, dass man auf diese Thematik mit einem auf das Ausbruchmaterial abgestimmten Verfahrensschritt reagieren könnte.

Der Zusammenhang zwischen Schneidrollenabstand und Sieblinie bzw. Kornform des Ausbruchmaterials wurde an den verschiedenen Lithologien mit Hilfe von Schneidversuchen mit unterschiedlicher Penetration sowie unterschiedlichen Schneidspurabständen an Linearprüfständen untersucht.

Aus den Untersuchungen zum Einfluss der Gefügeorientierung auf die anfallende Korngrößenverteilung lässt sich keine für alle Lithologien gleich zutreffende Aussage ableiten. Aus allen Untersuchungen wird deutlich, dass bei abnehmendem Schneidspurabstand der Feinkornanteil ansteigt.

Abbildung 1.6 illustriert die gesamten Bandbreiten der Siebkurven von den einzelnen Lithologien in den Gefügeorientierungen normal, parallel und schiefwinkelig zur Schieferung. Auffallend sind die hohen Feinkorngehalte (> 30 %) von Kalkglimmerschiefer (schwarz) und von Schiefergneis (blau), was mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die geringen Druckfestigkeiten (beide rund 80 MPa), sowie auf die hohen Glimmergehalte der beiden Lithologien zurückzuführen ist. Granitgneis (rot) und Augengneis (grün) zeigen den höchsten Grobkornanteil und weisen zudem die höchsten Druckfestigkeiten der untersuchten Lithologien auf. Zusätzlich geht aus den mineralogischen Untersuchungen hervor, dass der Granit- und der Augengneis die grobkörnigsten Minerale in den Dünnschliffen aufweisen. Dies kann ein bestimmender Faktor für die Sieblinien des Ausbruchmaterials sein. Aus den Darstellungen mit konstant gehaltener Penetrationstiefe und variierendem Schneidspurabstand geht klar hervor, dass eine Zunahme des Schneidspurabstandes zu einer gröberen Sieblinie führt. Aus den Ergebnissen ist ferner abzuleiten, dass die Penetrationstiefe auf den Verlauf der Korngrößenverteilungskurve des anfallenden Materials einen wesentlich geringeren Einfluss als der Schneidspurabstand hat.

Auf Grund der Chip-Bildung des Ausbruchmaterials bedarf es zur Verwendung als Gesteinskörnung einem Aufbereitungsschritt, um den Rundungsgrad bzw. die Gedrungenheit der Körner zu verbessern. Nachteilig in diesem Schritt ist, dass dadurch eine Erhöhung des Feinanteiles bewirkt wird.

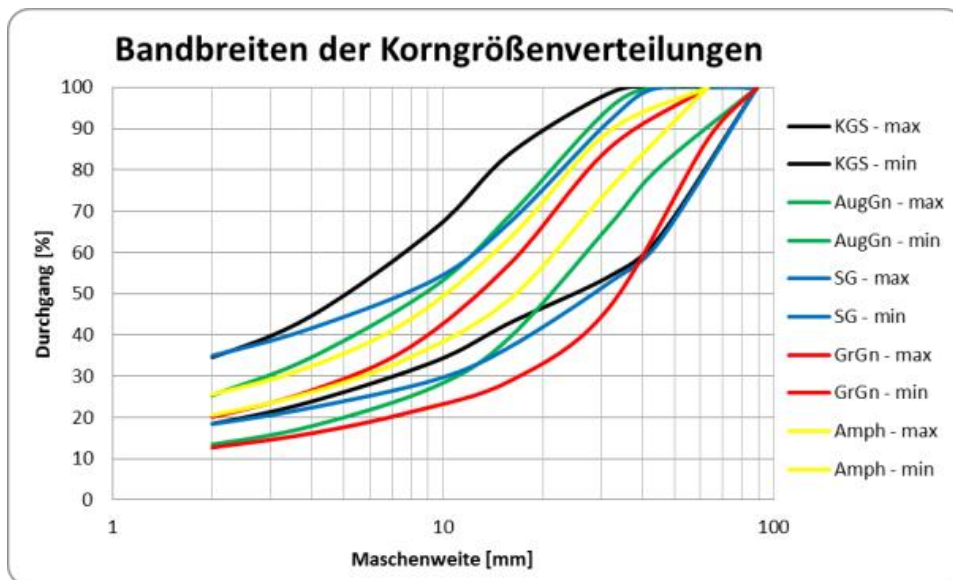


Abbildung 1.6: Bandbreiten der Korngrößenverteilungen von den untersuchten Lithologien

1.2.4 Auswirkung der Diskenschnitte auf die Härteverteilung sowie die Rissfortpflanzung

Ziel der Untersuchungen war es den Einfluss eines Schnittes mit einem Diskenmeißel, wie er im maschinellen Tunnelbau am Bohrkopf einer Tunnelbohrmaschine (TBM) verwendet wird, auf die geotechnischen Parameter geschieferter Gesteine zu bestimmen. Die Untersuchungen erfolgten bei unterschiedlichen Orientierungen der Schieferung zur Schneidspur.

Zur Klärung dieser Frage wurden im Projekt an drei Lithologien (Kalkglimmerschiefer, Augengneis und Schiefergneis) vor und nach dem Schneidversuch am Linearschneidprüfstand Schmidhammer Tests durchgeführt und die daraus erhaltenen Werte gegenübergestellt. Von denselben Probekörpern wurden anschließend Anschliffe und Dünnschliffe hergestellt, welche das Rissmuster sowie die Fortpflanzung der Risse beschreiben und erklären sollen.

Um den eigentlichen Bruchprozess im maschinellen Tunnelvortrieb besser verstehen zu können wurden aus drei Lithologien Probekörper, makro- und mikroskopisch, auf ihre Rissausbreitung nach dem Diskenschneidversuch analysiert. (siehe Abbildung 1.7).



Abbildung 1.7: Gezogener Bohrkern aus der Gesteinsprobe direkt unter dem Schnitt mit der Diske

Die Dünnschliffe wurden im Polarisationsmikroskop analysiert um die mikrostrukturelle Fortpflanzung der Risse erheben zu können. Die erzielten Ergebnisse zeigen gegenüber dem nicht vorbelasteten Probekörper eine deutliche Abnahme der Schmidhammer Resultate rund um die Schneidspur. Die Analysen der Rissmuster direkt unter den Diskenschnitten lieferten durchwegs konstante Ergebnisse.

In Abhängigkeit des Gesteines variiert die Breite des Bereiches der Härteabnahme. In Abhängigkeit von der Schieferungsrichtung wurde ein signifikanter Härteabfall in Richtung der einfallenden

Schieferung festgestellt, aber kaum geringere Rückprallwerte auf der gegenüberliegenden Seite der Schneidspur, was darauf schließen lässt, dass sich die Mikrorisse im Gestein, welche durch die Belastung mit dem Diskenmeißel entstehen, vorwiegend entlang der Schieferung respektive der Glimmerbahnen fortpflanzen. Dies wurde durch die Untersuchungen an den Dünnschliffen und Anschliffen unter der Schneidspur bestätigt. Auffällig ist, dass die Mikrorisse durch die Minerale bei den verschiedenen Lithologien bis in stark unterschiedliche Tiefenniveaus nachweisbar sind.

Neben der Gefügeorientierung (im Streichen der Schieferung tiefere Schädigung als normal auf die Schieferung) ist die Mineralogie der wesentliche Einflussparameter für die Entwicklung der Schädigungszonen. Gesteine mit hohen Glimmergehalten, wie z.B. Schiefergneis, zeigen nur eine kleine Zone mit stark aufgelöstem Kornverband.

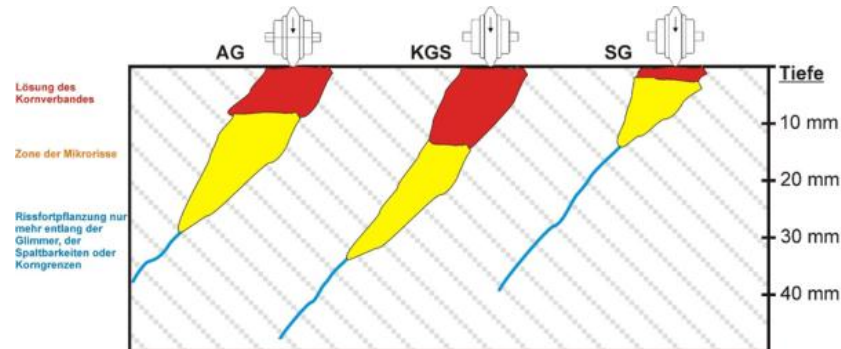
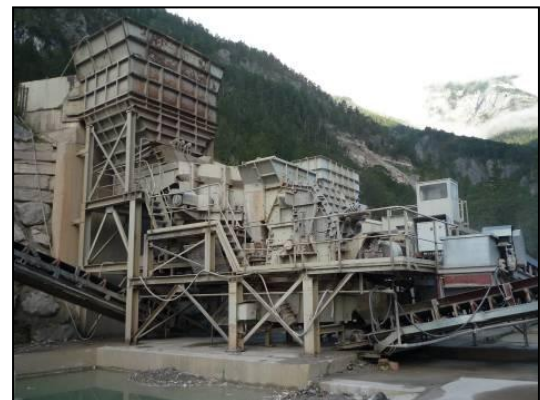


Abbildung 1.8: Schematische Darstellung der Ausprägung der Risse in der Tiefe. Rot bezeichnet die vollkommene Auflösung des Kornverbandes (Zermalmungszone); gelb bezeichnet die Zone, in der nach unten hin abnehmend Mikrorisse durch einzelne Minerale vorkommen; blau bezeichnet die Zone in der sich die Risse nur mehr entlang der Glimmerbahnen, entlang der Korngrenzen oder entlang der Spaltbarkeiten von Mineralen ausbreiten.

1.2.5 Aufbereitungstechnik

Um möglichst praxistaugliche Versuchsergebnisse hinsichtlich des erzielbaren aufbereiteten Materials zu erlangen, wurden von allen untersuchten Lithologien 30 Tonnen zur Aufbereitungsanlage Sulzau transport und dort großtechnisch bearbeitet.

Abbildung 1.9: Großtechnische Aufbereitungsversuche in der Anlage „Sulzau“



1.2.5.1 Aufbereitungstechnik für Tunnelausbruchmaterial – Grundsätze

Für die Aufbereitung des aus dem Tunnel gewonnenen Materials können prinzipiell dieselben Anlagen und Maschinen genutzt werden, wie sie auch in Aufbereitungsanlagen eines Bergbaubetriebes verwendet werden. Einschränkungen ergeben sich durch die begrenzte Verfügbarkeit an Baustelleneinrichtungsflächen und durch die relativ kurze Einsatzdauer der Anlagen. Die Aufbereitungstechnik basiert auf folgender Prozesskette:

- Antransport des Ausbruchmaterials gleisgebunden, mittels Förderband oder LKW
- Zerkleinerung
- Klassierung des gebrochenen Materials
- Eventuell Abtrennung von störenden Mineralen, z.B. Glimmer
- Lagerung des gesiebten und fraktionierten Materials

1.2.5.1.1 Zerkleinerungsaggregate für Ausbruchmaterial

Für die Zerkleinerung des Ausbruchmaterials kommen auf Tunnelbaustellen, abhängig vom Größtkorn des Ausgangsmaterials und von der vorgesehenen Verwendung des zerkleinerten Produktes, diverse Brecherarten zur Anwendung. Die für den Tunnelbau wichtigsten zeigt Tabelle 1..



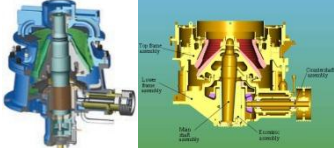
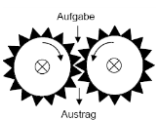
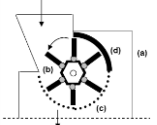
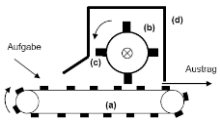
| Brechertypen | | |
|---|---|--|
| Backenbrecher | Prallbrecher | Kegelbrecher |
|  |  |  |
| Walzenbrecher | Hammerbrecher | Schlagwalzenbrecher |
|  |  |  |

Tabelle 1.9: Brechertypen für den Einsatz auf Tunnelbaustellen

Der Einsatz der Brecher ist sehr genau auf die zu produzierende Produktpalette und die dabei geforderten Qualitäten abzustimmen. Die Wahl eines geeigneten Brechers ist u.a. von folgenden Randbedingungen abhängig:

- Gesteinseigenschaften (z.B. Gesteinshärte, Tongehalt, Anteil schleißender Bestandteile)
- Durchsatzrate (Menge des Materials, welches pro Zeiteinheit zerkleinert werden soll)
- Zerkleinerungsgrad (Verhältnis Größtkorn (GK) der Aufgabe zu GK des Brecherausstrags)
- Maulweite (Abhängig vom Größtkorn)
- Anschaffungs- und Wartungskosten

Von besonderer Bedeutung für die Wahl des Brechertyps ist das Zerkleinerungsverhalten des zu zerkleinernden Materialstromes, weshalb eine sorgfältige Untersuchung der natürlichen Bruchcharakteristik des Gesteins dringend empfohlen wird.

1.2.5.1.2 Siebklassierung

Unter dem aufbereitungstechnischen Grundprozess „Klassierung“ versteht man das Trennen disperser Körnerkollektive nach der Korngröße. Auf Baustellen werden auf Grund der Aufgabekorngröße hauptsächlich Siebe verwendet. Die wichtigsten Siebe sind Plansiebe, Wurfsiebe und Trommelsiebe.

1.2.5.1.3 Kornrundung

Generell gilt, dass die Kornform nur innerhalb eingeschränkter Grenzen beeinflussbar ist, was auf der natürlichen Bruchcharakteristik gründet. Für die Herstellung von kubisch geformten Körnern ist bei der Zerkleinerung eine hohe Beanspruchungsgeschwindigkeit (durch Schlag oder Prall) tendenziell von Vorteil, wohingegen eine langsame Beanspruchung (durch Druck) zu eher plattigen Körnern führt. Deshalb kann beim Einsatz von Backenbrechern in der Primärzerkleinerung eine weitere Stufe mit einer Schlag- oder Prallzerkleinerung zweckmäßig sein.

Zur Erzielung einer kubischen Kornform können Friktionstrommeln und Vertikalbrecher verwendet werden. Die bei diesem Prozessschritt entstehenden Feianteile können mittels Hydrozyklon abgetrennt werden.

1.2.5.2 Materialaufbereitung auf der Baustelle

Aufgrund der durchschnittlich möglichen Nutzungsdauer einer Aufbereitungsanlage von ca. 25 Jahren muss bei einer Installation solcher Anlagen auf der Baustelle auch eine Nachnutzung für die Anlagenteile vorgesehen werden. Die Hauptbestandteile der Anlage sind Brecher und Siebe, welche aufeinander abgestimmt eingesetzt werden müssen. Die Wahl der Bestandteile einer Aufbereitungsanlage sowie deren Abfolge im Betrieb sind wesentlich von der

- Gesteinsart (karbonatisches oder kristallines Gestein) sowie von den
- Eigenschaften des Ausbruchmaterials und den
- geforderten Eigenschaften der zu produzierenden Gesteinskörnungen

abhängig. Bei den Eigenschaften des Ausgangsmaterials sind vor allem Gesteinhärte, Gehalt an schleißenden Bestandteilen, Kornform sowie die Sieblinie maßgebend. Diese Parameter werden durch die geologischen Gegebenheiten sowie durch die Vortriebsmethode bestimmt.

1.2.5.3 Ausschreibung der Aufbereitungsanlage

Aufgrund der speziellen Anforderungen, aber auch um Ausführungsvarianten der Hersteller von Aufbereitungsanlagen zu ermöglichen, wird eine funktionale Ausschreibung von Aufbereitungsanlagen empfohlen. Grundlage einer funktionalen Ausschreibung sollten dabei folgende Angaben sein

- Aufzubereitende Rohmaterialmengen der Gesamtbaustelle, Bandbreite der Rohmaterialsieblinien auf Grund von Vorversuchen
- Terminprogramm mit Terminen für Bauphase, Inbetriebnahme, Testphase, Produktionsphase, Demontagephase
- Minimalanforderungen an das Produktionsprogramm mit Produktions- bzw. Abgabemengen von einzelnen Fraktionen pro Stunde, pro Tag, pro Woche, pro Monat
- Betriebssicherheitsfaktoren (Maximale Ausfallzeit der Anlage durch technische Mängel)
- Schnittstellen zu anderen Losen (Tunnelbaulos, Deponiebaulos etc.)
- Zur Verfügung stehende Flächen mit Deponieflächen, Verkehrsflächen, Wasserbezugspunkten, Abwasserabgabepunkten, Strombezugspunkten
- Minimalanforderungen bezüglich Silo- und Außenlagerkapazitäten für Rohmaterial (Tunnelausbruch) und Fertigprodukte (Fraktionen)
- Einzuhaltende Umweltschutzvorgaben (Lärm, Staub, Gewässerschutz, Abfall, Luftreinhaltung, Verkehr, Siedlungen)
- Wasserbezugskosten und Strombezugskosten

1.3 Prinzipielle Verwendungsmöglichkeiten und Anforderungen an Ausbruchmaterial als mineralischer Rohstoff

Die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial ist wesentlich abhängig von den technischen Materialanforderungen der unterschiedlichen Verwendungsszenarien. Ausgehend von Normen, Richtlinien, Forschungs- sowie Praxisberichten werden im Folgenden für unterschiedliche Verwendungsszenarien einzuhaltende Materialanforderungen zusammengestellt.



Abbildung 1.10: Randbedingungen der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial (Jodl & Resch, 2012)

Generell ist darauf hinzuweisen, dass für den Nachweis einer möglichen Verwendung des Ausbruchmaterials eine mehrstufige Untersuchungsabfolge erforderlich ist. Erste Untersuchungen sollten bereits in ersten Projektierungsüberlegungen an Gesteinskörnungen aus Probebohrungen erfolgen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollten in der Folge weitere Untersuchungen an größeren Materialmengen durchgeführt werden. Wird die Eignung des Ausbruchmaterials für eine spezielle Verwendung mithilfe von Untersuchungen (Eignungsprüfungen) nachgewiesen, ist auch ein Abweichen von den in Richtlinien und Normen angegebenen Materialanforderungen möglich. Die Materialanforderungen bilden die Grundlage für die Entscheidungskriterien der Bewertungsmatrix. (siehe Kapitel 1.4.1).

1.3.1 Anwendungsgebiete und Verwendungsszenarien

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden die großtechnisch aufbereiteten Lithologien an die im Forschungsprojekt involvierten Labors übermittelt. Nachstehend sind die Resultate der entsprechenden Untersuchungen zusammenfassend dargelegt.



Abbildung 1.11: Großtechnisch aufbereitete Fraktionen

Von jeder Gesteinsart sind verwendungstechnische Parameter zu erheben, zu untersuchen und zu definieren. Damit sind folgende Verwendungsbereiche zu untersuchen:

- **Direkte Verwendung als Zuschlagstoff für die Betonherstellung im Bereich des Tunnelprojektes aus dem sie stammen.**

Bei der Betonherstellung kann Rundkies (Alluvialkies) ganz oder teilweise durch den Einsatz von gebrochenem Material von Tunnelausbruchmaterialien substituiert werden (Splittbeton).

Die Qualität von Splittbeton ist von der mineralogischen und geochemischen Zusammensetzung des gebrochenen Gesteinsmaterials abhängig. Die Eigenschaften von Beton aus gebrochenem Karbonatmaterial sind ähnlich jenen von „Rundkiesbeton“. Der Einsatz von Brechermaterialien aus silikatischen kristallinen Gesteinen (silikatische Metamorphite, granitische Gesteine) wird wesentlich durch den Anteil an qualitätsmindernden bzw. Beton unverträglichen Mineralen (Biotit, Muskovit, Chlorit, bestimmte Feldspäte, Tonminerale, sulfidische Erze etc.) und Alkali-Aggregat Reaktionen (AAR; Reaktionen des Zuschlagstoffes mit Zementstoffen im Porenraum) bestimmt. Letzteres gilt auch für Brechermaterialien aus Sedimentgesteinen mit silikatischen Gesteinskomponenten.

Systematische Untersuchungen in der Schweiz zeigten, dass silikatische kristalline Lithologien in Abhängigkeit ihrer petrographischen Zusammensetzung unterschiedliche Eignungen für Splittbeton besitzen, die auch regionalen Schwankungen unterworfen sind. Generell wird festgestellt, dass das internationale Normenwerk diesen Verhältnissen zu wenig gerecht wird. Es wird empfohlen, die wesentlichen Lithologien der für eine Bearbeitung anstehenden Projekte auf ihre Eignung für Splittbeton bzw. den partiellen Ersatz von Rundkies durch Brechprodukte zu untersuchen.

Dazu sollten Prüfverfahren verwendet werden, die auf den Schweizer Erfahrungen aufbauen bzw. speziell weiter entwickelt werden. Ferner wäre zu untersuchen, inwieweit parallel zu betontechnischen Prüfverfahren auch Bewertungsverfahren entwickelt werden können, die die Eignung von Gesteinen für Splittbeton und ihre AKR-Gefährdung aus petrographischen, geochemischen, gefügekundlichen, petrophysikalischen Gesteinsparametern (z.B. Abriebs- und Schlagfestigkeit, Brechverhalten) sowie Körnungsmischungen ableiten und somit prognostizierend die Eignung von Brechmaterialien für Splittbeton bewerten können.

- **Verwendung in rohstoffverarbeitenden Betrieben**

Dazu ist erforderlich, dass die rohstoffverarbeitenden Betriebe im Projektgebiet samt den von ihnen benötigten mineralischen Rohstoffen und deren Eignungskriterien erfasst werden. Die in den Tunnelprojekten anstehenden Hauptlithologien sind dahingehend zu untersuchen.

Die Größenordnung der maximalen Transportstrecke ist unter Bedachtnahme der Ressourcenschonung, des Landschaftsschutzes und der CO₂-Relevanz zu diskutieren. Auch der Transport auf der Schiene ist zu beachten!

Ferner ist ein Einsatz des Tunnelausbruchmaterials als Rohstoff für Spezialverwendungen, die größere Transportweiten erlauben zu überprüfen. Dazu wäre es erforderlich die österreichweit vorhandenen Unternehmen zu erheben, die höherwertige mineralische Rohstoffe verarbeiten. Die Tunnellithologien sind dahingehend zu untersuchen bzw. zu bewerten.

Den unterschiedlichen **Festgesteinsgruppen** können mit Ausnahme einer großstückigen Verwendung exemplarisch folgende Verwendungspotentiale zugeordnet werden.

| Festgesteinsgruppe | Verwendungspotential | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|---|--------------------------------------|------------------------------|------------|-------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------|--------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | Zuschlagstoff für karbonatischen Splittbeton | Zuschlagstoff für silikatischen Splittbeton | Zuschlagstoff für metallurgische Prozesse | Gesteinsmehle für die Landwirtschaft | Schmelzbasalt, Mineralfasern | Flußmittel | Filterstoff | Wasseraufbereitung | Zementrohstoff | Glaserstellung | Futtermittel | Umweltbereich (Wasser, Boden, Luft) | Chemische Industrie | Nahrungsmittelindustrie | Füllstoffe | Feuerfestindustrie | Farben-, Lackindustrie | Beton- und Mörtelindustrie, Körnungen | Gleisschotter |
| Karbonatgesteine (Kalke, Dolomite) | x | | x | x | | | | x | | | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| Karbonatische Metamorphite (Marmore) | x | | x | x | | | | x | | | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| Silikatische Metamorphite | | x | | x | | | | x | | | | | | | | | | | |
| Vulkanite: basische V. | | | | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | x |
| Vulkanite: saure V. | | | | x | | x | | x | x | | | | | | | | | | |
| Plutonite (Granite) | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | x |

Tabelle 1.10: Verwendungspotentiale verschiedener Festgesteinsgruppen

Die Aufstellung beinhaltet nicht die „großstückigen“ Verwendungsbereiche wie Werkstein, Dekorstein, Gleisschotter oder Flussbausteine.

Für die wichtigsten **Lockersedimente** besteht folgendes Haupt-Verwertungspotenzial:

- Rundkies, Sande: Beton, Mörtel
- Mergel: Zementindustrie
- Tone: Ziegel-, Zement-, Blähton, Umwelttechnik, Deponiebau
- Quarzsande: Glas-, Zement-, Keramik-, Farben-, Lackindustrie, Filtermaterialien

Spezialtone (Kaolin, Bentonit etc.) sind nicht berücksichtigt.

- **Weitere Verwendungspotentiale lassen sich in folgenden Großgruppen zusammenfassen:**
 - Einsatz als Schüttmaterial bei Bauvorhaben im Nahbereich des Tunnelprojektes
 - Verwendung als Betonzuschlag in tunnelfremden Anlagen

1.3.2 Betonversuche zur Nutzbarmachung des Tunnelausbruchmaterials im Anwendungsbereich der Betonherstellung

Die MVA Strass wurde gemeinsam mit dem VÖZfi und der BPV mit der Untersuchung der Gesteinskörnungen Augengneis, jenen der Hohen Tauern Randzone sowie Biotit Plagioklas Gneis für die Verwendung als Gesteinskörnung in der Betonherstellung betraut. Die Untersuchungen unterteilten sich in Untersuchungen der Betonausgangsstoffe und in die Überprüfung der geforderten Betoneigenschaften markanter, für den Tiefbau typischer Betone, mit Nachweis am Festbeton.

1.3.2.1 Ergebnisse des Forschungsinstitutes MV Strass

Die Gesteinskörnungen wurden projektspezifisch entnommen und zentral großtechnisch aufbereitet. Die Aufbereitung erfolgte mehrstufig durch eine Backenbrecher - Prallmühle - Kombination (Aufbereitungsart x.1), bzw. Backenbrecher - Kegelbrecher - Kombination (Aufbereitungsart x.2) mit anschließender Nassklassierung. Das Referenzmaterial stammt aus dem Bestand eines Kiesaufbereiters u. Betonherstellers, die Aufbereitung des Referenzmaterials erfolgte mittels Nassklassierung.

1.3.2.1.1 Untersuchung der Ausgangsmaterialien

Am Ausgangsmaterial wurden folgende Untersuchungen durchgeführt bzw. Parameter ermittelt: Sieblinien der Gesteinskörnung, Schlämmanalyse, Kornrohichte im wassergesättigten Zustand, Wasseraufnahme und Kernfeuchte, Kornform Kies, LA-Koeffizient, Abriebbereitschaft der Gesteinskörnung

1.3.2.1.2 Untersuchungen am Beton

Für die Untersuchungen am Beton wurden unter Heranziehung der großtechnisch aufbereiteten Ausbruchmaterialien zuerst Vorversuche mit entsprechenden Rezepturvorgaben und im Anschluss Optimierungsversuche durchgeführt.

- Vorversuche
 - Rezepturvorgabe - Innenschalenbeton C25/30(56)/IGP
 - Rezepturvorgabe - Tübbingbeton C35/45/C2/XF3/XC4/GK16
 - Rezepturvorgabe - Weisse Wanne Beton BS1C C20/25(56)/BS1C
- Optimierungsversuche

1.3.2.1.3 Zusammenfassende Darlegung der Ergebnisse der MV Strass

Mit den sechs unterschiedlichen Lithologien wurden zunächst Untersuchungen hinsichtlich der Eignung der aufbereiteten Gesteinskörnungen durchgeführt. Ferner wurden mit den aufbereiteten Gesteinskörnungen repräsentative Betone für den Tiefbau hergestellt und die Anforderungen entsprechend den Klassen am Festbeton nachgewiesen.

Die großtechnisch aufbereiteten Gesteinskörnungen wiesen unabhängig vom Brechvorgang keine für die Betonherstellung schädlichen Bestandteile (säurelösliches Sulfat, wasserlösliches Chlorid, Huminstoffe, Phosphate) auf. Es konnte mit beiden Aufbereitungsarten (Backenbrecher – Kegelbrecher und Backenbrecher – Prallmühle) eine günstige Kornform hergestellt werden. Durch einen gut adaptierten Klassierungsvorgang konnten mit allen sechs unterschiedlichen Lithologien nach der Aufbereitung günstige Kornverteilungen für die Betonherstellung produziert werden. Untersuchungen der Alkali Kieselsäure Reaktivität auf Basis des Schnelltests (ÖNORM B 3100) zeigten, dass alle Lithologien mit Ausnahme des Biotit-Plagioklas-Gneises, für alle geprüften Betonanwendungen (Expositionen) verwendbar sind.

Die Eignung der aufbereiteten Gesteinskörnung zur Herstellung tiefbauspezifischer Betone wurde anhand von drei repräsentativen Betonsorten für die Anwendung als Innenschalenbeton, Tübbingbeton und Weisse Wannenbeton, untersucht. Nach Rezepturausarbeitung und Optimierung der Zusammensetzung wurde jede Betonsorte hinsichtlich Festigkeitsklasse und Expositionsklassen am Festbeton geprüft.

Für die geprüften Betone konnten mit üblichen Bindemittelgehalten folgende Festigkeitsklassen nachgewiesen werden:

- Innenschalenbeton C25/30(56)
- Tübbingbeton C35/45(56)
- Weisse Wannen Beton im Allgemeinen C20/56(56) – in einem Ausnahmefall C16/20(56)

An Festbetonproben konnten folgende Expositionsklassen nachgewiesen werden:

Innenschalenbeton

- Ausschalfestigkeit und Temperaturanstieg gem. Richtlinie Innenschalenbeton
- Frostbeständigkeit XF3 (L300)
- Schwinden (Informationswert)
- Wassereindringtiefe XC4

Tübbingbeton

- Temperaturanstieg als Informationswert
- Abhebefestigkeit als Informationswert
- Frostbeständigkeit XF3 (L300)
- Wassereindringtiefe XC4

Weisse Wannen Beton

- Temperaturanstieg gem. Richtlinie Weisse Wannen
- Frostbeständigkeit XF4 (L300, AF)
- Schwinden (Informationswert)
- Wassereindringtiefe XC4

Es konnte gezeigt werden, dass mit allen sechs Gesteinstypen die Herstellung von Tunnelbetonen möglich ist, die den Anforderungen des Tunnelbaus entsprechen. Angemerkt muss werden, dass die Herstellung von Frost-Tausalz-beständigen (XF4) Weisse Wannenbetonen – diese entsprechen der

Betonsortenbezeichnung BS1C – hinsichtlich der Eigenschaften und Verarbeitbarkeit der Ausbruchmaterialien im Grenzbereich liegt. Den Untersuchungen wurden folgende Normen und Regelwerke zugrunde gelegt:

- Beton: ÖNORM B 4710-1:2007
- Probenahme: ONR 23303:2010
- Gesteinskörnung: ÖNORM EN 12620:2008
- Frischbeton: ONR 23303:2010
- Festbeton: ONR 23303:2010
- AKR: ÖNORM B 3100:2008

1.3.2.2 Ergebnisse des VÖZfi

1.3.2.2.1 Gesteinskörnungen

In Tabelle 1.1111 sind die Ergebnisse der Prüfungen hinsichtlich Kornformkennzahl, der Rohdichte und der Wasseraufnahme an den Gesteinskörnungen zusammenfassend dargelegt.

| Bezeichnung | SI Gesamt [%] | Rohdichte ρ [g/cm ³] | Wasseraufnahme [%] |
|-----------------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------|
| Gestein 4.1, Fraktion 0/4 | - | 2,81 | 0,5 |
| Gestein 4.1, Fraktion 4/8 | 20 | 2,84 | 0,4 |
| Gestein 4.1, Fraktion 8/16 | 23 | 2,84 | 0,3 |
| Gestein 4.1, Fraktion 16/32 | 19 | 2,83 | 0,3 |
| Gestein 4.2, Fraktion 0/4 | - | 2,79 | 0,6 |
| Gestein 4.2, Fraktion 4/8 | 55 | 2,82 | 0,4 |
| Gestein 4.2, Fraktion 8/16 | 41 | 2,83 | 0,3 |
| Gestein 4.2, Fraktion 16/32 | 37 | 2,83 | 0,3 |
| Gestein 6.1, Fraktion 0/4 | - | 2,81 | 0,8 |
| Gestein 6.1, Fraktion 4/8 | 12 | 2,83 | 0,6 |
| Gestein 6.1, Fraktion 8/16 | 20 | 2,83 | 0,6 |
| Gestein 6.1, Fraktion 16/32 | 9 | 2,82 | 0,5 |
| Gestein 6.2, Fraktion 0/4 | - | 2,83 | 0,7 |
| Gestein 6.2, Fraktion 4/8 | 34 | 2,84 | 0,5 |
| Gestein 6.2, Fraktion 8/16 | 16 | 2,85 | 0,6 |
| Gestein 6.2, Fraktion 16/32 | 12 | 2,84 | 0,5 |

Tabelle 1.11: Zusammenfassung der Prüfungen der Gesteinskörnungen

In Tabelle 1.12 sind die Ergebnisse des AKR – Schnelltests zusammengefasst.

| Alter ab Initialmessung [Tage] | Dehnung [‰] | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| | Ausbruchmaterial Nr. | | | | | | |
| | 1.1 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | 6.1 | Ref. Ost |
| | MW | MW | MW | MW | MW | MW | MW |
| 14 | 0,5 | 0,7 | 2,0 | 1,0 | 0,8 | 0,2 | 1,0 |

Tabelle 1.12: Zusammenfassung Ergebnisse AKR – Schnelltest

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Gesteinskörnungen erfüllen bis auf Gesteinskörnung 3.1 die Anforderungen gemäß ÖNORM B 3100. Aufgrund der beim AKR – Schnelltest aufgetretenen Überschreitung der Anforderungen bei Gesteinskörnung 3.1 wurde mit dieser ein AKR – Langzeittest durchgeführt. Unter Zugrundelegung der Ergebnisse der Langzeitprüfung kann die Gesteinskörnung 3.1 bezüglich Alkali-Kieselsäurereaktion gemäß ÖNORM B 3100 nicht als unbedenklich beurteilt werden.

Tabelle 1.13 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse des modifizierten LA – Versuchs.

| Bezeichnung | | Durchgang Masseverlust in [%] | | | |
|-------------|----------|-------------------------------|------|------|-----|
| | | 4 | 8 | 16 | 32 |
| Gestein 4.1 | Änderung | 10,2 | 9,8 | 11,6 | 0,0 |
| Gestein 4.2 | | 11,1 | 9,8 | 3,4 | 0,0 |
| Gestein 6.1 | | 18,7 | 18,5 | 11,6 | 0,0 |
| Gestein 6.2 | | 26,5 | 27,2 | 14,0 | 0,0 |
| Ref. Ost | | 3,7 | 1,8 | 0,9 | 0,0 |

Tabelle 1.13: Zusammenfassung der Ergebnisse des modifizierten LA – Versuchs

Bei der FPIA – Messung wurde festgestellt, dass bei den Sieblinien im Feinstbereich Unterschiede erkennbar sind und dass bei der Ermittlung des Kornindex und der Rauigkeit eine Abhängigkeit von der gewählten Aufbereitungs- und Gesteinsart erkennbar ist.

1.3.2.2.2 Betontastversuche

1.3.2.2.2.1 Innenschalenbeton

In Tabelle 1.6 sind die wesentlichen Ergebnisse des Tastversuchs für den Innenschalenbeton (C25/30(56)/F52/IGP) zusammenfassend dargelegt:

| | | | Innenschalenbeton (C25/30(56)/F52/IGP) | | | | |
|------------------------|---------|----------------------|--|------|------|------|----------|
| | | | 4.1 | 4.2 | 6.1 | 6.2 | Referenz |
| Frischbeton-Temperatur | T10 | [°C] | 21,0 | 21,5 | 18,8 | 21,9 | 21,9 |
| | T90 | [°C] | 21,1 | 21,8 | 19,8 | 21,8 | 22,8 |
| Konsistenz | a10 | [cm] | 62 | 31 | 61 | 59 | 59 |
| | a90 | [cm] | 40 | 24 | 49 | 44 | 49 |
| Luftgehalt | L10 | [%] | 7,4 | 4,6 | 5,5 | 8,0 | 2,1 |
| | L90 | [%] | 5,4 | 3,3 | 4,0 | 5,3 | 3,8 |
| Frischbeton-Rohdichte | ρ10 | [kg/m ³] | 2339 | 2386 | 2401 | 2300 | 2352 |
| | ρ90 | [kg/m ³] | 2387 | 2421 | 2436 | 2391 | 2346 |
| Druckfestigkeit | 56 Tage | [N/mm ²] | 40 | 46 | 46 | 45 | 41 |

Tabelle 1.64: Zusammenfassung der Prüfungsergebnisse Tastversuch Innenschalenbeton

Die Ergebnisse der Tastversuche an der Betonsorte C25/30(56)/F52/IGP (Innenschalenbeton) zeigen, dass die Betonherstellung mit den verwendeten Ausbruchmaterialien grundsätzlich möglich ist.

1.3.2.2.2.2 Tübbing Beton

In Tabelle 1.7 sind alle Ergebnisse des Tastversuchs des Tübbing Betons (C35/45/C2/GK16/XF3/XC4) zusammenfassend dargelegt:

| | | | Tübbing Beton (C35/45/C2/GK16/XF3/XC4) | | | | |
|-----------------------|---------|----------------------|--|------|------|------|----------|
| | | | 4.1 | 4.2 | 6.1 | 6.2 | Referenz |
| Frischbetontemperatur | T10 | [°C] | 21,5 | 21,6 | 21,9 | 21,1 | 22,3 |
| | T90 | [°C] | - | - | - | - | - |
| Konsistenz | a10 | [cm] | 1,60 | 1,60 | 1,21 | 1,17 | 1,21 |
| | a90 | [cm] | - | - | - | - | - |
| Luftgehalt | L10 | [%] | 4,7 | 5,5 | 4,6 | 5,5 | 5,0 |
| | L90 | [%] | - | - | - | - | - |
| Frischbeton-Rohdichte | ρ10 | [kg/m ³] | 2420 | 2393 | 2454 | 2404 | 2352 |
| | ρ90 | [kg/m ³] | - | - | - | - | - |
| Druckfestigkeit | 28 Tage | [N/mm ²] | 75 | 70 | 67 | 69 | 59 |

Tabelle 1.75: Zusammenfassung Prüfungsergebnisse Tastversuch Tübbing Beton

Die Ergebnisse der Tastversuche an der Betonsorte C35/45/C2/GK16/XF3/XC4 (Tübbing Beton) zeigen, dass die Betonherstellung mit den Ausbruchmaterialien grundsätzlich möglich ist.

1.3.2.2.2.3 Weiße Wanne Beton

In Tabelle 1.86 sind alle Ergebnisse des Tastversuchs des Weiße Wannen Betons (C20/25(56)/F52/GK32/BS1C) zusammenfassend dargelegt:

| | | | Weiße Wanne (C20/25(56)/F52/GK32/BS1C) | | | | |
|------------------------|---------|----------------------|--|------|------|------|----------|
| | | | 4.1 | 4.2 | 6.1 | 6.2 | Referenz |
| Frischbeton-Temperatur | T10 | [°C] | 21,8 | 22,0 | 21,7 | 22,0 | 21,2 |
| | T90 | [°C] | 20,6 | 20,7 | 21,4 | 21,6 | 21,4 |
| Konsistenz | a10 | [cm] | 35 | 32 | 62 | 61 | 62 |
| | a90 | [cm] | 28 | 25 | 57 | 52 | 52 |
| Luftgehalt | L10 | [%] | 6,5 | 5,4 | 10,5 | 9,7 | 5,9 |
| | L90 | [%] | 4,5 | 4,9 | 6,9 | 7,2 | 5,0 |
| Frischbeton-Rohdichte | ρ10 | [kg/m ³] | 2390 | 2396 | 2257 | 2279 | 2309 |
| | ρ90 | [kg/m ³] | 2438 | 2414 | 2352 | 2375 | 2361 |
| Druckfestigkeit | 56 Tage | [N/mm ²] | 54 | 54 | 38 | 47 | 44 |

Tabelle 1.86: Zusammenfassung Prüfungsergebnisse Tastversuch Weiße Wannen Beton

Die Ergebnisse der Tastversuche an der Betonsorte (C20/25(56)/F52/GK32/BS1C (Weiße Wannen Beton) zeigen, dass die Betonherstellung mit den verwendeten Ausbruchmaterialien grundsätzlich möglich ist.

1.3.2.2.3 Betonoptimierungsversuch

Die Optimierung der Betonzusammensetzungen auf Basis der Leitbetone erfolgte im Wesentlichen durch Anpassung der verwendeten Zusatzmittel und Sieblinien.

1.3.2.2.3.1 Innenschalenbeton

Tabelle 1.97 zeigt eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Prüfungen der Betonoptimierungsversuche:

| | | | Innenschalenbeton | |
|------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-------|
| | | | C25/30(56)/F52/GK32/IGP | |
| | | | 4.1 | 6.1 |
| Frischbetontemperatur | T10 | [°C] | 22 | 21 |
| | T90 | [°C] | 22 | 22 |
| Konsistenz | a10 | [cm] | 62 | 61 |
| | a90 | [cm] | 43 | 42 |
| Luftgehalt | L10 | [%] | 3,0 | 5,2 |
| | L90 | [%] | 4,9 | 4,2 |
| Frischbetonrohddichte | ρ_{10} | [kg/m ³] | 2432 | 2381 |
| | ρ_{90} | [kg/m ³] | 2390 | 2414 |
| Frühfestigkeit ¹⁾ | 6 h | [N/mm ²] | 0,12 | 0,15 |
| | 8 h | | 0,43 | 0,42 |
| | 12 h | | 0,96 | 0,96 |
| Bluten | 130 min. | [kg/m ³] | 3,1 | 21,4 |
| Schwinden | Dehnung nach 8 Wochen | [%o] | -0,34 | -0,30 |
| Temperaturverlauf | max. Temp. | [°C] | 38,3 | 36,1 |
| | Temp. Anstieg | | 18,4 | 16,3 |
| Druckfestigkeit | 12 Std. | [N/mm ³] | 2 | 1 |
| | 18 Std. | | 3 | 5 |
| | 56 Tage | | 41 | 38 |
| XC3 | Wassereindringtiefe | [mm] | 6,8 | 7,4 |
| Luftporen-Kennwerte | L300 | [%] | 1,4 | 1,2 |
| | AF | [mm] | 0,30 | 0,40 |
| XF3 | Schalllaufzeit | | best. | best. |

Tabelle 1.97: Ergebnisse Betonoptimierung Innenschalenbeton

Die Ergebnisse der Betonoptimierungsversuche an der Betonsorte C25/30(56)/F52/GK32/IGP (Innenschalenbeton) entsprechen den Anforderungen an die Betonsorte.

1.3.2.2.3.2 Tübbing Beton

Tabelle 1.108 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Prüfungen der Betonoptimierungsversuche:

| | | | Tübbing Beton | |
|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-------|
| | | | C35/45/C2/GK16/XF3/XC4 | |
| | | | 4.1 | 6.1 |
| Frischbetontemperatur | T10 | [°C] | 25 | 23 |
| | T30 | [°C] | 24 | 22 |
| Konsistenz | v10 | [cm] | 1,02 | 1,25 |
| | v30 | [cm] | 1,27 | 1,28 |
| Luftgehalt | L10 | [%] | 3,8 | 5,0 |
| | L30 | [%] | 3,8 | 4,7 |
| Frischbetonrohddichte | ρ_{10} | [kg/m ³] | 2467 | 2396 |
| | ρ_{30} | [kg/m ³] | 2473 | 2416 |
| Temperaturverlauf | max. Temp. | [°C] | 51,6 | 48,5 |
| | Temp. Anstieg | | 28,2 | 26,9 |
| Druckfestigkeit | 28 Tage | [N/mm ³] | 75 | 63 |
| XC4 | Wassereindringtiefe | [mm] | 6,8 | 4,9 |
| Luftporen-Kennwerte | L300 | [%] | 0,9 | 0,8 |
| | AF | [mm] | 0,39 | 0,54 |
| XF3 | Schalllaufzeit | | best. | best. |
| Biegezugfestigkeit | 28 Tage | [MPa] | 7,5 | 8,2 |

Tabelle 1.108: Ergebnisse Betonoptimierung Tübbing Beton

1.3.2.3.3 Weiße Wanne Beton

Tabelle 1.119 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Betonoptimierungsversuche.

| | | | Weiße Wanne | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------|
| | | | C20/25(56)/F52/GK32/BS1C | |
| | | | 4.1 | 6.1 |
| Frischbetontemperatur | T10 | [°C] | 22 | 21 |
| | T30 | [°C] | 22 | 22 |
| Konsistenz | v10 | [cm] | 58 | 61 |
| | v30 | [cm] | 39 | 47 |
| Luftgehalt | L10 | [%] | 8,2 | 9,7 |
| | L30 | [%] | 5,6 | 6,2 |
| Frischbetonrohddichte | ρ_{10} | [kg/m ³] | 2335 | 2273 |
| | ρ_{30} | [kg/m ³] | 2410 | 2373 |
| Temperaturverlauf | max. Temp. | [°C] | 37,2 | 36,4 |
| | Temp. Anstieg | | 16 | 15 |
| Druckfestigkeit | 7 Tage | [N/mm ²] | 26 | 26 |
| | 28 Tage | | 41 | 38 |
| | 56 Tage | | 46 | 42 |
| XC4 | Wassereindringtiefe | [mm] | 7,8 | 12,9 |
| Luftporen-Kennwerte | L300 | [%] | 3,2 | 2,6 |
| | AF | [mm] | 0,11 | 0,19 |
| XF4 | Abwitterung | [g/m ²] | best. | best. |
| Schwinden | Dehnung nach 8 Wochen | [‰] | -0,36 | -0,36 |

Tabelle 1.119: Ergebnisse Betonoptimierung Weiße Wannen Beton

Die Ergebnisse der Betonoptimierungsversuche an der Betonsorte C20/25(56)/F52/GK32/BS1C (Weiße Wannen Beton) entsprechen den Anforderungen an die Betonsorte.

1.3.2.3 Ergebnisse der BPV

Auch von der BPV wurden Betonversuche mit den zur Verfügung gestellten Ausbruchmaterialien durchgeführt; die Ergebnisse sind nachstehend zusammenfassend dargelegt:

| | | | | 1.1 opt. | 5.1 opt. |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------|
| Rezeptur | Bindemittel | Zement | kg/m ³ | 260 | 260 |
| | | AHWZ | kg/m ³ | 60 | 60 |
| | Wasser | Gesamt | kg/m ³ | 185 | 185 |
| | | FM | % v. Z. | 2,44 | 0,77 |
| | Zusatzmittel | LP | % v. Z. | 0,69 | 0,21 |
| | | Gesteinskörnung | 0/4 | % | 39 |
| | 4/8 | | % | 17 | 15 |
| | 8/16 | | % | 12 | 13 |
| | 16/32 | | % | 32 | 30 |
| | Frischbetonkennwerte | Temperatur | T ₁₀ | °C | 20,0 |
| Konsistenz | | | f ₁₀ | cm | 60 |
| | | f ₃₀ | cm | 58 | 54 |
| | | f ₆₀ | cm | 56 | 48 |
| | | f ₉₀ | cm | 52 | 36 |
| Luftgehalt | | L ₁₀ | % | 4,5 | 5,5 |
| | | L ₉₀ | % | 3,5 | 4,5 |
| FB-Rohddichte | | ρ_{10} | kg/m ³ | 2334 | 2221 |
| | | ρ_{90} | kg/m ³ | 2350 | 2237 |
| Filtratwasserabgabe | | nach 15 Minuten | l/m ³ | 22,5 | 24,0 |
| | Festbetonkennwerte | Rohddichte | nach 12 Stunden | kg/m ³ | 2408 |
| nach 7 Tagen | | | kg/m ³ | 2406 | 2193 |
| nach 28 Tagen | | | kg/m ³ | 2355 | 2158 |
| nach 56 Tagen | | | kg/m ³ | 2281 | 2180 |
| Druckfestigkeit | | nach 12 Stunden | N/mm ² | 2,0 | 1,5 |
| | | nach 7 Tagen | N/mm ² | 17,8 | 14,3 |
| | | nach 28 Tagen | N/mm ² | 31,8 | 25,1 |
| | | nach 56 Tagen | N/mm ² | 33,3 | 28,9 |
| Wassereindringtiefe | | | mm | 18 | 11 |
| Luftporenkennwerte | | L300 | % | 2,3 | 1,6 |
| | Abstandsfaktor | mm | 0,27 | 0,29 | |
| Temperaturentwicklung | | K | 19,0 | 20,0 | |
| Frostprüfung | XF3 | | bestanden | bestanden | |
| Längenänderung | | ‰ | 0,42 | 0,41 | |

Tabelle 1.20: Innenschalenbeton C25/30(56)/F52/IGP

| | | | | 1.1 opt. | 5.1 opt. |
|-----------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------|----------|
| Rezeptur | Bindemittel | Zement | kg/m ³ | 380 | 380 |
| | | AHWZ | kg/m ³ | 0 | 0 |
| | Wasser | Gesamt | kg/m ³ | 165 | 165 |
| | Zusatzmittel | FM | % v. Z. | 1,05 | 0,36 |
| | | LP | % v. Z. | 0,37 | 0,18 |
| | Gesteinskörnung | 0/4 | % | 38 | 45 |
| | | 4/8 | % | 40 | 38 |
| 8/16 | | % | 22 | 17 | |
| 16/32 | | % | 0 | 0 | |
| Frschbetonkennwerte | Temperatur | T ₁₀ | °C | 21,0 | 20,0 |
| | Konsistenz | c ₁₀ | cm | 1,21 | 1,17 |
| | | c ₃₀ | cm | 1,22 | 1,19 |
| | | c ₆₀ | cm | 1,22 | 1,20 |
| | | c ₉₀ | cm | 1,23 | 1,21 |
| | Luftgehalt | L ₁₀ | % | 3,6 | 4,0 |
| | | L ₉₀ | % | 3,4 | 3,5 |
| | FB-Rohdichte | ρ ₁₀ | kg/m ³ | 2378 | 2332 |
| | | ρ ₉₀ | kg/m ³ | 2380 | 2341 |
| Festbetonkennwerte | Rohdichte | nach 7 Tagen | kg/m ³ | 2418 | 2370 |
| | | nach 28 Tagen | kg/m ³ | 2445 | 2370 |
| | | nach 56 Tagen | kg/m ³ | 2440 | 2356 |
| | Druckfestigkeit | nach 7 Tagen | N/mm ² | 37,5 | 42,4 |
| | | nach 28 Tagen | N/mm ² | 51,8 | 61,4 |
| | | nach 56 Tagen | N/mm ² | 55,0 | 69,4 |
| | Biegezugfestigkeit | nach 56 Tagen | N/mm ² | 5,2 | 6,8 |
| | Wassereindringtiefe | | mm | 20 | 10 |
| | Luftporenkennwerte | L300 | % | 2,3 | 3,2 |
| | | Abstandsfaktor | mm | 0,27 | 0,20 |
| Temperaturentwicklung | | K | 28,2 | 30,0 | |
| Frostprüfung | XF3 | | bestanden | bestanden | |

Tabelle 1.21: Tübbing-Beton C35/45/C2/GK16/XF3/XC4

| | | | | 1.1 opt. | 5.1 opt. |
|---------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------|----------|
| Rezeptur | Bindemittel | Zement | kg/m ³ | 270 | 270 |
| | | AHWZ | kg/m ³ | 70 | 70 |
| | Wasser | Gesamt | kg/m ³ | 170 | 170 |
| | Zusatzmittel | FM | % v. Z. | 2,02 | 1,11 |
| | | LP | % v. Z. | 1,78 | 1,04 |
| | Gesteinskörnung | 0/4 | % | 19 | 33 |
| | | 4/8 | % | 32 | 20 |
| 8/16 | | % | 17 | 17 | |
| 16/32 | | % | 32 | 30 | |
| Frschbetonkennwerte | Temperatur | T ₁₀ | °C | 20,0 | 20,0 |
| | Konsistenz | f ₁₀ | cm | 64 | 62 |
| | | f ₃₀ | cm | 62 | 58 |
| | | f ₆₀ | cm | 56 | 55 |
| | | f ₉₀ | cm | 49 | 52 |
| | Luftgehalt | L ₁₀ | % | 5,0 | 5,5 |
| | | L ₉₀ | % | 3,9 | 6,6 |
| | FB-Rohdichte | ρ ₁₀ | kg/m ³ | 2313 | 2269 |
| | | ρ ₉₀ | kg/m ³ | 2400 | 2150 |
| Filtratwasserabgabe | nach 15 Minuten | l/m ³ | 15,9 | 19,1 | |
| Festbetonkennwerte | Rohdichte | nach 7 Tagen | kg/m ³ | 2440 | 2137 |
| | | nach 28 Tagen | kg/m ³ | 2368 | 2194 |
| | | nach 56 Tagen | kg/m ³ | 2346 | 2201 |
| | Druckfestigkeit | nach 7 Tagen | N/mm ² | 23,1 | 11,2 |
| | | nach 28 Tagen | N/mm ² | 31,9 | 23,0 |
| | | nach 56 Tagen | N/mm ² | 38,9 | 28,0 |
| | Wassereindringtiefe | | mm | 14 | 18 |
| | Luftporenkennwerte | L300 | % | 2,1 | 3,1 |
| | | Abstandsfaktor | mm | 0,26 | 0,20 |
| | Temperaturentwicklung | | K | 18,0 | 17,5 |
| Frostprüfung | XF4 | | bestanden | bestanden | |
| Längenänderung | | ‰ | 0,69 | 0,41 | |

Tabelle 1.22: Weiße-Wannen-Beton C20/25(56)/F52/GK32/BS1C

Mit sämtlichen verwendeten Ausbruchmaterialien konnte eine Verwendung für die Herstellung der angestrebten Betonsorten nachgewiesen werden.

1.3.3 Ergebnisse der ARGE BAUTECH – Eignung von Tunnelausbruch als Ringspaltmörtel

Für die rheologischen Untersuchungen wurde der Viskomat PC der Firma Schleibinger verwendet. Dabei handelt es sich um einen Baustoff-Rheometer, der vor allem zur Bestimmung der Konsistenz von Suspensionen wie Zementleim, Zementmörtel, Betonmörtel und auch Putzen, Klebern, und ähnlichen Materialien geeignet ist.

Die beiden verwendeten Ringspaltmörtelzusammensetzungen lieferten ca. 10 Minuten nach der Herstellung ein Mörtelfließmaß von 11,5 bzw. 20,0 cm. Die errechneten Fließgrenzen liegen beim Ringspaltmörtel mit dem W/Z-Wert von 3,5 bei 25,5 Nmm und beim Ringspaltmörtel mit einem W/Z-Wert von 4,3 bei 4,6 Nmm. Hinsichtlich der gewählten Prüfmethode mit dem Viskometer ist anzumerken, dass bei unterschiedlichen Konsistenzen, Unterschiede von der Momentenaufnahme zu erkennen waren; für definitive Aussagen zur Eignung dieser Prüfmethode sollten unterschiedliche Ringspaltmörtelzusammensetzungen, verschiedene W/Z-Werte und Korrelationen zum zusätzlich gemessenen Mörtelfließmaß untersucht werden.

1.3.4 Untersuchungen zur Verwendbarkeit von Tonen des Raumes der Wiener Linien für die Ziegelherstellung

Der geologische Untergrund der Stadt Wien lässt sich aus geologisch-wissenschaftlicher Sicht in quartäre Lockersedimente, neogene Lockersedimente des Wiener Beckens und Festgesteine der Flyschzone und der Kalkalpen untergliedern. Ferner ist das Stadtgebiet von nord-süd-gerichteten Störungen und Brüchen, dem sog. Leopoldsdorfer Bruchsystem durchzogen. In den rezenten Donauschottern sind mächtige und ergiebige Grundwasserkörper anzutreffen. Als zusammenfassender Ausdruck für verschiedene Schluff-Tone von grünlich-grauer oder manchmal gelblicher Farbe wird die Bezeichnung Wiener Tegel verwendet. Die geologische Karte der Stadt Wien weist darauf hin, dass hinsichtlich Beschaffenheit des Bodenaushubmaterials kein U – Bahn Projekt mit einem anderen vergleichbar ist.

Die Probebohrungen der Linie U2 Nord zeigen, dass bis zu einer Tiefe von ca. 12 m Donauschotter, von 12 – 20 m Sande der unterschiedlichsten Formen und danach schluffige, teils tonige Schichten auftreten, die als Wiener Tegel bezeichnet werden.

Die Probebohrungen der geplanten Verlängerung der Linie U2 Richtung Süden zeigen einen vollkommen anderen Schichtaufbau. Bis zu einer Tiefe von rd. 8 m sind Anschüttungen aus den unterschiedlichsten Materialien (Kies, Steine, Ziegel, toniger Schluff) anzutreffen. Danach folgen bis in Tiefen von ca. 12 m die unterschiedlichsten Kiesansammlungen. Unterhalb von 12 m ist toniger Schluff vorzufinden, jedoch mit vielen Störzonen aus Feinsanden. Je weiter die Trasse Richtung Süden (Richtung Hauptbahnhof bzw. Gudrunstrasse) verläuft, umso homogener wird die Zusammensetzung des Wiener Tegels.

Die Probebohrungen der Verlängerung der U1 Richtung Süden zeigen einen markant unterschiedlichen Schichtaufbau zu den Probebohrungen der Linie U2 Nord. Ab einer Tiefe von ca. 2 m stehen schluffig, tonige Materialien an, die von meterdicken Sandschichten durchzogen sind; darunter folgt quasi homogenes Material bestehend aus tonig bis feinsandigem Schluff. Mit dem in dieser Tiefenlage anstehenden Material konnte eine Verwendbarkeit in der Ziegelproduktion nachgewiesen werden. Fraglich ist jedoch, ob diese Qualität kontinuierlich für eine Ziegelproduktion gewährleistet wäre.

1.3.5 Entwicklung einer neuen Prüfmethode zur Mürbkornbestimmung

1.3.5.1 Prüfmethodenentwicklung

Die Beurteilung des Mürbkorngehaltes eines Gesteins lt. ÖN B3304 erfolgt in unterschiedlichen Kornfraktionen, wird mit einem definierten Hammergewicht durchgeführt und auf Basis des Klages des Hammerschlages (dumpf bzw. hell) vom jeweiligen Prüfer auf mürbe bzw. nicht mürbe beurteilt. Diese Prüfmethode liefert rasch und auf einfachem Weg Festigkeit und Frostbeständigkeit des untersuchten Gesteins, hat jedoch den Nachteil der äußerst subjektiven Beurteilung des Hammerschlages durch den Ausführenden.

Im Rahmen der Entwicklung einer neuen Prüfmethode für die Mürbkornbestimmung wurde wie folgt vorgegangen:

- analog zur ÖN B3304 fallen lassen eines definierten Gewichtes aus einer definierten Höhe
- subjektive Beurteilung des Klages durch die Prüfmethodenentwickler
- Messung und Aufzeichnung der durch den Aufprall des Gewichtes frei werdenden Energie mit Hilfe eines Beschleunigungsaufnehmers in [mm/s²]
- unter Verwendung einer geeigneten Software Durchführung einer „Fast Fourier Transformation“, um die jeweiligen Amplituden in Abhängigkeit der Frequenzen zu erhalten
- Vergleich der Aufzeichnungen mit den subjektiven Wahrnehmungen
- Statistische Auswertung der Ergebnisse einer Versuchsreihe

Es hat sich gezeigt, dass die Unterschiede nicht am Anfang des Frequenzbandes, sondern erst bei ca. 3000 Hz auftreten. Gute Körner weisen hier wesentlich höhere Amplituden auf als mürbe Körner. Auf Grund der Beurteilung mehrerer Versuchsreihen kann festgehalten werden, dass die neue Versuchsmethode zur Mürbkornbestimmung einsatzfähig ist.

1.4 Verwendung von Tunnelausbruchmaterial - von der Planung bis zur Ausführung

1.4.1 Entscheidungsmatrix

Ausgehend von technischen, mineralogischen und chemischen Anforderungen an Gesteinskörnungen, sowie der im Bundesabfallwirtschaftsplan bzw. in der Deponieverordnung festgelegten chemischen Grenzwerte wurde eine Bewertungsmatrix zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Tunnelausbruchmaterial erstellt. Mithilfe der Bewertungsmatrix kann sehr die Eignung des Ausbruchmaterials für die Verwendung als

- Gesteinskörnung für die Betonproduktion,
- Gesteinskörnung für Tragschichten,
- Bahnschotter,
- Gesteinskörnung für Asphaltmischgut,
- Ziegelton und
- industrieller Rohstoff (von Kalkstein)
- etc.

in der Entwurfs- und Planungsphase eines Tunnelprojektes rasch bestimmt werden, denn es gilt der Grundsatz, dass der Nachweis der prinzipiellen Verwendbarkeit des Tunnelausbruchmaterials so früh wie möglich erfolgen sollte. Werden in der Frühphase der Planung einzelne Grenzwerte überschritten, bedeutet dies nicht gezwungenermaßen ein Ausscheiden der Verwendungsmöglichkeit des

Tunnelausbruchmaterials. In solchen Fällen muss die Verwendbarkeit des Ausbruchmaterials in der darauf folgenden Planungsphase genaueren Untersuchungen unterzogen werden.

| Technische Parameter | Chemische Parameter | Mineralogische Parameter | Sieblinie | BAWP/DepVO | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------|---------------------------------|
| Gesteinskörnungen für Betonproduktion | Gesteinskörnung für Tragschichten | Gesteinskörnungen für Bahnschotter | Gesteinskörnung für Asphaltmischgut | Ziegelton | Kalk als industrieller Rohstoff |

Tabelle 1.23: Navigationsleiste Bewertungsmatrix

Die für die Bewertung eines angedachten Verwendungsszenarios erforderlichen Eigenschaften des zu beurteilenden Ausbruchmaterials werden in Eingabeblättern abgefragt. Die eingegebenen Untersuchungsergebnisse werden in Ergebnisblättern den Anforderungen bzw. Grenzwerten für die gewählte Verwendung gegenübergestellt.

1.4.1.1 Gegenüberstellung der Beprobungsergebnisse mit Anforderungsprofilen der Industrie

| Probennummer | TT09001 | TT09002 | TT09003 | TT09004 | TT09005 | TT09006 |
|--|----------------------------------|--------------------------------|---|---|--------------------------------|------------------|
| Lithologie aus Gesteinsbeschreibung | merg. Kalk (Raibler) | Tonschiefer (Raibler) | Dolomit (Raibler) | dolom. Kalk (Wetterstein) | Dolomit (Wetterstein) | Kalk (Raibler) |
| Lithologie nach Chemie | Mg-Dolomit | - | Dolomit | Dolomit | Ca-Dolomit | Ca-Dolomit |
| Verwendungsmöglichkeiten | - | - | Roheisenerzeugung Füllstoff in der Farbenindustrie Seewasser-Magnesia-Herstellung | Roheisenerzeugung Bergwerks-"Kalk" Seewasser-Magnesia-Herstellung | Bergwerks-"Kalk" | Bergwerks-"Kalk" |
| TT09007 | TT09008 | TT09009 | TT09010 | TT09011 | TT09012 | |
| Kalk (Wetterstein) | Dolomit (Haupt) | Seefeld Dolomit | Seefeld Dolomit | Dolomitbreckzie (Haupt) | Dolomit (Haupt) | |
| Kalk | Dolomit | Dolomit | Dolomit | Dolomit | Dolomit | |
| Flussmittel bei Mineralwolle | Roheisenerzeugung | Roheisenerzeugung | Roheisenerzeugung | Roheisenerzeugung | Roheisenerzeugung | |
| Füllstoff in der Farbenindustrie | Füllstoff in der Farbenindustrie | Bergwerks-"Kalk" | Füllstoff in der Farbenindustrie | Bergwerks-"Kalk" | Bergwerks-"Kalk" | |
| Füllstoff in der Gummiindustrie | Bergwerks-"Kalk" | Seewasser-Magnesia-Herstellung | Bergwerks-"Kalk" | Seewasser-Magnesia-Herstellung | Seewasser-Magnesia-Herstellung | |
| Füllstoff für Nahrungsmittel, Kosmetik | Seewasser-Magnesia-Herstellung | | Seewasser-Magnesia-Herstellung | | | |
| Branntkalk | | | | | | |
| Bleichpulver | | | | | | |
| Filterbetten | | | | | | |
| Landwirtschaft | | | | | | |
| Kalkammonsalpeter | | | | | | |
| Portlandzement (Deutschland) | | | | | | |

Tabelle 1.24: Zusammenstellung der Verwendungsmöglichkeiten nach chemischer Analyse

Obenstehende Tabelle zeigt Ergebnisse der Entscheidungsmatrix bei ausschließlicher Betrachtung der chemischen Zusammensetzung der Gesteine. Es lassen sich somit aus dem Tunnelausbruch auch Verwendungsmöglichkeiten der Gesteinskörnung außerhalb eines Einsatzes für Mörtel und Beton ableiten.

1.4.1.2 Vorgehensweise bei prinzipieller Eignung des Ausbruchmaterials

Es wird empfohlen, anhand der Vorerkundungs- und Voruntersuchungsergebnisse technische Datenblätter bezogen auf das später zu erwartende Ausbruchmaterial zu erstellen. Diese Datenblätter sollen folgende Inhalte umfassen:

- Allgemeine Orts-, Zeit-, und Mengenangaben
- Ergebnisse der Voruntersuchung
- Einteilung des Untertagebauprojektes in Rohstoffzonen nach Art und möglicher Nutzung

Sollten anhand der Vorabinformationen über die Datenblätter Interessenten für den entsprechenden Rohstoff gefunden werden, so sind im Weiteren die zusätzlichen technischen Bedingungen und Abnahmemodalitäten festzulegen.

1.4.2 Baustellenorganisation

1.4.2.1 Planungsschritte der Materialverwendung und Materialbewirtschaftung

Um die Ziele der Nutzung von Tunnelausbruchmaterial, das sind

- die maximale Verwendung des anfallenden Ausbruchmaterials,
- die optimale Wirtschaftlichkeit der gesamten Materialbewirtschaftung sowie
- die Minimierung der Umweltbelastung durch Materialtransport und -aufbereitung

zu erreichen, ist die Berücksichtigung der Verwendung im gesamten Planungsprozess eines Projektes erforderlich.

Die Materialbewirtschaftung umfasst die Themengebiete Materialtransport, Materialzwischen- bzw. -ablagerung sowie die Materialaufbereitung.

Im Falle der Verwendung von Ausbruchmaterial steht heute mit oberster Priorität die Verwendung des Ausbruchmaterials als Gesteinskörnung für die Betonproduktion sowie als Schüttmaterial direkt auf der Baustelle im Vordergrund.

Einer Verwendung des Ausbruchmaterials als industrieller Primärrohstoff steht heute der Umstand gegenüber, dass Tunnelausbruchmaterial grundsätzlich in das Abfallregime fällt und die industrielle Anlage damit zur Abfallbehandlungsanlage wird, unabhängig davon, ob das Tunnelausbruchmaterial qualitativ einem Primärrohstoff entspricht oder nicht.

Die beiden nachstehenden Abbildungen zeigen Flussdiagramme, die einerseits den Ablauf in der Materialbewirtschaftung auf der Baustelle und andererseits einen optimierten Ablauf in der Erkundungs-, Planungs- und Ausführungsphase darlegen.

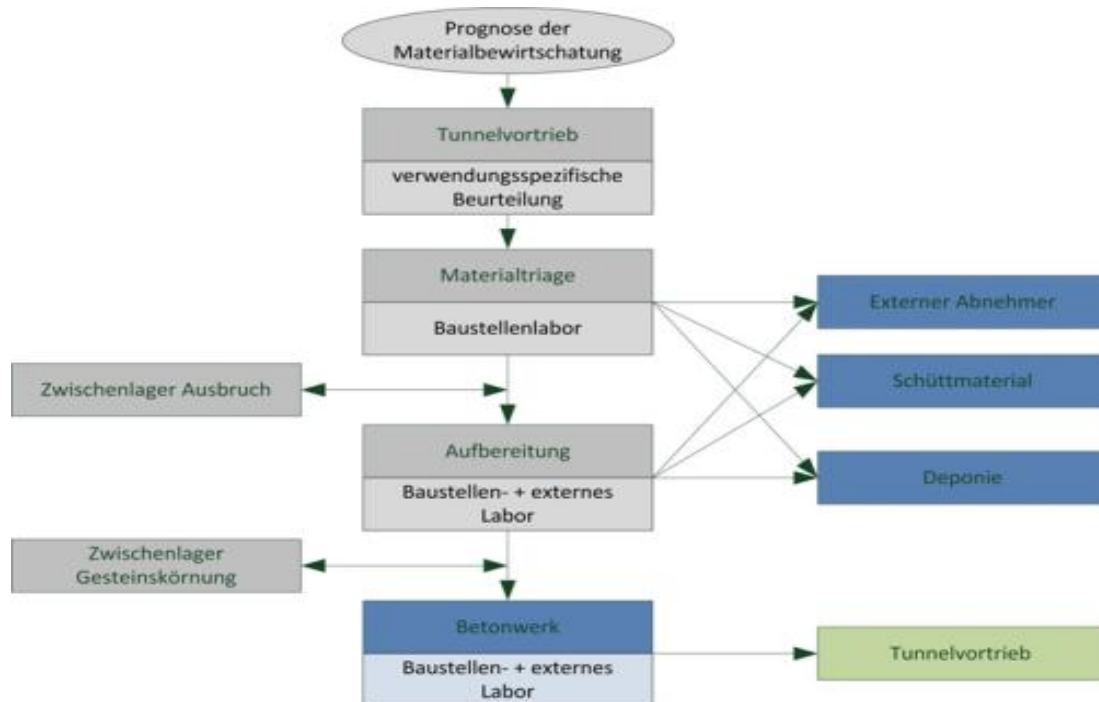


Abbildung 1.12: Materialbewirtschaftung

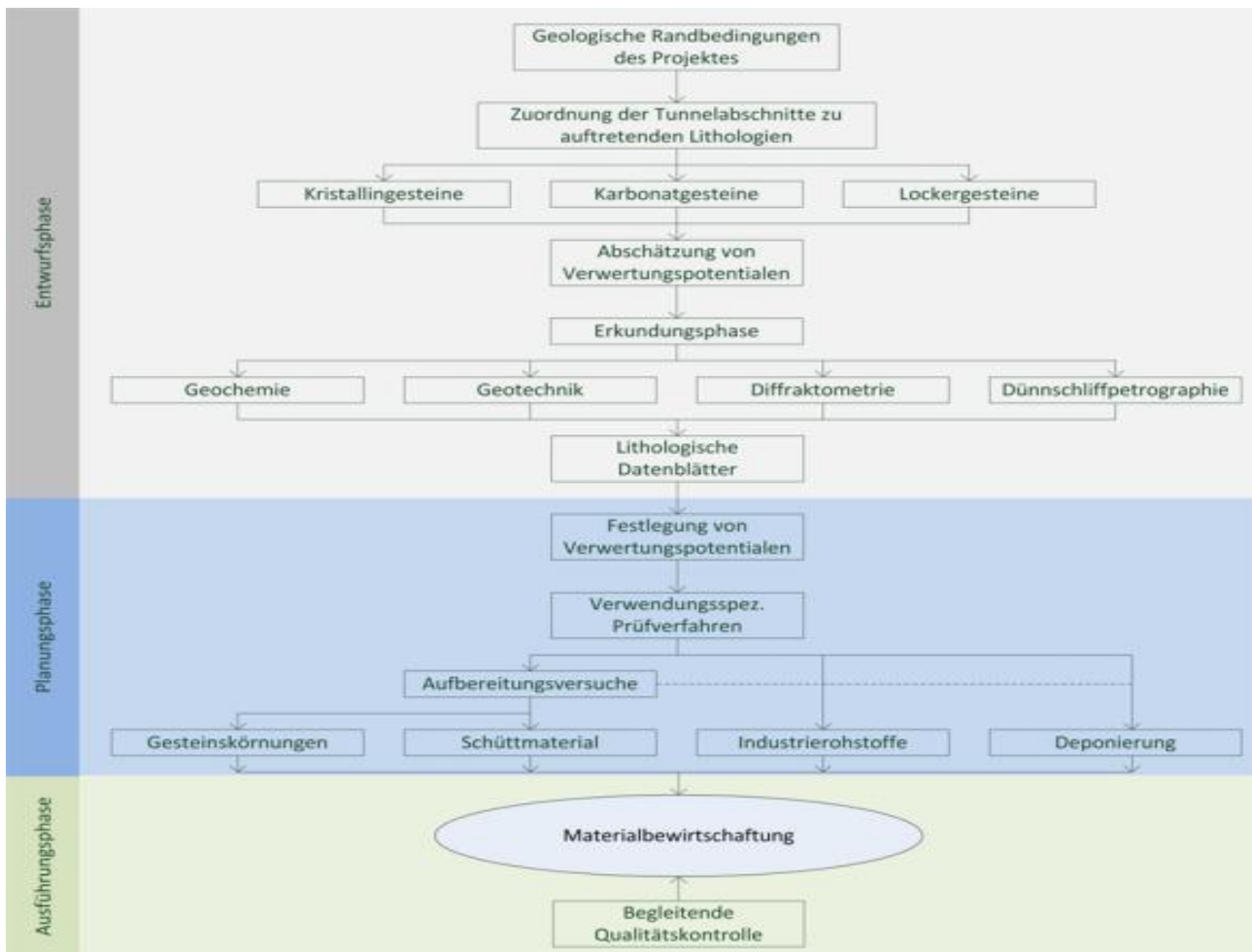


Abbildung 1.13: Phasen der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial

1.4.2.2 Verwendungsklassifizierung

Im Zuge eines Tunnelprojektes muss das Ausbruchmaterial bestimmten Klassen zugeteilt werden; diese verschiedenen Klassen werden in der Folge bestimmten Verwendungen zugeteilt.

Da für die Planung und Durchführung der Materialbewirtschaftung das gesamte Ausmaß der für die Verwendung zur Verfügung stehenden Ausbruchmasse von Interesse ist, wäre eine Präzisierung der derzeit üblichen Bezeichnungsart von Vorteil und wurde im Projekt wie folgt ausgearbeitet:

Beschränkt man die 1. Ordnungszahl auf die Buchstaben

- A – Hochwertige Verwendung
- B – Schüttmaterial
- C – Deponiematerial

so kann durch nachgestellte Nummer die Verwendungsklasse präzisiert werden. Bsp.: C1 – Material Bodenaushubdeponie; C2 – Material Inertabfalldéponie. Die Bezeichnung A-40 würde beispielsweise ein Ausbruchmaterial bezeichnen, von welchem 40 % für eine hochwertige Verwendung zur Verfügung stehen. Wie bei den Expositions-klassen in der Betontechnologie üblich, könnte durch das Aneinanderreihen von Verwendungsklassen das gesamte Verwendungspotential des Ausbruchmaterials beschrieben werden. Beispiel einer Bezeichnung A1-40/B2-30/C1-28/C2-2.

1.4.2.2.1 Qualitätskontrolle

Von der Materialtriage aus kann das Ausbruchmaterial grundsätzlich folgenden Verwendungen zugeführt werden:

- Deponie
- Zwischendeponie
- Externer Abnehmer
- Aufbereitungsanlage für Gesteinskörnungen

Um die getroffene Zuordnung des Ausbruchmaterials auf ihre Richtigkeit zu überprüfen, kann an der Materialtriage auch Material für eine Untersuchung entnommen werden und die Qualitätssicherung in einem entsprechenden Baustellenlabor erfolgen. Dabei sollten zumindest die nachstehend genannten Parameter untersucht werden:

- Gesteinhärte
- Petrographie
- Siebanalyse
- Kornform

Durch sehr rasch ablaufende Laboruntersuchungen kann so im Bedarfsfall auch sehr rasch auf Fehler in der Zuordnung zu einer bestimmten Verwendung reagiert werden.

Im Falle der Produktion von Gesteinskörnungen für die Betonherstellung wird das Ausbruchmaterial im Anschluss an die Materialtriage in die Aufbereitungsanlage weitertransportiert und von dort optional auf ein Zwischenlager gelegt bzw. bei Verwendung des Ausbruches auf der Baustelle nach Herstellung des entsprechenden Produktes neuerlichen Untersuchungen unterzogen.

Im Gesamten betrachtet sind somit im Falle der Verwendung des Ausbruchmaterials folgende Materialüberprüfungen durchzuführen:

- Untersuchung und Zuordnung in der Planungsphase
- Visuelle Überprüfung und Zuordnung durch einen vor Ort für dieses Fachgebiet tätigen Ingenieur
- Laboruntersuchungen des Ausbruchmaterials
- Laboruntersuchungen des aufbereiteten Materials
- Laboruntersuchungen des auf der Baustelle hergestellten Produktes, beispielsweise des Betons (Konformitäts- und Produktionskontrolle gem. ÖNORM B 4710-1)

Die Ergebnisse des Baustellenlabors sollten zusätzlich durch Untersuchungen in einem baustellenexternen Prüflabor verifiziert werden.

1.4.2.2.2 Massenmanagement

Ausgehend von Untersuchungen in der Planungsphase kann ein prognostiziertes Ausmaß der verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten bestimmt werden. Dieses kann sich jedoch auf Grund von Prognoseunsicherheiten im Laufe der Planungsphasen sowie der anschließenden Ausführung ändern. Es muss daher auf Basis einer kontinuierlichen Erfassung der anfallenden Massen regelmäßig ein Soll-Ist-Vergleich des Materialanfalls sowie des Materialbedarfs durchgeführt werden. Damit soll es gelingen, den Eigenbedarf einer Tunnelbaustelle an Gesteinskörnungen für die Betonproduktion abzudecken. Gleichzeitig sollen dadurch die für den Tunnelbau erforderlichen Transportwege sowie das Deponievolumen maßgebend vermindert werden. Soll der Materialanfall bzw. -bedarf von mehreren parallel ablaufenden Vortrieben betrachtet werden, ist in einem ersten Schritt für jeden

Vortrieb eine eigenständige Berechnung durchzuführen. Als Basis dieser Berechnungen müssen 4 Inputklassen bekannt oder bestmöglich geschätzt werden:

- Vortriebsklassen,
- Verwendungsklassen,
- Tunnelabschnitte
- Sieblinien unterschiedlicher Betonsorten

Aufbauend auf diesen Informationen sind folgende Daten zu ermitteln:

- Bauzeitplan
- Zeitlicher Verlauf des Betonbedarfs
- Zeitlicher Verlauf des Bedarfs an Gesteinskörnungen
- Zeitlicher Verlauf des Materialanfalls
- Erforderliche Größe des Zwischenlagers

1.4.2.3 Vergabemöglichkeiten

Entschließt sich der Auftraggeber eines Tunnelprojektes zur Verwendung des Ausbruchmaterials auf der Baustelle, so stehen hierfür grundsätzlich 2 Vergabemodelle zur Auswahl:

- Subunternehmervariante, d.h. die Materialbewirtschaftung ist Teil des Bauvertrages,

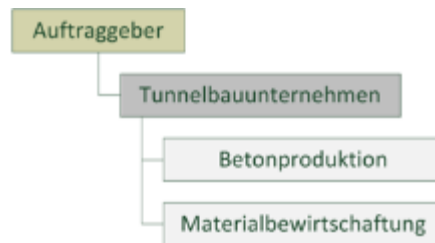


Abbildung 1.14: Subunternehmervariante

- Unternehmervariante, d.h. es wird eine eigenständige Materialbewirtschaftung beauftragt

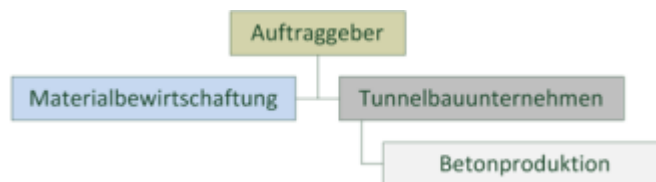


Abbildung 1.15: Unternehmervariante

Daneben sind auch Mischvarianten aus den oben genannten denkbar.

1.5 Umweltauswirkungen

1.5.1 Ökobilanz

Durch eine sinnvolle Nutzung des Tunnelausbruchmaterials auf der Baustelle selbst oder aber auch in der näheren Umgebung könnte es gelingen, den Bedarf an Primärressourcen zu reduzieren und die erforderlichen Transportwege stark einzuschränken. Neben den durch die Einsparung entsprechender Fahrten zu erwartenden Auswirkungen auf die Kosten und die Themenbereiche Lärm, Staub und Luft sind auch die Auswirkungen auf die Ökobilanz bzw. auf die CO₂-Bilanz bei dieser Fragestellung nicht außer Acht zu lassen. Mittels der Ökobilanzen werden einerseits die dabei

entstehenden Emissionen erfasst und bewertet und andererseits können die durch Verwertung des Materials erzielten Substitutionseffekte durch Ersatz von Primärmaterial und Primärenergie quantifiziert und dargestellt werden.

Ziel ist, diese ökologischen Wirkungen auf die einzelnen Schutzgüter (Grundwasser, Boden und Luft bzw. Menschen, Tiere und Pflanzen) anhand der Darstellung von typischen Wirkungskategorien für alle Verwertungs- bzw. Entsorgungsoptionen zu quantifizieren. Zusätzlich können Sachbilanzdaten ausgewiesen werden. Die erzeugten Ergebnisse können gegenübergestellt und untereinander verglichen werden. Durch die Quantifizierung der Ergebnisse lässt sich im Vergleich zur derzeit üblichen Praxis erkennen, wie effizient einzelne Verwertungsmöglichkeiten die Umweltbilanz verbessern. Damit werden zusätzliche Informationen zur Bewertung und letztlich zur Auswahl verschiedener Verwertungsoptionen generiert. Zusätzlich zu ökonomischen und technologischen Aspekten kommen somit noch die ökologischen Aspekte hinzu, womit eine Bewertung nach allen Kriterien der Nachhaltigkeit möglich wird.

1.5.1.1 Ziel der Ökobilanz

Es werden für die Berechnung die geographischen Rahmenbedingungen eines Standortes angenommen (Transportentfernungen der Rohstoffe, etc) und es wird unterstellt, dass dieses Ausbruchsmaterial als Zuschlag für Beton geeignet ist. Das Ausbruchsmaterial ist einer grundlegenden Charakterisierung durch eine befugte Fachperson oder -anstalt zu unterziehen. Anschließend kann durch die Feststellung der chemischen Parameter das Ausbruchsmaterial einem dafür geeigneten Deponietyp zugeordnet werden. Für die Ablagerung von Tunnelausbruchmaterial werden vor allem Bodenaushubdeponien, Inertstoffdeponien und Baurestmassendeponien in Anspruch genommen. Es wird ein Modell erstellt, welches einen Vergleich hinsichtlich ökologischer Auswirkungen zwischen der Deponierung des Ausbruchs und der Verwendung des Ausbruchs abschätzen soll.

1.5.1.2 Methodik

Aus der Sachbilanz sollten zukünftig folgende Größen abgeleitet werden:

- Primärenergieinhalt aus erneuerbaren Ressourcen
- Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Ressourcen
- Abfallaufkommen

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung müssen folgende CML – Indikatoren quantitativ ermittelt werden:

- Treibhauspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)
- Eutrophierungspotential (EP)
- Ozonabbaupotential (ODP)
- Photochemisches Oxidantienbildungspotential (POCP)

1.5.1.3 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird die Menge an Tunnelausbruch, welche für 1 m³ Beton an definierten Gütern (C20/25) benötigt wird (1925 kg). Diese kann nach Belieben auf die gesamte Menge an Tunnelausbruch hinaufskaliert werden, sodass die Umweltwirkungen der gesamten Baustelle sichtbar werden.

1.5.1.4 Systemgrenzen

Es wurden folgende Systeme modelliert, ausgewertet und einander gegenübergestellt:

1.5.1.4.1 Deponierung des gesamten Tunnelausbruchs

Bei dieser Variante wird der Tunnelausbruch deponiert und der vor Ort benötigte Beton aus Primärmaterialien hergestellt (siehe Abbildung 1.).

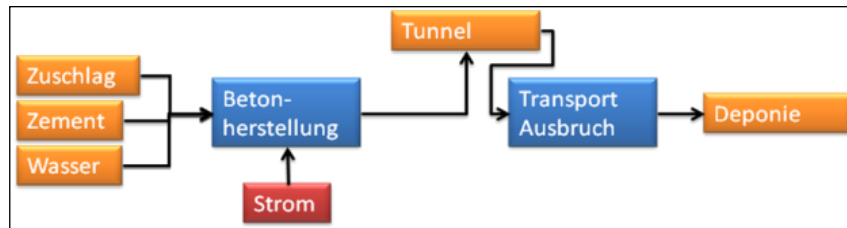


Abbildung 1.16: Deponierung des Ausbruchsmaterials Betonherstellung mit Primärmaterial

1.5.1.4.2 Verwendung des Tunnelausbruchs als Kiesersatz im Zement

Bei dieser Variante wird der Tunnelausbruch vor Ort zu Beton verarbeitet und wieder im Tunnel eingebaut (Abbildung 1.).

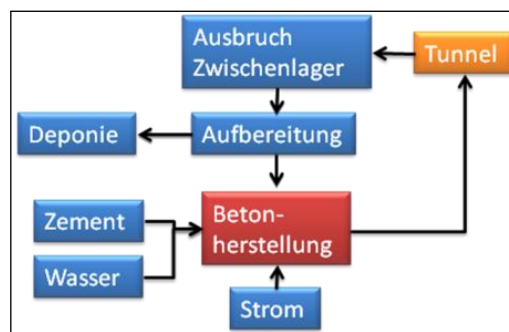


Abbildung 1.17: Variante Verwertung des Tunnelausbruchs als Kiesersatz

1.5.2 Ergebnisse

In den Ergebnissen müssen die wichtigsten Sachbilanzdaten sowie die Wirkbilanz dargestellt werden. Dabei werden die Stoff- und Energieströme entlang des Lebensweges als Input- und Outputgrößen dargestellt. Die Sachbilanz ist die Basis der Wirkbilanz, welche die Beiträge zu den einzelnen Umweltwirkungen darstellt.

Außerdem wurde eine Sensitivitätsanalyse der verschiedenen Eingangsparameter erstellt. Verglichen wurde die generelle Auswertung der beiden Basisszenarien *Verwertung des Ausbruchsmaterials als Betonzuschlag* und *Deponierung des Ausbruchsmaterials, Betonzuschlag aus Primärschotter*, wobei folgende Indikatoren ausgewertet wurden:

- Auswertung Abfallaufkommen
- Auswertung Primärenergieaufwand
- Auswertungstabellen GWP und Versauerung in graphischer Form
- Übersichtstabelle weiterer Umweltwirkungsgrößen

Für Sensitivitätsanalysen wurden dabei nachstehende Variationen analysiert:

- Transportdistanzen
- Zementgehalt in der Betonrezeptur
- Dieselverbrauch
- Stromverbrauch

1.5.2.1 Primärenergieverbrauch

Der Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Ressourcen für die Variante „Verwertung des Ausbruchsmaterials“ ist um ca. 35 % geringer als für die Variante „Keine Verwertung des Ausbruchsmaterials“. Dies liegt vor allem an der Vermeidung des Aufwandes für die Deponierung des Ausbruchs, den geringeren Transportwegen und der Substitution der Vorkette des benötigten Rohstoffes Kies. Der Primärenergiebedarf aus erneuerbaren Ressourcen verringert sich um ca. 2,5 %, wobei der Anteil erneuerbarer Energie in den betrachteten Systemen generell gering ist.

1.5.2.2 Ablagerungsgüter

Die Ablagerungsgüter sind bei dem Szenario *Keine Verwertung des Ausbruchsmaterials* bei 1m³ Beton 2022 kg höher als bei dem Szenario *Verwendung des Ausbruchs*. Dies liegt vor allem daran, dass 1925 kg, die in der *Verwendung als Zuschlagsmaterial* verwendet werden, bei der *nicht-Verwertung des Ausbruchs* deponiert werden. Auch die Energieeinsparung führt dazu, dass in den Vorketten Abfälle vermieden werden.

1.5.2.3 Wirkbilanz

Mit Hilfe von Hintergrunddatensätzen aus der GaBi-Datenbank werden die Material- und Energieflüsse bis zu den Elementarflüssen zurückgeführt. Elementarflüsse beschreiben die ursprünglichen Ressourcen aus der Umwelt, aus denen Vorprodukte gewonnen und Energie erzeugt wird bzw. die Emissionen in die Umwelt, die von einem Produktsystem ausgehen und keinem weiteren Prozess unterliegen. Aufgrund wissenschaftlich begründeter Untersuchungen werden den Elementarflüssen Charakterisierungsfaktoren zugeordnet. Diese erlauben die Zusammenfassung zu verschiedenen Wirkungskategorien. Mit den Wirkungskategorien werden die potentiellen Umweltwirkungen der betrachteten Produkte in einer Ökobilanz beschrieben.

Tabelle 1. zeigt auch im Überblick, dass das Reduktionspotential in Abhängigkeit der betrachteten Wirkkategorie zwischen 10 und 50 % liegt und somit beachtlich ist.

| Umweltwirkungskategorie gemäß CML Methode | Keine Verwertung des Ausbruchs, Zuschlagsstoff aus Primärmaterial | Verwertung des Ausbruchs als Betonzuschlag |
|--|---|--|
| CML2001 - Dez. 07, Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) [kg Sb-Äqv.] | 0,73789626 | 0,45889403 |
| CML2001 - Dez. 07, Aquat. Frischwasser Ökotoxpot. (FAETP) [kg DCB-Äqv.] | 0,27416343 | 0,16615894 |
| CML2001 - Dez. 07, Aquat. Salzwasser Ökotoxpot. (MAETP) [kg DCB-Äqv.] | 13496,6956 | 9262,57116 |
| CML2001 - Dez. 07, Eutrophierungspotential (EP) [kg Phosphat-Äqv.] | 0,11137921 | 0,06710619 |
| CML2001 - Dez. 07, Humantoxizitätspotential (HTP) [kg DCB-Äqv.] | 9,23318793 | 7,68785282 |
| CML2001 - Dez. 07, Ozonabbaupotential (ODP, katalytisches) [kg R11-Äqv.] | 5,45E-06 | 4,73E-06 |
| CML2001 - Dez. 07, Photochem. Oxidantienbildungspot. (POCP) [kg Ethen-Äqv.] | 0,07131308 | 0,03831572 |
| CML2001 - Dez. 07, Terrestrisches Ökotoxizitätspot. (TETP) [kg DCB-Äqv.] | 0,357699 | 0,33485769 |
| CML2001 - Dez. 07, Treibhauspotential (GWP 100 Jahre) [kg CO ₂ -Äqv.] | 277,373359 | 221,651421 |
| CML2001 - Dez. 07, Versauerungspotential (AP) [kg SO ₂ -Äqv.] | 0,72757663 | 0,4456485 |

Tabelle 1.25: Umweltwirkungen gemäß der CML Methode

1.5.2.3.1 Treibhauspotential

Das Treibhauspotential beträgt für die Deponierung des Ausbruchs 277,4 kg CO₂-Äquivalente pro 1 m³ produziertem Beton bzw. je 1925 kg Ausbruchsmaterial. Bei der Wiederverwertung des Ausbruchsmaterials entstehen 221,7 kg CO₂-Äquivalente. Das bedeutet es kommt zu einer Reduzierung des Treibhauspotenzials um rund 20 %. Die Rohstoffbereitstellung (hauptsächlich Zement sowie Kies

und Wasser), sowie die Deponierung des Materials (Dieselverbrauch der Baumaschinen) und der Transport tragen hauptsächlich zum Treibhauspotential bei.

1.5.2.3.2 Versauerungspotential

Das Versauerungspotential ist beim Szenario „Verwertung des Ausbruchs“ um ca. 39 % kleiner als beim Szenario „Keine Verwertung des Ausbruchs“. Dies liegt am wegfallendem Transport, sowie der fehlenden Deponierung des Ausbruchsmaterials.

1.5.2.3.3 Eutrophierungspotential

Das Szenario „Verwertung des Ausbruchs als Betonzuschlag“ ist um 40 % kleiner als das Szenario „Keine Verwertung des Ausbruchs“. Dies liegt vor allem an den geringeren Transportdistanzen und dem niedrigeren Eutrophierungspotential der Kategorie „Deponie“. Bei der Prozessgruppe „Energie“ führen die Aufbereitung des Ausbruchs vor Ort und der dadurch etwas höhere Energiebedarf zu einer geringen Erhöhung.

1.5.2.3.4 Photochemisches Oxidantienpotential

Das Szenario „Verwertung des Ausbruchsmaterials“ ist um 47 % kleiner als das Szenario „Keine Verwertung des Ausbruchsmaterial“.

1.5.3 Ergebnisse Szenarienuntersuchungen

Folgende erste Schlussfolgerungen können aus der Interpretation der Datenerfassung und der Ergebnisse im Projekt gezogen werden:

- Die verglichenen Szenarien zeigen, dass Umweltwirkungen durchwegs in einem relevanten Ausmaß reduziert werden können.
- Basis für die ökologische Bewertung ist eine klare Festlegung der Verwertungsoptionen.
- Sehr wichtig ist eine eindeutige Festlegung der funktionalen Einheit.
- Für die Datenabfrage müssen die Ansprechpersonen festgelegt und das Vorgehen vereinbart werden.
- Auch im Zuge der Sensitivitätsanalyse zeigt sich, dass das günstigste Ergebnis der Entsorgungsvariante höhere Umweltwirkungen verursacht als das ungünstigste Verwertungsszenario.
- Die Vortriebsart (NATM oder TBM) beeinflusst die Ausbruchsmenge und somit die Menge an verwertbaren Material.
- Durch die Verwertung des Materials kann die Umweltwirkung wesentlich gesenkt werden, ein Zwischenlager in dem die Fraktionen sortiert vorliegen, ist als positiv zu bewerten.
- Wird das zu verwertende Material über weite Entfernungen transportiert beeinflusst dies die Umweltauswirkungen massiv.
- Der Tunnelausbau beeinflusst wesentlich die Umweltauswirkungen (Wahl des Betons, Menge des Betons)
- Die Verwertung des Tunnelmaterials und die Umweltauswirkungen werden durch viele Parameter beeinflusst. Um Aussagen über das jeweilige Projekt treffen zu können muss dieses bilanziert werden. Richtungssichere Ergebnisse für eine konkrete Baustelle können erst erzielt werden, wenn alle Daten vorliegen und die regionalen Gegebenheiten exakt abgebildet werden.

1.6 Rechtliche Rahmenbedingungen

Wenngleich die Untersuchungen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen nicht gefördert wurden, war es trotzdem notwendig, sich die Frage zu stellen, wie mit Tunnelausbruchmaterial umgegangen werden soll. Dabei sind eigentums- und abfallrechtliche Fragestellungen anzusprechen. Daneben ist auch der Aspekt zu berücksichtigen, dass für bestimmte „Abfallbeseitigungsmaßnahmen“ Altlastensanierungsbeiträge zu leisten sein könnten. Ferner ist die Abgrenzung zum MinroG zu beleuchten.

Der Oberste Gerichtshof geht davon aus, dass nach zwangsweiser Begründung einer Servitut zum Bau eines Tunnels gewonnenes Ausbruchmaterial im Eigentum des Grundeigentümers steht, da durch die Begründung einer Tunnelservitut nicht auch das Ausbruchmaterial enteignet wird, das weiterhin dem Grundeigentümer zusteht. Angesichts dieser Judikatur ist es unseres Erachtens unzweifelhaft, dass das Tunnelausbruchmaterial jedenfalls dem Liegenschaftseigentümer gehört. Zu ergänzen ist hier noch der Fall, wenn aus Anlass des Tunnelbaus mineralische Rohstoffe entdeckt werden und anfallen. Das MinroG unterscheidet hier bergfreie, bundeseigene und grundeigene mineralische Rohstoffe. Klar ist, dass das Eigentum an bundeseigenen mineralischen Rohstoffen dem Bund zusteht und jenes an grundeigenen mineralischen Rohstoffen dem Grundeigentümer. Bergfreie mineralische Rohstoffe sind, soweit es sich nicht um solche des § 3 Abs. 1 Z 4 MinroG (Magnesit, Kalkstein mit einem CaCO₃-Anteil von gleich oder größer als 95 % und Diabas (basaltische Gesteine), soweit diese als Festgesteine vorliegen, Quarzsand mit SiO₂-Anteil von gleich oder größer als 80 % und Tone, soweit diese als Lockergesteine vorliegen) handelt, dem Verfügungsrecht des Grundeigentümers entzogen. Diese gehen mit Aneignung in das Eigentum des hierzu Berechtigten über (§ 3 Abs. 2 MinroG), davor gelten sie als „herrenlos“. Obzwar als bergfreie mineralische Rohstoffe benannt, stehen die in § 3 Abs. 1 Z 4 MinroG genannten Rohstoffe im Eigentum des Grundeigentümers.

In der Praxis ergibt sich aus dem oben Ausgeführten im Regelfall die Konsequenz, dass der Erlaubnisinhaber für die Errichtung eines der Tunnel und die davon betroffenen Grundeigentümer unterschiedliche Rechtspersonen sind. Da im Regelfall die weitere Verwendung des Ausbruchmaterials im Rahmen der zu erteilenden Bewilligung zu genehmigen (insbesondere aber inhaltlich mitzubeurteilen) ist, bedarf es im Vorfeld derartiger Projekte nicht nur der Einholung der Wegerechte, sondern vor allem auch der zivilrechtlichen Abklärung, welcher der Beteiligten unter Einhaltung welcher Rahmenbedingungen über das Tunnelausbruchmaterial verfügt. Gerade in UVP-Verfahren wird nicht selten die Konstruktion gewählt, dass das Eigentum am Tunnelausbruchmaterial auf den Konsenswerber übertragen wird, sodass dieser die Umsetzung der entweder bereits im Projekt vorgeschriebenen oder mit Auflagen verfügbaren Maßnahmen gewährleisten kann.

Für die Abgrenzung zum MinroG ist relevant, welches Ziel mit dem Vorhaben primär verfolgt wird. Bei einem Abbauvorhaben ist der primäre Zweck die Gewinnung von Rohstoffen, bei einem Tunnelbau jedoch die Errichtung eines Tunnels. Der Anfall von Materialien beim Tunnelbau führt daher zu keiner Einordnung dieser Tätigkeit unter das Regime des MinroG.

1.6.1 Empfehlungen

- AbfallendeVO gemäß § 5 Abs. 2 AWG 2002 sollte lobbyiert werden (ist vorerst nur für Recyclingmaterialien geplant), in der vom BMLFUW festgelegt wird, unter welchen Voraussetzungen, zu welchem Zeitpunkt und für welchen Verwendungszweck bei Tunnelausbruch die Abfalleigenschaft endet.
- Unabhängig davon Erstellung eines Merkblattes oder einer Richtlinie für die Verwendung von Tunnelausbruch in Abstimmung mit dem BMLFUW, um auf diesem Weg die vorhandenen

Vorschläge für chemische Untersuchungen und Verwertungen zu unterbreiten (z.B. nach Vorbild des Merkblatts „Wiederverwendung/Verwertung von Bodenaushubmaterial“).

- Grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruchmaterial sollte gleichzeitig mit den geologischen oder bodenmechanischen Voruntersuchungen erfolgen und auf eine angemessene Parameterliste reduziert werden.
- Das oben angesprochene Merkblatt soll der Intensivierung der Verwendung von Tunnelausbruch dienen.
- Für eine Verwertung als Zuschlagstoff für Beton und Asphalt müsste in den entsprechenden ÖNORMEN (B3130, B3131 und B3132) versucht werden, höhere geogen bedingte Grenzwerte für Gesamtinhaltsstoffe zuzulassen.

2. Ergebnisse - welche Ziele/Meilensteine wurden erreicht?

Beschreiben Sie die erreichten Ergebnisse. Führen Sie erzielte Leistungsdaten an. Fügen Sie exemplarisch Fotos, Zeichnungen, Diagramme, Versuchsauswertungen, Schemas von Prototypen und Versuchsaufbauten etc. ein. Dieser Teil kann durchaus in Punkt 1. integriert werden – vor allem dann, wenn jedes Arbeitskapitel seine eigenen Ergebnisse hat.

Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes sind bereits im Kapitel 1 integriert dargelegt. Zusammenfassend sei an dieser Stelle festgehalten, dass das Thema der *Verwendung von Tunnelausbruchmaterial entweder auf der Baustelle selbst oder in industriellen Prozessen* von ersten Überlegungen zu einem Projekt beginnend, wie beispielsweise die Wahl des Trassenkorridors bzw. der Festlegung des Trassenverlaufs, berücksichtigt werden muss, um den *Primärrohstoff Tunnelausbruch* wie ein mineralisches Produkt, ähnlich dem Output eines Bergwerks oder Steinbruches, technisch und wirtschaftlich verarbeiten zu können.

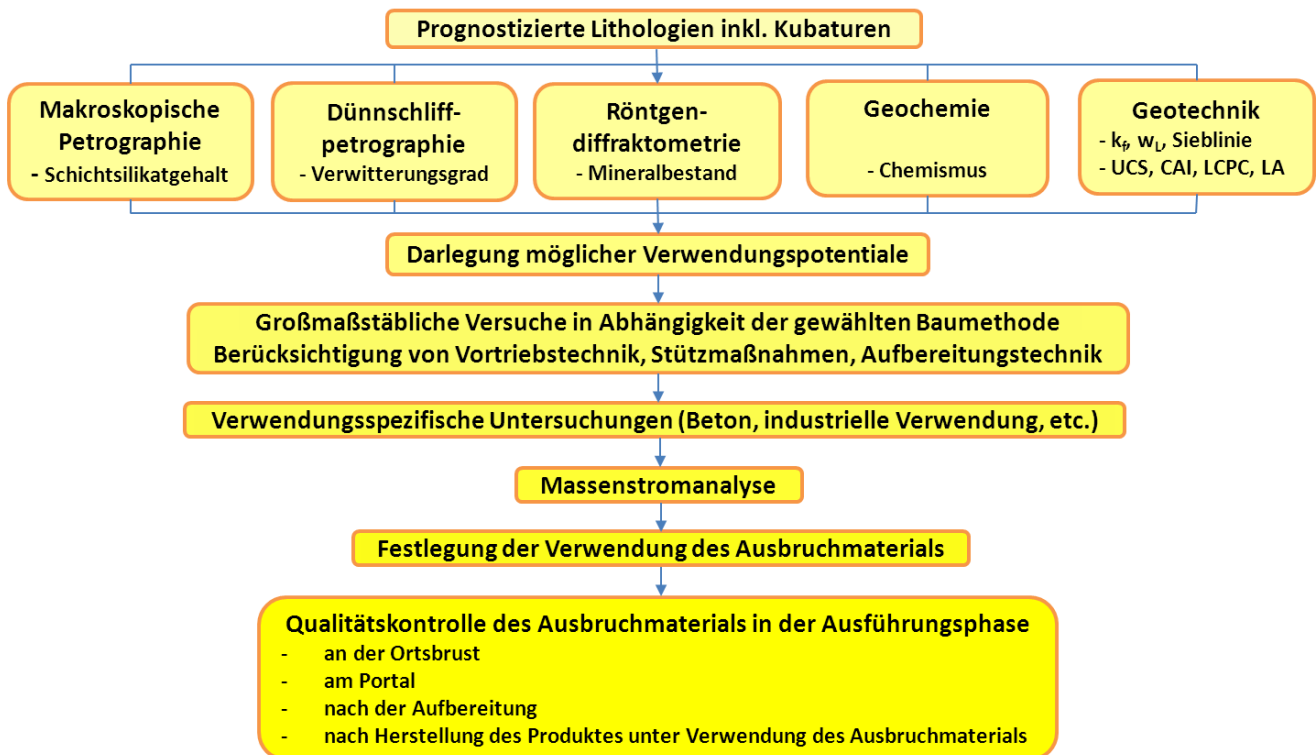


Abbildung 2.1: Flussdiagramm zur Erzielung maximaler Verwendung von Tunnelausbruchmaterial

Obenstehendes Flowchart repräsentiert den Vorschlag, wie bei zukünftigen Projekten diesbezüglich vorgegangen werden sollte.

Wie zu Beginn dieses Berichtes ausgeführt, werden die Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt in ein Merkblatt bzw. eine Richtlinie des ÖBV – Österreichische Bautechnik Vereinigung übergeführt. Zur Erlangung einer breiten Akzeptanz wird der Personenkreis, der in die Verfassung des Merkblattes involviert wird, gegenüber dem vorliegenden Forschungsprojekt erweitert.

3. Schwierigkeiten – welche Ziele/Meilensteine wurden nicht erreicht?

Beschreiben Sie welche Lösungsansätze oder Projektteile nicht realisiert wurden und führen Sie eine Begründung an.

Da sich im Laufe des Projektes herausgestellt hat, dass für die Untersuchungen größere Probemengen erforderlich sind, welche zudem großtechnisch aufbereitet werden mussten und damit sowohl für die Probenahme als auch für die Aufbereitung einige Zeitfenster mit den entsprechenden Baustellen gefunden werden mussten, kam es gegenüber dem ursprünglich vorgesehenen Zeitplan zu Verzögerungen. Es wurde damit aber sichergestellt, dass mit Abschluss des Projektes alle gesetzten Ziele erreicht werden konnten.

4. Zusammenfassung und Resümee, Wirtschaftliche Verwertung

Ziehen Sie ein Resümee über das durchgeführte Projekt und führen Sie an, welche Maßnahmen zur wirtschaftlichen Verwertung gesetzt wurden. Ergänzen Sie diesen Bericht mit dem Status von Patenanmeldungen.

Ressourcenschonung bei gleichzeitiger Verringerung des erforderlichen Deponievolumens und Schonung des Landflächenverbrauches einhergehend mit einer CO₂-Reduktion müssen bei zukünftigen Bauvorhaben viel stärker als bisher in den Vordergrund gestellt werden.

Das durchgeführte Forschungsprojekt zeigt, dass eine sinnvolle Verwendung von Tunnelausbruchmaterial als Primärrohstoff bei allen untersuchten Lithologien technisch umsetzbar wäre.

Wird bei einem Neubauprojekt früh genug mit den Untersuchungen zur Verwendung von Tunnelausbruchmaterial begonnen, so wird es auch gelingen, dieses Material neben der Verwendung auf der Baustelle auch in industrielle Verwendungsbereiche zu bringen.

Ein wesentlicher nächster Schritt in der Forschung muss nun sein, dass ausgebrochene Material möglichst rasch - also unmittelbar hinter der Ortsbrust zu identifizieren und sofern erforderlich, dieses auch im Tunnel aufzubereiten. Idealerweise würde ein derartiges Produkt den Tunnel gar nie verlassen und gleich als Gesteinskörnung von z.B. Spritzbeton verwendet und unmittelbar eingebaut werden. Zur Umsetzung dieser Gedanken sind entsprechende Grundlagenforschungsarbeiten erforderlich.

Ferner sind für die Umsetzung der Ergebnisse Grundlagenarbeiten in Richtung zielgerichteter Datenbankstrukturen durchzuführen, die am Ende web-basiert, für die Nutzer kostenlos, bedient werden können. Nur so kann die Umsetzung des Themas etabliert werden und zum State of the Art werden.

Nahezu alle im FFG – Projekt tätigen Unternehmen sind heute bei realen Projekten mit Fragen der Verwendung von Tunnelausbruch konfrontiert.

Wie oben bereits erwähnt, soll im Jahr 2013 unter Einbeziehung eines erweiterten Personenkreises ein Merkblatt bzw. eine Richtlinie zu diesem Thema verfasst werden, welche beim ÖBV angesiedelt werden wird.

Schlußendlich ist vorgesehen, eine Gesetzesinitiative in Richtung *Tunnelausbruch ist Primärrohstoff* zu beantragen