

**Stoffflussanalyse und Verwertungsmöglichkeiten
des Ausbruchmaterials beim Koralmtunnel
am Baulos KAT 2**

**Material flow analysis and recycling options
of excavation material at ‚Koralmtunnel‘
contract section ‚KAT 2‘**

Masterarbeit zum Erwerb des
akademischen Titels Diplomingenieur der
Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

Sonja Zettl

Verfasst am Institut für
Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz

Betreuer der Masterarbeit:
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber
Dipl.-Ing. Helmut Posch

Mitbetreuer der Masterarbeit:
Dipl.-Ing. Josef Mitterwallner
Dipl.-Ing. Thomas Franz Hofer, BSc

Graz, März 2013

Kontakt:

Sonja Zettl

Mail: sonjaz@gmx.at

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am

(Sonja Zettl)

Danksagung

Dank gilt den Personen, die mich am Weg des Studiums begleitet haben, und denen, die mich kurz vor dem Ziel, dem Abschluss, außerordentlich unterstützten.

Ich danke meiner Familie, vor allem meinen Eltern und meiner Schwester, für den Glauben an mich und die Freiheiten, die sie mir zugestanden haben, für ihr Vertrauen in mich und ihre stärkenden Worte. Ich danke meinem Freund Martin für sein Verständnis, seine Ehrlichkeit und seine Zeit, in der er sich mit meiner Arbeit auseinandersetzte.

Bedanken möchte ich mich bei der Ziviltechniker Gesellschaft m.b.H. IGT Geotechnik und Tunnelbau und insbesondere bei meiner Ansprechperson Dipl.-Ing. Helmut Posch (ÖBA-Leiter Stv., Leiter Logistik und Materialbewirtschaftung, Leiter der Deponieeingangskontrolle am KAT 2) für die ideenreiche und motivierende Betreuung meiner Masterarbeit. Durch ihn wurden viele Aspekte dieser Arbeit klarer. Dank gebührt seinen Mitarbeitern Wolfgang Lammerer und Dipl.-Ing. Markus Huber für ihren Einsatz, wenn ich Hilfe brauchte. Weiterer Dank ist an die ÖBB Infrastruktur AG, den Bauherrn des Koralmtunnels, auszusprechen, da sie mir die Daten für die Arbeit zur Verfügung stellte.

Vor mehr als einem halben Jahr trat ich an das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz mit einem Themenvorschlag für die Masterarbeit heran und traf auf Offenheit mit einer Zusage zur Betreuung. Ich bedanke mich dahingehend für die richtungsweisende und stets konstruktive Betreuung bei meinem Betreuer Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn Günter Gruber und meinem Mitbetreuer Dipl.-Ing. Thomas Franz Hofer, Bsc.

Diese Arbeit erforderte eine Stellungnahme eines Rechtsexperten, den ich mit Dipl.-Ing. Josef Mitterwallner (Abteilung 14 des Landes Steiermark; Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit) heranziehen konnte. Ich bedanke mich für seine Zeit, die er in die Arbeit investierte. Ebenso danke ich Dipl.-Ing. Martin Reiter-Püntinger (Abteilung 15 des Landes Steiermark; Energie, Wohnbau, Technik) für seine hilfreichen Expertenmeinungen.

An letzter Stelle danke ich Prof. Robert Galler (Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben) für die Bereicherung der Arbeit mit seinem Wissen und seinen Erkenntnissen zur Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial. Ebenso danke ich Dipl.-Ing. Martin Entacher (Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben) für seine unterstützende Teilnahme an diversen Fachbesprechungen am Baulos KAT 2.

*„Keine Schuld ist dringender als die, Dank zu sagen.“
(Marcus Tullius Cicero 106-43 v.Chr., römischer Philosoph)*

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Darstellung des Stoffflusses des Tunnelausbruchmaterials im zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb am Baulos Koralm-tunnel 2 (KAT 2). KAT 2 ist Teil des Bauvorhabens zur Errichtung des zur sogenannten Baltisch-Adriatischen Achse gehörenden Eisenbahntunnels der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) durch den Gebirgszug Koralpe, zwischen Kärnten und Steiermark in Österreich.

Die reibungslose Umsetzung des Logistik- und Materialbewirtschaftungskonzeptes ist eine große Herausforderung, die von einer weit vorausschauenden Planung abhängig ist. Die Entscheidung zur Deponierung oder Wiederverwendung des Ausbruchmaterials wird grundsätzlich von baubetrieblichen Überlegungen wie zeit- und ortsgebundenem Bedarf an aufbereitetem Ausbruchmaterial sowie von den Kapazitäten für Zwischenlagerungen und Deponierung des Materials gelenkt.

Darüber hinaus wird diese Entscheidung von Randbedingungen der Stoffflusssteuerung zufolge rechtlicher, chemischer, mineralogischer und technischer Anforderungen für die Deponierung bzw. Wiederverwendung des Ausbruchmaterials beeinflusst. Diese Beeinflussungen werden in dieser Arbeit betrachtet und deren Auswirkungen auf den Stofffluss des Ausbruchmaterials dargestellt. Im Zuge dessen wird die österreichische Gesetzeslage sowie der Stand der Technik zur Thematik Deponierung und Verwertung von Tunnelausbruchmaterial evaluiert und beschrieben.

Die Dokumentation und Analyse des bisherigen Umgangs mit dem angefallenen Tunnelausbruchmaterials im Zuge des bereits abgeschlossenen zyklischen Vortriebes am Baulos KAT 2, bildet die Grundlage für die mit dieser Arbeit angestrebte Darstellung des zukünftigen Stoffflusses und seinen Entscheidungspunkten beim kontinuierlichen Vortrieb. Die Resultate werden mit Hilfe von Auswertungen einer Software zur Stoffflussanalyse (STAN) dargestellt und erläutert.

Abstract

The objective of the thesis is to describe the flow of excavation material of the cycling and continuous driving works of the tunneling project “Koralmtunnel” in Austria, especially of the contract section “Koralmtunnel 2 (KAT 2)”.

It is a considerable challenge to execute a clean excavation-material-handling concept. It heavily depends on careful, foresightful planning. First of all material-logistic decisions are drawn by the time- and location-dependent demand of recycled excavation material but also by the capacity of areas for intermediate storing or dumping. Nevertheless legal, chemical, mineralogical and technical dumping and recycling requirements have a significant influence, and this thesis outlines these considerations to be taken.

Thus the legal situation and the state of the technology of dumping and recycling of tunneling excavation material are described. Data and analysis of the works and realisation of the legal requirements during the already completed cycling driving section of KAT 2 form the basis to reach the objective of the thesis: it was possible to show the prospective flow of tunnelling excavation material of the continuous driving with underlying decision points to be taken or considered. The software package STAN (Stoffflussanalyse) was used to illustrate the results.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Ziel	9
2	Grundlagen	11
2.1	Rechtliche Grundlagen.....	11
2.1.1	EU-Abfallrahmenrichtlinie	11
2.1.2	Abfallwirtschaftsgesetz	12
2.1.3	Deponieverordnung	14
2.1.3.1	Eingangskontrolle	15
2.1.3.2	Aufzeichnungs- und Meldepflichten.....	15
2.1.3.3	Grenzwerte für die Deponierung von Abfällen.....	15
2.1.3.4	Grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruch	20
2.1.4	Bundesabfallwirtschaftsplan	22
2.1.4.1	Grundlegende Charakterisierung von Aushubmaterial.....	22
2.1.4.2	Verwertung von Tunnelausbruchmaterial	27
2.1.5	Abfallverzeichnisverordnung.....	30
2.1.5.1	Nicht gefährliches oder ausgestuftes Bodenaushubmaterial.....	31
2.1.5.2	Aushubmaterial mit mehr als fünf Volumprozent Baurestmassen ...	32
2.1.6	Verwertung von verunreinigten Aushubmaterialien	32
2.1.7	Altlastensanierungsgesetz.....	34
2.1.8	Fazit zu den rechtlichen Grundlagen der Deponierung und Verwertung von Tunnelausbruchmaterial	35
2.2	Stand der Technik - Erkenntnisse eines österreichischen Forschungsprojektes	36
2.2.1	Randbedingungen der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial	36
2.2.2	Verwertungspotentiale	37
2.2.3	Einfluss der Vortriebsart auf die geometrischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials	38
2.2.4	Gesteinskörnungen für die Betonherstellung.....	39
2.2.5	Fazit zum Stand der Technik in der Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial	39
3	Voruntersuchungen – Der zyklische Vortrieb am Baulos KAT 2	40
3.1	Deponierung und Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial des zyklischen Vortriebes am Baulos KAT 2	40
3.1.1	Allgemeines	40
3.1.2	Geologie	43
3.1.3	Deponierung	47
3.1.4	Verwertung	51
3.1.5	Massenfluss im zyklischen Vortrieb.....	53
3.1.5.1	Stoffflussanalyse.....	53
3.1.5.2	Stofffluss in Abhängigkeit der Materialklassen	55

3.2	Beprobung von Tunnelausbruchmaterial am Baulos KAT 2 im Zuge des zyklischen Vortriebes	58
3.2.1	Beprobung zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen	58
3.2.2	Allgemeines zur Beprobung am Baulos KAT 2.....	58
3.2.3	Vorabanalyse.....	59
3.2.4	Transportwege des Ausbruchmaterials	60
3.2.5	Probenentnahme	61
3.2.6	Messung der Parameter	66
3.2.7	Entscheidungsfluss zufolge der abfallchemischen Untersuchung.....	70
3.2.8	Beinflussung der geochemischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials ...	72
3.2.8.1	Auswirkungen des Sprengstoffeinsatzes auf die Parameter Nitrit- und Nitrat-Stickstoff	72
3.2.8.2	Auswirkungen der Spritzbetonrückstände	78
3.3	Fazit zu den Voruntersuchungen im zyklischen Vortrieb	81
4	Stofffluss im kontinuierlichen Vortrieb am Baulos KAT 2	82
4.1	Materialbewirtschaftung und -logistik im kontinuierlichen Vortrieb.....	82
4.1.1	Baustellenlogistikkonzept	82
4.1.1.1	Phasen.....	82
4.1.1.2	Förderbänder Unter- und Obertage	83
4.1.2	Materialbewirtschaftungskonzept	87
4.1.2.1	Lithologieabhängige Eignung zur Aufbereitung	87
4.1.2.2	Materialklassen und -zuordnung.....	89
4.1.3	Verwertungsmöglichkeiten von Tunnelausbruchmaterial	91
4.1.3.1	Aufbereitung zur Gesteinskörnung für die Betonproduktion	91
4.1.3.2	Verwendung von Ausbruchmaterial als Frostkoffer	95
4.1.3.3	Verwendung von Ausbruchmaterial als Hanganschüttung	95
4.1.3.4	Verwendung von Ausbruchmaterial als Gabione (Steinkörbe).....	95
4.1.3.5	Verwendung von Ausbruchmaterial als Drainagekies	96
4.1.4	Aufbereitungsanlagen.....	96
4.1.4.1	Aufbereitungsanlage im Bereich der freien Strecke	96
4.1.4.2	Aufbereitungsanlage im Bereich der Deponie Hollenegg 4	96
4.2	Aufstellen einer Entscheidungsmatrix	99
4.2.1	Verwertungsziele	99
4.2.2	Einsatz eines Bewertungstools.....	102
4.2.2.1	Eingangsparameter	102
4.2.2.2	Ergebnisse.....	107
4.2.3	Geplante Beprobung von Tunnelausbruchmaterial	111
4.2.4	Entscheidungsmatrix unter Berücksichtigung technischer und abfallchemischer Faktoren.....	117
4.3	Szenario des Stoffflusses unter Berücksichtigung der Entscheidungsmatrix	119
4.4	Beschreibung und Vergleich der Ergebnisse der Stoffflussanalyse.....	123
4.4.1	Ausbruchkubatur einer Woche	123
4.4.2	Ausbruchkubatur eines Monats	124
4.4.3	Ausbruchkubatur der Gesamtbauzeit	125

4.5 Alternative Verwertungsmöglichkeiten	127
4.5.1 Einsatzvarianten in der Rohstoffindustrie	130
4.5.1.1 Glimmer	130
4.5.1.2 Ton.....	134
4.5.1.3 Quarzsand	136
4.5.1.4 Quarz	137
4.5.1.5 Lithium	138
4.5.1.6 Braunkohle.....	139
4.5.1.7 Pyrit.....	140
4.5.1.8 Marmor	141
4.5.2 Auswirkungen der Rohstoffe in der Gesteinskörnung auf Beton	142
4.6 Fazit zum Stofffluss und den Verwertungsmöglichkeiten im kontinuierlichen Vortrieb.....	143
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	144
Anhang A.....	I
A.1 Gesteinskörnungen für die Betonherstellung	I
A.1.1 Allgemeines	I
A.1.2 Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen	II
A.1.3 E-Modul von Gesteinskörnungen	IV
A.1.4 Kornrohichte	IV
A.1.5 Kornzusammensetzung.....	IV
A.1.6 Gehalt an Feinteilen (Abschlämmbares)	VI
A.1.7 Widerstand gegen Zertrümmerung.....	VI
A.1.8 Frost-Tau-Widerstand.....	VIII
A.1.9 Alkali-Kieselsäure-Reaktivität	VIII
A.1.10 Wasserlösliches Chlorid	VIII
A.1.11 Säurelösliches Sulfat	IX
A.2 Auswirkungen der Rohstoffe in der Gesteinskörnung auf Beton	X
A.2.1 Glimmer	X
A.2.2 Pyrit.....	XI

1 Veranlassung und Ziel

In der heutigen Zeit werden immer mehr Rohstoffe für den Einsatz in verschiedensten Industriezweigen gewonnen und aufbereitet. Die Rohstoffindustrie verschiebt die Grenzen der Verbesserung von Technologien und Verfahren zur Rohstoffgewinnung immer weiter und ist sich bewusst, dass Rohstoffvorkommen nicht unendlich vorhanden sind. Gerade deshalb stellt sich die Frage, warum in der Vergangenheit wertvolles Tunnelausbruchmaterial nicht als Rohstoff im Sinne eines aufbereitungsfähigen und wiederverwendbarem Materials betrachtet wurde, sondern als minderwertiges Material angesehen und auf freien Flächen ohne weitere Beachtung deponiert wurde. Gegenwärtig fällt in Österreich Tunnelausbruchmaterial gemäß Abfallwirtschaftsgesetz (2002) unter die Kategorie Bodenaushubmaterial, das wiederum dem Begriff Abfall zugeordnet wird. Bei derzeit laufenden sowie geplanten Tunnelprojekten (z. B. Koralmtunnel, Semmering-Basis-Tunnel, etc.) wurde der hohe Wert von Tunnelausbruchmaterial bereits erkannt, was sich darin zeigt, dass das Ziel einer maximalen Wiederverwendung des Ausbruchmaterial anstelle einer Deponierung angestrebt wird.

Die Eisenbahnstrecke Graz – Klagenfurt mit ihrem Abschnitt Wettmannstätten - Deutschlandsberg – St. Andrä gehört zum österreichischen Hochleistungsstreckennetz und ist Teilabschnitt gesamteuropäischer Eisenbahnnetze. Mit der Koralmbahn Graz – Klagenfurt werden die Kapazitäten auf der Nord-Süd-Achse von Wien bis Tarvis deutlich angehoben und die Fahrzeiten spürbar verkürzt. Beim Abschnitt Wettmannstätten – St. Andrä handelt es sich im Wesentlichen um den 32,9 km langen, zweiröhrigen Koralmtunnel, welcher in drei Baulose (KAT 1, KAT 2 und KAT 3) unterteilt ist. Baulos KAT 1 und mehr als die Hälfte des Bauloses KAT 2 befinden sich in der Steiermark. Der höchste Punkt des Koralmtunnels befindet sich gerade noch auf steirischer Seite und grenzt an Kärnten, wo das Baulos KAT 2 mit Beginn von KAT 3 endet. Diese Arbeit konzentriert sich auf das Baulos KAT 2, das sich aus Baumaßnahmen entlang einer Freistrecke, dem Bauschacht Leibenfeld sowie einem Teilabschnitt des Tunnels mit einer Länge von rund 20 km in geschlossener Bauweise zusammensetzt. Der zyklische Vortrieb der beiden Streckenröhren am KAT 2 ist bereits abgeschlossen, der kontinuierliche Vortrieb hat im Jänner 2013 in der Südröhre begonnen.

Diese Arbeit handelt von der Umsetzung der Gesetze und Verordnungen für eine zulässige Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial des Bauloses KAT 2 und von der Erreichung der vertraglich vereinbarten Verwertungsziele im Zuge des kontinuierlichen Vortriebs. Der Vertrag besteht zwischen dem Bauherrn ÖBB Infrastruktur AG (Griesgasse 11, 8020 Graz) und der ARGE KAT 2, bestehend aus Strabag AG und Jäger Bau GmbH.

Die Rahmenbedingungen spielen bei der Durchführung eines nachhaltigen Projektes eine entscheidende Rolle. Zu den Rahmenbedingungen zählen die auf der Trasse des Koralmtunnels anzutreffenden Gesteinsarten, der Bedarf an aufbereitetem Mate-

rial für einen baustelleninternen Einsatz, die unter dem Umweltaspekt eines minimalen Flächenverbrauches notwendige Deponierung als auch die Möglichkeit von alternativen Verwertungen in der Industrie oder durch Weitergabe des Ausbruchmaterials an Dritte. Am Baulos KAT 2 werden große Mengen an Gesteinskörnungen benötigt und zukünftig aus Ausbruchmaterial der kristallinen Gesteinsfolgen gewonnen. Die Gesteinskörnungen werden in der Beton- und Mörtelherstellung, als Drainagekies für die Auffüllung der Drainageleitungen im Tunnel, als Frostkoffer und kapillarbrechendes Material für die Herstellung von Tragschichten sowie als Material für Anschüttungen von Bahn- und Lärmschutzdämmen im Bereich der freien Strecke des Bauloses KAT 2 entlang der Koralmbahn eingesetzt.

Das Ziel der Arbeit ist die Darstellung des Stoffflusses von Ausbruchmaterial im bereits abgeschlossenen zyklischen Vortrieb und gegenwärtigen kontinuierlichen Vortrieb. Dabei werden unter Berücksichtigung einer Entscheidungsmatrix, auf deren Grundlage über Verwertung, Bahnverfuhr oder Deponierung entschieden wird, Szenarien des Materialanfalls der einzelnen Materialklassen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zeitperioden betrachtet.

Die Betrachtung von alternativen Verwertungsmöglichkeiten bestimmter Rohstoffe wie Ton, Quarzsand oder Glimmer im Ausbruchmaterial ist ebenso Bestandteil der Arbeit. Dabei geht es weniger um die Realisierung dieser Verwertungsmöglichkeiten am KAT 2, sondern um allgemeine Untersuchungen und das Aufzeigen von möglichen Verwertungspotenzialen.

2 Grundlagen

Die Rechtsgrundlagensuche zur Thematik Deponierung und Verwertung von Tunnelausbruchmaterial bringt eine breit gefächerte Palette von Gesetzen und Verordnungen innerhalb des österreichischen Rechtssystems mit sich, die in den folgenden Unterkapiteln beschrieben werden:

- EU-Abfallrahmenrichtlinie
- Abfallwirtschaftsgesetz
- Deponieverordnung
- Bundesabfallwirtschaftsplan
- Abfallverzeichnisverordnung
- Altlastensanierungsgesetz

Die Grundlagen zum Stand der Technik in der Verwertung von Tunnelausbruchmaterial stammen aus Erkenntnissen von Tunnelprojekten in der Schweiz (z. B. Gotthard-Basis-Tunnel) sowie aus Ergebnissen eines österreichischen Forschungsprojektes zum Thema „Recycling von Tunnelausbruchmaterial“. (Resch, 2012)

2.1 Rechtliche Grundlagen

2.1.1 EU-Abfallrahmenrichtlinie

Die EU-Richtlinie 2008/98/EG vom 19.11.2008 „über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien“ wird als EU-Abfallrahmenrichtlinie bezeichnet. Die EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008) enthält allgemeine Vorgaben auf EU-Ebene für fast alle Arten von Abfällen. Die bisherige 3-stufige Abfallhierarchie (Vermeiden, Verwerten, Beseitigen) wird durch eine 5-stufige Rangfolge ersetzt: Abfallvermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung (z. B. energetische Verwertung) und Beseitigung. Mit dieser Einführung ist nicht nur bei speziellen Stoffströmen (z. B. Verpackungen oder Altfahrzeugen) sondern in allgemeiner Hinsicht die stoffliche Verwertung der energetischen Verwertung vorzuziehen. In diesem Zusammenhang werden Mindestverwertungsquoten, die ab dem Jahr 2020 in allen EU-Mitgliedstaaten zu erreichen sind, eingeführt. Folgende Ziele werden an die Wiederverwertung und an das Recycling gesetzt:

- 50 % bei Papier, Metall, Glas und Kunststoffen aus Haushalten
- 70 % bei Bau- und Abbruchabfällen

Die EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008) befasst sich auch mit der Frage, zu welchem Zeitpunkt (bzw. nach welchem Aufbereitungsschritt) ein Abfall seine Eigenschaft, Abfall zu sein, verliert. Demnach endet die Abfalleigenschaft, wenn Abfälle einer Ver-

wertung unterzogen werden und spezifische Kriterien erfüllen, die gemäß folgenden Bedingungen noch festzulegen sind:

- Die Verwendung erfolgt für einen bestimmten Zweck.
- Es existiert ein Markt bzw. eine Nachfrage.
- Technische Anforderungen bzw. Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse werden erfüllt.
- Die Verwertung führt zu keinen schädlichen Umwelt- und Gesundheitsfolgen.

Laut Entacher (2010) ist in Österreich derzeit keine Abfall-Ende-Verordnung für Bodenaushubmaterial (worunter Tunnelausbruchmaterial fällt) vorgesehen. Tunnelausbruchmaterial kann erst dann als Rohstoff bzw. Produkt verkauft werden, wenn es das Ende der Abfalleigenschaft erreicht hat.

2.1.2 Abfallwirtschaftsgesetz

Das Abfallwirtschaftsgesetz in der Fassung vom 9. 5. 2012, kurz AWG (2012), wurde im Jahr 2002 auf der Basis des AWG 1990 neu erlassen. Der Grundsatz der Nachhaltigkeit steht an erster Stelle mit den Zielen, schädliche Einwirkungen durch Abfälle zu minimieren, ressourcenschonend zu agieren und im Sinne des Vorsorgeprinzips nur Abfälle ohne Gefährdungspotenzial abzulagern.

Im Zuge der Umsetzung der EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008) wurde eine fünfstufige Hierarchie der Abfallwirtschaft eingeführt. Die Hierarchie, beschrieben in Kapitel 2.1.1, erfordert die Berücksichtigung der ökologischen Zweckmäßigkeit und der technischen Möglichkeiten. Ein Vergleich zu anderen Abfallbehandlungsverfahren in Bezug auf die Kosten ist durchzuführen. Die Frage nach einem Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie soll beantwortet werden. Von der Hierarchie darf abgewichen werden, wenn eine Gesamtbetrachtung der Auswirkungen bei der Produktion und dem Einsatz eines Produktes sowie der Sammlung und Behandlung der nachfolgend anfallenden Abfälle zu dem Ergebnis führt, dass eine andere Option die beste Lösung unter dem Aspekt des Umweltschutzes ist. Die Behandlung von nicht verwertbaren Abfällen kann biologisch, thermisch, chemisch oder physikalisch erfolgen. Dabei sind feste Rückstände reaktionsarm abzulagern.

Die folgenden Begriffe stehen in Zusammenhang mit Prozessen, die den Abfall grundlegend verändern (AWG, 2012):

Im Sinne dieses Bundesgesetzes

*„1. ist „**Abfallbehandlung**“ jedes Verwertungs- oder Beseitigungsverfahren, einschließlich der Vorbereitung vor der Verwertung oder Beseitigung.*

*2. ist „**stoffliche Verwertung**“ die ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeug-*

ten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt.

3. sind „**Abfallvermeidung**“ Maßnahmen, die ergriffen werden, bevor ein Produkt zu Abfall geworden ist, und die Folgendes verringern:

- a) die Abfallmenge, auch durch die Wiederverwendung von Produkten oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer;
- b) die nachteiligen Auswirkungen des nachfolgend anfallenden Abfalls auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit oder
- c) den Schadstoffgehalt in Produkten.

4. ist „**Wiederverwendung**“ jedes Verfahren, bei dem Produkte sowie Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich eingesetzt und bestimmt waren.

5. ist „**Verwertung**“ jedes Verfahren, als deren Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der Wirtschaft in umweltgerechter Weise einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem

- a) sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder
- b) – im Falle der Vorbereitung zur Wiederverwendung – die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.

Als Verwertung gilt die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling und jede sonstige Verwertung (z. B. die energetische Verwertung, die Aufbereitung von Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff bestimmt sind, oder die Verfüllung) einschließlich der Vorbehandlung vor diesen Maßnahmen. Anhang 2, Teil 1, enthält eine nicht erschöpfende Liste von Verwertungsverfahren.

6. ist „**Vorbereitung zur Wiederverwendung**“ jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Produkte sowie Bestandteile von Produkten, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können.

7. ist „**Recycling**“ jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Produkten, Sachen oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.

8. ist „**Beseitigung**“ jedes Verfahren, das keine zulässige Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückge-

wonnen werden. Anhang 2 Teil 2 enthält eine nicht erschöpfende Liste von Beseitigungsverfahren.

9. ist „**Sammlung**“ das Einsammeln von Abfällen durch Abholung, Entgegennahme oder rechtliches Verfügen über die Abholung oder Entgegennahme durch einen beauftragten Dritten. Die Sammlung schließt die vorläufige Sortierung und vorläufige Lagerung der Abfälle zum Zwecke des Transports zu einer Behandlungsanlage ein.“

Diese Fülle an Definitionen erschwert die Zuordnung von Abfall zu den einzelnen Prozessen. Keine Abfälle im Sinne des Bundesgesetzes sind nicht kontaminierte Böden und andere natürlich vorkommende Materialien, die im Zuge von Bauarbeiten ausgehoben wurden, sofern sichergestellt ist, dass die Materialien in ihrem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem sie ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden. Tunnelausbruchmaterial wird jedoch nicht durch „Ausheben“ gewonnen. Weiters verändert eine Aufbereitung (Sieben, Brechen, Waschen etc.) des Ausbruchmaterials den natürlichen Zustand, zufolge dessen das Tunnelausbruchmaterial am Koralmtunnel dem Begriff Abfall zugeordnet wird. (AWG, 2012) Tunnelausbruchmaterial kann grundsätzlich einer direkten Verwertung bzw. stofflichen Verwertung nach Aufbereitung zugeführt sowie gesammelt werden.

2.1.3 Deponieverordnung

Die Deponieverordnung des Jahres 2008, kurz DepVO (2008), stellt ein Regelwerk im Bereich der Abfalldeponierung in Österreich dar, das weit über die EU-rechtlichen Mindestanforderungen hinausgeht. In der DepVO (2008) ist Tunnelausbruchmaterial als Bodenaushubmaterial, das insbesondere bei untertägigen Baumaßnahmen in Fest- oder Lockergestein anfällt, definiert.

Das AWG (2012) definiert eine Deponie folgendermaßen:

*„Im Sinne des Bundesgesetzes sind „**Deponien**“ Anlagen, die zur langfristigen Ablagerung von Abfällen oberhalb oder unterhalb (d. h. unter Tage) der Erdoberfläche errichtet oder verwendet werden, einschließlich betriebseigener Anlagen für die Ablagerung von Abfällen, oder auf Dauer (d. h. für länger als ein Jahr) eingerichtete Anlagen, die für die vorübergehende Lagerung von Abfällen genutzt werden. Nicht als Deponien gelten*

- *Anlagen, in denen Abfälle abgeladen werden, damit sie für den Weitertransport zur Behandlung an einem anderen Ort vorbereitet werden können,*
- *Anlagen zur Zwischenlagerung von Abfällen vor der Verwertung, sofern die Dauer der Zwischenlagerung drei Jahre nicht überschreitet, und*
- *Anlagen zur Zwischenlagerung von Abfällen vor der Beseitigung, sofern die Dauer der Zwischenlagerung ein Jahr nicht überschreitet.“*

2.1.3.1 Eingangskontrolle

Die Eingangskontrolle bei der Ablagerung von Tunnelausbruch kann erleichtert werden, wenn der Deponieinhaber eine befugte Fachperson oder Fachanstalt zur Überprüfung der Probenahmestellen und der Untersuchungsparameter, der Durchführung der Probenahme und der Elution vor Ort beauftragt.

2.1.3.2 Aufzeichnungs- und Meldepflichten

Der Inhaber einer Deponie hat die Abfälle getrennt nach Art, Menge, Herkunft und Verbleib fortlaufend aufzuzeichnen. Diese Aufzeichnungen sind gemäß Abfallnachweisverordnung (2012) in der geltenden Fassung durchzuführen. Seit 1. Jänner 2009 sind für Anlagen, in denen ein Behandlungsverfahren gemäß AWG zum Einsatz kommt, die Aufzeichnungen elektronisch gemäß Anhang 7 der DepVO zu führen. Der Anhang 7 beschreibt die Vorgaben für das elektronische Datenmanagement (EDM). Das EDM wurde vom Umweltbundesamt und dem Lebensministerium als Abwicklungsplattform für umfangreiche Registrierungs- und Meldeverpflichtungen der Umwelt- und Abfallwirtschaft ins Leben gerufen. Zusätzlich hat der Deponieinhaber gegebenenfalls die Durchführungen der unter „Eingangskontrolle“ beschriebenen Kontrollmaßnahmen betreffend Tunnelausbruch aufzuzeichnen.

2.1.3.3 Grenzwerte für die Deponierung von Abfällen

Das Tunnelausbruchmaterial vom Baulos KAT 2 wird auf Bodenaushubdeponien und Inertabfalldeponien gelagert, sofern keine Verwertung vorgesehen ist. In der Bodenaushubdeponie ist ausschließlich die Deponierung von nicht kontaminierten Bodenaushubmaterial und nicht kontaminierten Bodenbestandteilen zulässig. Nicht kontaminiertes Bodenaushubmaterial und nicht kontaminierte Bodenbestandteile dürfen ebenso auf einer Inertabfalldeponie abgelagert werden, sofern sie deren Grenzwerte einhalten.

Die Parameter im Feststoff (Gesamtgehalte) als auch im Eluat für die Annahme von Bodenaushubmaterial auf Bodenaushubdeponien und auf Inertabfalldeponien sind in den folgenden Tabellen angeführt. Gemäß Anhang 1 der DepVO dürfen Abfälle in allen Deponie(unter)klassen auch ohne Analyse des Phenolindex oder der organischen Summenparameter PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) oder BTEX (aromatische Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole) angenommen und deponiert werden, sofern kein Verdacht auf entsprechende kontaminierende Parameter besteht. Die Summenparameter PAK und BTEX sowie Phenol sind in Steinkohle und Erdöl enthalten. Sie können aus bestimmten Lösungsmitteln und Abgasen von Kraftfahrzeugen oder durch das Versickern von Treibstoffen als Schadstoffe in den Boden gelangen.

In dieser Arbeit wurden die Parameter und deren Grenzwerte wie folgt verglichen:

- Parameter im Feststoff (Gesamtgehalt): Bodenaushubdeponie (Tabelle 2-1) <> Inertabfalldeponie (Tabelle 2-2)

- Parameter im Eluat: Bodenaushubdeponie (Tabelle 2-3) <> Inertabfalldeponie (Tabelle 2-4)

Die Farbe Gelbgrün bedeutet, dass der jeweilige Grenzwert niedriger als der verglichene Grenzwert der anderen Deponieklasse ist. Die Farbe Blau weist darauf hin, dass jener Parameter nicht bei beiden Deponieklassen zu prüfen ist.

Vorweg werden die darin enthaltenen organischen Summerparameter definiert:

- PAK: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- TOX: aromatische Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole
- KW-Index: Kohlenwasserstoff-Index
- PCB: polychlorierte Biphenyle
- TOC: gesamte organische Kohlenstoff (total organic carbon)
- AOX: adsorbierbare organisch gebundene Halogene
- BTEX: aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole
- EOX: Extrahierbare organisch gebundene Halogene

Vergleich der Parameter im Feststoff (Gesamtgehalte)

Tabelle 2-1: Bodenaushubdeponie - Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) (Deponieverordnung, 2008)

Grenzwerte für Gehalte im Feststoff Bodenaushubdeponie		
Parameter	Grenzwert (mg/kg TM)	
<i>Anorganische Stoffe</i>		
	I	II ¹⁾
Arsen (als As)	50	200
Blei (als Pb)	150	500
Cadmium (als Cd)	2	4
Chrom gesamt (als Cr)	300	500
Cobalt (als Co)	50	
Kupfer (als Cu)	100	500
Nickel (als Ni)	100	500
Quecksilber (als Hg)	1	2
Zink (als Zn)	500	1 000
<i>Organische Summerparameter</i>		
TOC (als C)	30 000 ²⁾	
Kohlenwasserstoff-Index	50 / 100 / 200 ³⁾	
PAK (16 Verbindungen)	4	
davon Benzo(a)pyren	0,4	
BTEX	6	

- 1) Ist bei Bodenaushubmaterial der Gehalt eines Schadstoffes geogen bedingt, so ist eine Überschreitung bis zu dem in Spalte II angeführten Grenzwert zulässig. Für Bodenaushubmaterial mit geogener Belastung ist die Schlüssel-Nummer 31411 33 zu verwenden.
- 2) Bei nicht verunreinigtem Bodenaushubmaterial und nicht verunreinigten Bodenbestandteilen mit aufgrund ihrer Humusgehalte erhöhten TOC-Werten: 90000 mg/kg
- 3) - 50 mg/kg TM gilt für Bodenaushubmaterial mit TOC ≤ 5000 mg/kg TM
 - 100 mg/kg TM gilt für Bodenaushubmaterial mit TOC > 5000 und ≤ 20 000 mg/kg TM
 - 200 mg/kg TM gilt für Bodenaushubmaterial mit TOC > 20000 mg/kg TM

Tabelle 2-2: Inertabfalldéponie - Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) (Déponieverordnung, 2008)

Grenzwerte für Gehalte im Feststoff Inerabfalldéponie	
Parameter	Grenzwert (mg/kg TM)
<i>Anorganische Stoffe</i>	
Arsen (als As)	200
Blei (als Pb)	500
Cadmium (als Cd)	4
Chrom gesamt (als Cr)	500
Cobalt (als Co)	50
Kupfer (als Cu)	500
Nickel (als Ni)	500
Quecksilber (als Hg)	2
Zink (als Zn)	1 000
<i>Organische Summenparameter</i>	
TOC (als C)	30 000 ¹⁾
Kohlenwasserstoff-Index	500
PAK (16 Verbindungen)	20
davon Benzo(a)pyren	2
PCB (7 Verbindungen)	1
BTEX	6

- 1) Bei einem Glühverlust von nicht größer als 5 Massenprozent gilt der TOC-Grenzwert als eingehalten.

Vergleich der Parameter im Eluat

Tabelle 2-3: Bodenaushubdeponie - Grenzwerte für Gehalte im Eluat (Deponieverordnung, 2008)

Grenzwerte für Gehalte im Eluat Bodenaushubdeponie	
Parameter	Grenzwert (mg/kg TM)
<i>pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit</i>	
pH-Wert	6,5 bis 11 ¹⁾
elektrische Leitfähigkeit	150 mS/m ²⁾
<i>Anorganische Stoffe</i>	
Aluminium (als Al)	(*) ³⁾
Arsen (als As)	0,5
Barium (als Ba)	10
Blei (als Pb)	1
Cadmium (Cd)	0,05
Chrom gesamt (als Cr)	1
Cobalt (als Co)	1
Eisen (als Fe)	(*) ³⁾
Kupfer (als Cu)	2
Nickel (als Ni)	1
Quecksilber (als Hg)	0,01
Silber (als Ag)	0,2
Zink (als Zn)	20
Zinn (als Sn)	2
Ammonium (als N)	8
Cyanide, leicht freisetzbar (als CN)	0,2
Fluorid (als F)	20
Nitrat (als N)	100
Nitrit (als N)	2
Phosphat (als P)	5
<i>Organische Summenparameter</i>	
TOC (als C)	200
Kohlenwasserstoff-Index	5
EOX (als Cl)	0,3 ⁴⁾
anionenaktive Tenside (als MBAS)	1

- ¹⁾ Für aufgrund natürlicher Entwicklung versauerten Boden gilt der pH-Wertebereich ab 3,5.
²⁾ Für geogen bedingt gipshaltiges Bodenaushubmaterial beträgt der Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit 300 mS/m.
³⁾ Der Wert ist zu bestimmen und in die Beurteilung des Deponieverhaltens mit einzubeziehen.
⁴⁾ Gilt auch als eingehalten, wenn der Parameter AOX nicht mehr als 0,3 mg/kg TM beträgt.

Tabelle 2-4: Inertabfalldeponie - Grenzwerte für Gehalte im Eluat (Deponieverordnung, 2008)

Grenzwerte für Gehalte im Eluat Inertabfalldeponie	
Parameter	Grenzwert (mg/kg TM)
<i>pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit</i>	
pH-Wert	6,5 bis 12 ¹⁾
elektrische Leitfähigkeit	150 mS/m ²⁾
<i>Anorganische Stoffe</i>	
Aluminium (als Al)	(*) ³⁾
Antimon (als Sb)	0,06
Arsen (als As)	0,5
Barium (als Ba)	20
Blei (als Pb)	0,5
Cadmium (Cd)	0,04
Chrom gesamt (als Cr)	0,5
Cobalt (als Co)	1
Eisen (als Fe)	(*) ³⁾
Kupfer (als Cu)	2
Molybdän (als Mo)	0,5
Nickel (als Ni)	0,4
Quecksilber (als Hg)	0,01
Selen (als Se)	0,1
Silber (als Ag)	0,2
Zink (als Zn)	4
Zinn (als Sn)	2
Ammonium (als N)	8
Chlorid (als Cl)	800 ⁴⁾
Cyanide, leicht freisetzbar (als CN)	0,2
Fluorid (als F)	10
Nitrat (als N)	100
Nitrit (als N)	2
Phosphat (als P)	5
Sulfat (als SO ₄)	1 000 ^{4) 5)}
<i>Organische Summenparameter</i>	
TOC (als C)	500
Kohlenwasserstoff-Index	5
EOX (als Cl)	0,3 ⁶⁾
anionenaktive Tenside (als MBAS)	1
Phenolindex	1

¹⁾ Für aufgrund natürlicher Entwicklung versauertes Bodenaushubmaterial gilt der pH-Wertebereich ab 3,5.

- 2) Bei einem pH-Wert zwischen 11 und 12 beträgt der Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit 250 mS/m. Für geogen bedingt gipshaltiges Bodenaushubmaterial beträgt der Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit 300 mS/m.
- 3) Der Wert ist zu bestimmen und in die Beurteilung des Deponieverhaltens mit einzubeziehen.
- 4) Statt der Grenzwerte für Chlorid und Sulfat kann ein Grenzwert für den Abdampfrückstand von 4000 mg/kg TM angewendet werden.
- 5) Wird bei einem Abfall der Grenzwert von 1000 mg/kg TM nicht eingehalten, ist eine Annahme dennoch zulässig, wenn die Auslaugung die folgenden Werte nicht überschreitet: 1500 mg/l als Co bei $L/S = 0,1$ l/kg und 6000 mg/kg bei $L/S = 10$ l/kg. Zur Ermittlung des Grenzwerts bei $L/S = 0,1$ l/kg unter anfänglichen Gleichgewichtsbedingungen ist ein Perkolationstest erforderlich. Der Wert bei $L/S = 10$ l/kg kann entweder durch den Chargen-Auslaugtest oder einen Perkolationstest unter annähernden lokalen Gleichgewichtsbedingungen ermittelt werden.
- 6) Gilt auch als eingehalten, wenn der Parameter AOX nicht mehr als 0,3 mg/kg TM beträgt.

Resch (2012) hält fest, dass die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Aluminium, Ammonium, Nitrat und Nitrit im Eluat sowie die Parameter TOC und Kohlenwasserstoff-Index im Feststoff erfahrungsgemäß bei der Bestimmung der Deponieklasse von besonderer Bedeutung sind.

2.1.3.4 Grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruch

Gemäß Anhang 4, Teil 2, der DepVO (2008) wird die grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruch durchgeführt. Die Probenahmeplanung, die Durchführung der Probenahme und die Dokumentation erfolgt wie in der ÖNORM S 2127 (2011) „Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen“ beschrieben. Es sind jedoch Abweichungen, beschrieben in den folgenden Absätzen, gemäß dem Anhang 4, Teil 2, DepVO (2008) vorzunehmen:

Die grundlegende Charakterisierung wird aufgrund der Ergebnisse der sogenannten Hauptproben vorgenommen. Um allfällige Schadstoffbelastungen, verursacht durch Emissionen von Baumaschinen, durch den Einsatz von Sprengmitteln und Baustoffen oder durch natürliche geochemische Anomalien, z. B. Vererzungen, zu erfassen, sind während des Tunnelausbruchs Zusatzproben zu nehmen, zu analysieren und in ergänzenden Beurteilungsnachweisen zu führen.

Die Hauptprobenahmestellen sind zumindest alle 600 m festzulegen; jedoch sind pro Tunnel mindestens drei Hauptprobenahmestellen erforderlich. Weitere Probenahmestellen (Zusatzprobenahmestellen) sind im Abstand von maximal 200 m zwischen den Hauptprobenahmestellen festzulegen. Bei einer Probenahmestelle sind alle vorhandenen Informationen, insbesondere Ergebnisse von geologischen oder geotechnischen Erkundungen vor Beginn der Ausbruchtätigkeit zu berücksichtigen. Im Probenahmeplan ist für jede zu ziehende Probe ein Beurteilungsmaßstab nach dem Ermessen der befugten Fachperson oder Fachanstalt zu fixieren. Der Beurteilungsmaßstab ist jene Menge, die tatsächlich im Laufe der Ausbrucharbeiten beprobt wird.

Jede Hauptprobe muss einer Vollanalyse unterzogen werden, die Wahl der zu untersuchenden Parameter für die Zusatzproben fällt zufolge der Ergebnisse der Analysen von den Hauptproben. Besonders wichtig ist es, jene Parameter zu untersuchen, bei denen eine Überschreitung von Grenzwerten oder eine negative Auswirkung auf das Deponieverhalten zu erwarten sind. Folgende Parameter müssen jedenfalls bei Zusatzproben ausgewertet werden:

Im Eluat:

- Leitfähigkeit
- pH-Wert
- Nitrat-Stickstoff
- Nitrit-Stickstoff
- Ammonium-Stickstoff

Im Feststoff (Gesamtgehalt):

- Kohlenwasserstoffindex
- TOC

Wenn der Tunnelausbruch ohne den Einsatz von Sprengmittel erfolgt, kann die Analyse von Nitrat- und Nitrit-Stickstoff entfallen. Die Korngröße des zu untersuchenden Ausbruchmaterials darf 125 mm nicht überschreiten. Abweichungen von der maximalen Korngröße sowie vom Fest-/Flüssigverhältnis (Probemasse zu Elutionsmittel) des zu untersuchenden Materials sind zu dokumentieren und zu begründen. Bei Analysen im Eluat ist das Elutionsmittel mindestens einmal pro Stunde umzuwälzen.

Folgende Information stammt von Dipl.-Ing. Josef Mitterwallner, Anlagenreferent und Amtssachverständiger in der Abteilung 14 „Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit“, Referat „Abfallwirtschaft und Nachhaltigkeit“ (Stempfergasse 7, 8010 Graz): Nachdem das Kapitel 1.3 Grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruch im Anhang 4 der DepVO (2008) relativ allgemein gehalten wird, sind bei der Charakterisierung von Tunnelausbruchmaterial mit z. B. geogen bedingten Asbestanteilen in der Vergangenheit Probleme aufgetreten. Auch im vorliegenden Entwurf der Deponieverordnung (2013) wird auf diese Problematik nicht eingegangen, was zur Folge haben könnte, dass asbesthaltige Ausbruchmaterialien mitunter nur auf abgedichteten Deponien abgelagert werden dürfen.

Einhaltung der Grenzwerte

Gemäß dem Anhang 4, Teil 2, DepVO (2008), fällt das Ergebnis der Untersuchungen positiv aus, wenn die Untersuchungsergebnisse der Hauptproben und der Zusatzproben unterhalb des Grenzwertes oder beim pH-Wert im Grenzwertbereich liegen. Bei Überschreitung des Grenzwertes oder des Grenzwertbereiches beim pH-Wert eines untersuchten Parameters gibt es eine Möglichkeit, den Grenzwert doch einzuhalten: Durch vermehrte Beprobung des betreffenden Tunnelabschnittes und Analyse dieser Proben kann der Nachweis erbracht werden, dass, bezogen auf eine Tunnellänge von 100 m (von der Probenahmestelle nach beiden Seiten jeweils 50 m),

der Beurteilungswert den Grenzwert einhält und alle Untersuchungsergebnisse den Grenzwert nicht um mehr als den zweifachen Toleranzwert überschreiten. Der Beurteilungswert ist hier der arithmetische Mittelwert der Beprobungen.

Der Toleranzwert ist in der DepVO (2008) wie folgt in Prozent des Grenzwertes angegeben:

- 20% für Parameter > 1 000 mg/kg TM
- 40% für Parameter > 100 mg/kg TM ≤ 1 000 mg/kg TM
- 60% für Parameter > 10 mg/kg TM ≤ 100 mg/kg TM
- 65% für Parameter > 1 mg/kg TM ≤ 10 mg/kg TM
- 70% für Parameter ≤ 1 mg/kg TM
- 20% für die Leitfähigkeit
- 50% für die Stabilitätsparameter
- 600 kJ/kg TM beim Brennwert.

2.1.4 Bundesabfallwirtschaftsplan

Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) hat zur Umsetzung der Ziele und Grundsätze des AWG mindestens alle sechs Jahre einen Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) zu erstellen. Der derzeitige Bundesabfallwirtschaftsplan (2011) ist die fünfte Fortschreibung und verankert zum ersten Mal auf die Bewahrung der Umwelt fokussierte Grundsätze zur Verwertung von Tunnelausbruchmaterial.

Tunnelausbruchmaterial fällt unter den Begriff „behandelte Aushubmaterialien“, wenn es biologisch, chemisch und/oder physikalisch/mechanisch behandelt wurde. Im BAWP (2011) wird auf die Deponieverordnung, kurz DepVO (2008), verwiesen, da ihre Vorgaben für die grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruchmaterial zur Verwertung gelten. Der Parameterumfang zur Untersuchung der Hauptprobenahmestellen, die Qualitätsklassen und die Grenzwerte sind im BAWP (2011) festgelegt.

2.1.4.1 Grundlegende Charakterisierung von Aushubmaterial

In der DepVO (2008) ist Bodenaushubmaterial wie folgt definiert:

*„**Bodenaushubmaterial** fällt durch Ausheben oder Abräumen von im Wesentlichen natürlich gewachsenen Boden oder Untergrund – auch nach Umlagerung – an. Der Anteil an anorganischen bodenfremden Bestandteilen, z. B. mineralischen Baurestmassen, darf nicht mehr als 5 Prozent des Volumens und der Anteil an organischen bodenfremden Bestandteilen, z. B. Kunststoffe, Holz, darf nicht mehr als 1 Prozent des Volumens betragen. Diese bodenfremden Be-*

standteile müssen bereits vor der Aushub- oder Abräumtätigkeit im Boden oder Untergrund vorhanden sein.“

Das Vermischungsverbot ist einzuhalten, unabhängig davon, ob das Bodenaushubmaterial von einem oder mehreren Standorten stammt. Dieses Verbot gemäß AWG besagt, dass das Vermischen oder Vermengen eines Abfalls mit anderen Abfällen oder Sachen unzulässig ist, wenn es dadurch bei abfallrechtlich erforderlichen Untersuchungen oder Behandlungen zu Erschwernissen oder Behinderungen kommt oder die abfallspezifischen Grenzwerte oder Qualitätsanforderungen nur durch den Mischvorgang eingehalten werden können.

Nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial, das ohne weitere Vorbehandlung oder Aufbereitung verwertet wird, muss im Vorfeld durch eine externe, befugte Fachperson oder Fachanstalt grundlegend charakterisiert werden. Zu Gesteinskörnung verwertetes Bodenaushubmaterial wird ebenso einer grundlegenden Charakterisierung unterzogen. Wenn die Beprobung nach Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit erfolgt, wie es bei Tunnelausbruchmaterial der Fall ist, gelten die Mindestanforderungen der DepVO (2008).

Parameterumfang

Eine „Erstanalyse Boden“ entspricht einer Erstuntersuchung des Tunnelausbruchmaterials, wobei die Parameter der folgenden Tabellen laut BAWP (2011) aus den jeweiligen Feldproben zu untersuchen sind. Der Parameterumfang der „Erstanalyse Boden“ ermöglicht eine Beurteilung für die Verwertung als auch eine Beurteilung der Zulässigkeit der Ablagerung ohne Untersuchungen weiterer Parameter.

Im Zuge des zyklischen Vortriebs am KAT 2 fällt Tunnelausbruchmaterial mit der Schlüsselnummer SN 31411 29 an. Gemäß der Abfallverzeichnisverordnung (2002) beinhaltet die Schlüssel-Nummerngruppe 31 alle Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle). Die Nummer 31411 bedeutet „Bodenaushub“ und die Spezifizierung 29 „Bodenaushubmaterial mit Hintergrundbelastung“. Im BAWP (2011) ist die Qualitätsklasse BA für eine Sonderregelung für Bodenaushubmaterial mit Hintergrundbelastung eingeführt worden. Wenn nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial der Qualitätsklasse BA zugeordnet wird, kann es als Rekultivierungsschicht oder Untergrundverfüllung verwertet werden. Eine befugte Fachperson oder Fachanstalt muss anhand entsprechender Untersuchungen diese Verwertung überprüfen und einen Beurteilungsnachweis zur Bestätigung erstellen. Im Falle einer Schadstoffbelastung mit geogenem Hintergrund dürfen die höheren Grenzwerte einzelner Schwermetalle gemäß Tabelle 1 im BAWP (2011) herangezogen werden. Wiederum ist eine befugte Fachperson oder Fachanstalt verantwortlich, den Nachweis einer geogenen Hintergrundbelastung zu bringen. Der für den Einbau verantwortliche Bauherr muss den Beurteilungsnachweis und die geplante Durchführung einer konkreten Verwertungsmaßnahme mit der für den Einbau örtlich zuständigen Abfallbehörde abstimmen. Es ist nicht zulässig, Material der Qualitätsklasse BA als Untergrundverfüllung im und unmittelbar über dem Grundwasser zu verwerten. Grundsätz-

lich ist der Einsatz von Bodenaushubmaterial der Qualitätsklasse BA als landwirtschaftliche Rekultivierung, als nicht landwirtschaftliche Rekultivierung und als Untergrundverfüllung zulässig, sofern es sich bei den Standorten des Einbaus um Bereiche vergleichbarer Belastungssituationen in Abstimmung mit der für den Einbau örtlich zuständigen Abfallbehörde handelt.

Vergleich der Parameter im Feststoff (Gesamtgehalte) und im Eluat

In den folgenden zwei Tabellen werden die Parameter der Qualitätsklasse BA des BAWP (2011) mit den Parametern der Bodenaushub- und Inertabfalldeponie der DepVO (2008) (siehe Kapitel 2.1.3) verglichen. Die Farbe Gelbgrün bedeutet, dass der Grenzwert der Qualitätsklasse BA niedriger als der entsprechende Grenzwert der Bodenaushub- und Inertabfalldeponie ist. Die Farbe Blau weist darauf hin, dass jener Parameter nur bei der Qualitätsklasse BA zu prüfen ist.

Tabelle 2-5: Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)

BAWP - Erstanalyse Boden – Feststoff (Gesamtgehalte)				
Parameter	Klasse A1	Klasse A2-G	Klasse A2	Klasse BA
Arsen (als As)	20 ⁷⁾	30	30	50/200 ^{7, 8)}
Blei (als Pb)	100 ⁷⁾	100	100	150/500 ^{7, 8)}
Cadmium (als Cd)	0,5 ^{1, 7)}	1,1	1,1	2/4 ^{7, 8)}
Chrom gesamt (als Cr)	100 ⁷⁾	90	100	300/500 ^{7, 8)}
Cobalt (als Co)	50 ⁷⁾	30	50	50 ⁷⁾
Kupfer (als Cu)	60 ⁷⁾	60	90	100/500 ^{7, 8)}
Nickel (als Ni)	60 ⁷⁾	55	60	100/500 ^{7, 8)}
Quecksilber (als Hg)	0,5 ⁷⁾	0,7	0,7	1/2 ^{7, 8)}
Zink (als Zn)	150 ⁷⁾	300	450	500/1.000 ^{7, 8)}
*BTEX	0,5	1	1	1
KW-Index	50/100/200 ²⁾	20	50/100/200 ²⁾	50/100/200 ^{2, 6)}
PAK (16 Verbindungen)	2 ³⁾	2 ³⁾	2 ³⁾	4 ^{3, 4)}
PAK (Benz[a]pyren)	0,2	0,2	0,2	0,4
*PCB (7 Verbindungen)	0,1	0,1	0,1	1
TOC (als C)	5)	5.000	10.000 ⁵⁾ (gilt für Untergrundverfüllung)	10.000 ^{5, 6)} (gilt für Untergrundverfüllung)

* Nur bei Verdacht zu untersuchen (auch wenn es für die Verwertung keinen Grenzwert gibt)

¹⁾ 1 mg/kg TM bei einem pH-Wert ≥ 6 ; pH-Wert nach ONORM L 1083

²⁾ 50 mg/kg TM gilt für Bodenaushub und -material mit TOC ≤ 5.000 mg/kg TM
100 mg/kg TM gilt für Bodenaushub und -material mit TOC > 5.000 mg/kg TM und ≤ 20.000 mg/kg TM

200 mg/kg TM gilt für Bodenaushub und -material mit TOC > 20.000 mg/kg TM

³⁾ Bezogen auf Trocknung bei 30° Celsius

- 4) Bodenaushub aus Industrie-, Gewerbe- und Siedlungsgebieten mit einer PAK-Hintergrundbelastung bis 20 mg/kg TM kann in Gebieten gleicher Belastung außerhalb des Grundwassers und außerhalb unmittelbar über dem Grundwasser eingebaut werden, wobei die Bildung von Sickerwasser durch Oberflächenversiegelung bzw. -verdichtung zu unterbinden ist.
- 5) Für die Herstellung von Rekultivierungsschichten gelten die Kennwerte der Rekultivierungsrichtlinie.
- 6) Für torfhaltiges Bodenaushubmaterial sind im Einzelfall in Abstimmung mit der Behörde Ausnahmen zulässig.
- 7) Zur Verwertung als landwirtschaftliche Rekultivierungsschicht (Klasse A1) oder als landwirtschaftliche Rekultivierungsschicht in Bereichen vergleichbarer Belastungssituation (Klasse BA) ist für jede Feldprobe zusätzlich der Gesamtgehalte in der Fraktion < 2 mm zu untersuchen.
- 8) Ist für Bodenaushubmaterial der Gehalt eines Schadstoffes geogen bedingt, so ist eine Überschreitung bis zum höheren angeführten Grenzwert zulässig.

Beim Vergleich der Parameter im Feststoff zeigt sich, dass die höheren Grenzwerte der anorganischen Stoffe von Arsen bis Zink der Qualitätsklasse BA jenen der Bodenaushub- und Inertabfalldeponie entsprechen. Die Grenzwerte der organischen Summenparameter der Qualitätsklasse BA sind mit jenen der Bodenaushubdeponie ident (ausgenommen BTEX und TOC).

Tabelle 2-6: Grenzwerte für Gehalte im Eluat (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)

BAWP - Erstanalyse Boden – Eluat				
Parameter	Klasse A1	Klasse A2-G	Klasse A2	Klasse BA
pH-Wert ⁵⁾	4)	6,5-9,5	Kennwert Untergrundverfüllung: 4,5-8 ⁴⁾	Kennwert Untergrundverfüllung: 4,5-8 ⁴⁾
elektrische Leitfähigkeit ⁵⁾	4)	50	Kennwert Untergrundverfüllung: 40 ⁴⁾	Kennwert Untergrundverfüllung: 40 ⁴⁾
Abdampfrückstand		5.000		
Aluminium (als Al)	– ¹⁾	5	– ¹⁾	– ¹⁾
Antimon (als Sb)		0,1		
Arsen (als As)	0,3	0,3	0,3	0,5
Barium (als Ba)	10	5	10	10
Blei (als Pb)	0,3	0,3	0,3	1
Cadmium (als Cd)	0,03	0,03	0,03	0,05
Chrom gesamt (als Cr)	0,3	0,3	0,3	1
Cobalt (als Co)	1	0,5	1	1
Eisen (als Fe)	– ¹⁾	5	– ¹⁾	– ¹⁾
Kupfer (als Cu)	0,6	0,6	0,6	2
Molybdän (als Mo)	0,5	0,5	0,5	0,5
Nickel (als Ni)	0,6	1	0,6	1
Quecksilber (als Hg)	0,01	0,01	0,01	0,01
Selen (als Se)	0,1	0,1	0,1	0,1
Silber (als Ag)	0,2	0,2	0,2	0,2
Zink (als Zn)	18	18	18	20

Zinn (als Sn)	2	0,5	2	2
Ammonium (als N)	8	1	8	8 ³⁾
Cyanide leicht freisetzbar (als CN)	0,2	0,1	0,2	0,2
Fluorid (als F)	20	15	20	20
Nitrat (als N)	100	70	100	100
Nitrit (als N)	2	0,5	2	2
Phosphat (als P)	5	1	5	5
Sulfat (als SO ₄)		1500		
AOX als (Cl)	0,3 ²⁾	0,3 ²⁾	0,3 ²⁾	0,3 ²⁾
KW-Index	5	1	5	5
Phenolindex		0,05		
anionenaktive Tenside (als MBAS)	1	1	1	1
TOC (als C)		100	100 (gilt für f. Untergrundverfüllung)	100 (gilt für f. Untergrundverfüllung)

- 1) Der Wert ist zu bestimmen und im Analysenbericht anzugeben.
- 2) Gilt auch als eingehalten, wenn der Parameter EOX nicht mehr als 0,3 mg/kg TM beträgt.
- 3) Bei der Verwertung von Material der Klasse BA gilt für eine geogene Hintergrundbelastung ein Grenzwert bis zu 40 mg/kg TM.
- 4) Für die Herstellung von Rekultivierungsschichten gelten für pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit die jeweiligen Bestimmungsmethoden und Kennwerte der Rekultivierungsrichtlinie.
- 5) Im Falle einer Deponierung eines Bodenaushubmaterials gelten für pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit die entsprechenden Grenzwerte des Anhang 1 der DepVO 2008.

Beim Vergleich der Parameter im Eluat erkennt man, dass die Grenzwerte der anorganischen Stoffe von Aluminium bis Phosphat der Qualitätsklasse BA mit jenen der Bodenaushubdeponie übereinstimmen. Zusätzlich sind bei der Qualitätsklasse BA wie bei der Inertabfalldeponie anorganische Stoffe wie Antimon, Molybdän, Selen und Sulfat zu untersuchen.

Beurteilungsnachweis

Die Gültigkeit von Beurteilungsnachweisen als Ergebnisse einer grundlegenden Charakterisierung vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit beträgt maximal zehn Jahre. Im Falle des Einbaus des Aushubmaterials sollte der Beurteilungsnachweis nicht älter als drei Jahre sein. Ansonsten hat die befugte Fachperson oder Fachanstalt die Bestätigung zu erbringen, dass der vorliegende Beurteilungsnachweis den aktuellen Gegebenheiten entspricht.

Zusätzlich sind von allen gezogenen qualifizierten Stichproben Rückstellproben (zumindest 1 kg) zumindest ein Jahr lang nach Ausstellung des jeweiligen Beurteilungsnachweises aufzubewahren. Bei einmalig anfallenden Abfällen, dazu zählt Tunnelausbruchmaterial, hat die befugte Fachperson oder Fachanstalt bis zur letzten Anlieferung des Abfalls die Rückstellproben mindestens 10 Jahre aufzuheben. Im aktuellen Entwurf der Deponieverordnung (2013) beträgt die

Lagerdauer der Rückstellproben zukünftig nur mehr 1 Jahr. Gemäß der DepVO (2008) ist eine **Stichprobe** eine „...Probe, die an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt gezogen wird; eine Stichprobe wird nicht einzeln untersucht, sondern mit anderen Stichproben zu einer qualifizierten Stichprobe zusammengefasst.“ Weiters ist eine **qualifizierte Stichprobe** „...eine Probe, die aus mehreren Stichproben besteht und die einer bestimmten Abfallmenge und einer bestimmten Abfallart zugeordnet werden kann“ (DepVO, 2008).

2.1.4.2 Verwertung von Tunnelausbruchmaterial

Im BAWP (2011) wird vorgeschrieben, dass Tunnelausbruchmaterial – bei Einhaltung der jeweiligen Qualitätskriterien – zur Untergrundverfüllung oder als Recyclingbaustoff verwertet werden darf. Tunnelausbruchmaterial kann zwar nicht als Recyclingprodukt betrachtet werden, da es unbehandelt den Verwertungskriterien für Bodenaushubmaterial unterliegt, jedoch können die Richtlinien des österreichischen Baustoff-Recycling Verbandes (BRV) für die Durchführung der Aufbereitung als Leitfaden herangezogen werden.

Anforderungen an die Durchführung einer Untergrundverfüllung

Durch diese Art der Verwertung wird neuer Boden geschaffen, weshalb sich das Material der Untergrundverfüllung an den Aufbau und an die Eigenschaften eines natürlichen Bodens anpassen muss. Eine Untergrundverfüllung, ausgenommen unterhalb einer Bebauung (z. B. Straßen, Gebäude, Wege), darf nur mit einer für die angestrebte Nutzung geeigneten und sich an Böden der Region mit vergleichbarer Funktion orientierten Rekultivierungsschicht aufgebracht werden. Eine Rekultivierungsschicht besteht aus durchwurzelbaren Schichten bis maximal zwei Meter Tiefe.

Die Gründe der ökologischen und technischen Nützlichkeit einer Untergrundverfüllung müssen dargelegt werden. Untergrundverfüllungen können im Zusammenhang mit konkreten Bauvorhaben eine konkrete bautechnische Funktion erfüllen, wie z. B. Verfüllung oder Bodenaustausch im Zuge der Herstellung von Dämmen und Unterbauten für Straßen, Gleisanlagen oder Fundamenten, Baugruben- oder Künettenverfüllung sowie die Herstellung eines Lärmschutzwalls. Es sind der Nachweis der Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte (Tabelle 2-5, Tabelle 2-6) sowie der Beleg der technischen Eignung (z. B. anhand einschlägiger Normen und Richtlinien) zum Nachweis der Nützlichkeit ausreichend. Beseitigungsmaßnahmen sind zu treffen, wenn die Nützlichkeit nicht zu begründen ist oder die Anforderungen des BAWP (2011) nicht eingehalten werden.

Anforderungen für die Verwertung als Recyclingbaustoff

Bei der Verwertung von Tunnelausbruchmaterial als Recyclingbaustoff gelten die Anforderungen des Kapitels „Baurestmassen“ aus dem BAWP (2011). Gemäß Definition sind Recyclingbaustoffe „zur Verwertung geeignete mineralische Gesteinskörnungen entsprechend den Materialbezeichnungen der relevanten Normen (...) bzw. der im September 2009 verabschiedeten 8. Auflage der Richtlinie für Recyclingbau-

stoffe des ÖBRV, die nach der Aufbereitung von Baurestmassen in einer Recyclinganlage entstehen“ (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011). Die Prüfungsmodalitäten für die Umweltverträglichkeit (Eigen- und Fremdüberwachung) sind in der zuvor genannten Richtlinie für Recyclingbaustoffe festgelegt.

Im BAWP (2011) werden vier Qualitätsklassen unterschieden: A+, A, B und C. Die Qualitätsklasse C betrifft ausschließlich Hochbaurestmassen und ist somit für eine weitere Betrachtung in dieser Masterarbeit nicht relevant. Die Qualitätsklassen werden den Anwendungsformen ungebunden ohne Deckschicht, ungebunden mit Deckschicht oder in gebundener Form ohne/mit Deckschicht und als Zuschlagstoff für Asphalt oder Beton zugeordnet (siehe Tabelle 2-7). Am Baulos KAT 2 soll das Tunnelausbruchmaterial vorrangig als Gesteinskörnung für Beton und als Drainagekies zum Schutz der Tunneldrainageleitungen zum Einsatz kommen. Somit wird einerseits von Zuschlagstoff für Beton und andererseits von ungebundenem Material mit Deckschicht gesprochen.

Im Regelfall ist für die Zuordnung zu einer Qualitätsklasse die Untersuchung der Leitparameter gemäß Tabelle 2-8 ausreichend. Wenn es Hinweise oder einen Verdacht auf Kontamination zufolge geogener oder bautechnischer (z. B. durch Maschinenöle) Belastungen gibt, sind im Ausbruchmaterial zusätzlich die Parameter der Tabelle 2-9 zu untersuchen. Signifikante KW-Gehalte sind nur dann zulässig, wenn nachgewiesen werden kann, dass sie nicht von Ölkontaminationen, sondern aus den Primärrohstoffen stammen. In Tabelle 2-8 und Tabelle 2-9 werden die Grenzwerte der Qualitätsklassen gemäß BAWP (2011) mit den Grenzwerten der Bodenaushub- und Inertabfalldeponie gemäß DepVO (2008) verglichen. Dort sind die niedrigeren und somit strengeren Grenzwerte der Qualitätsklassen Gelbgrün markiert.

Tabelle 2-7: Qualitätsklassen: Einsatzbereich für Recycling-Baustoffe (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)

Anwendungsform	hydrogeologisch sensibles Gebiet	hydrogeologisch weniger sensibles Gebiet
ungebunden ohne Deckschicht ¹⁾	Qualitätsklasse A+	Qualitätsklassen ²⁾ A+, A
ungebunden mit Deckschicht oder in gebundener Form ohne/mit Deckschicht ¹⁾	Qualitätsklassen ³⁾ A+, A	Qualitätsklassen A+, A, B
als Zuschlagstoff für Asphalt oder Beton	Qualitätsklassen A+, A, B	Qualitätsklassen A+, A, B

¹⁾ Als Deckschichten gelten bindemittelgebundene Schichten (Asphaltbelag, Betonbelag), welche die Durchsickerung des gesamten Recycling-Baustoffs mit Niederschlägen verhindert.

²⁾ Bis zu einer maximalen Schichtdecke von 2 m und einer maximalen Kubatur von 20.000 m³ können auch Recycling-Baustoffe anderer Qualitätsklassen eingesetzt werden, sofern die Grenzwerte der Qualitätsklasse A nur im Parameter Sulfat bis maximal 4.500 mg/kg TS überschritten werden.

³⁾ Im Falle der Anwendung mit Deckschicht können auch Recycling-Baustoffe anderer Qualitätsklassen eingesetzt werden, sofern die Grenzwerte der Qualitätsklasse A nur im Parameter Sulfat bis maximal 4.500 mg/kg TS überschritten werden.

Tabelle 2-8: Qualitätsklassen – Grenzwerte für Recycling-Baustoffe (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)

BAWP - Qualitätsklassen: Grenzwerte für Recycling-Baustoffe				
Parameter	Einheit	Qualitätsklasse A+	Qualitätsklasse A	Qualitätsklasse B
Eluat bei L/S 10				
pH-Wert	–	7,5 bis 12,5 ²⁾	7,5 bis 12,5 ²⁾	7,5 bis 12,5 ²⁾
Elektrische Leitfähigkeit	mS/m	150 ¹⁾²⁾	150 ¹⁾²⁾	150 ¹⁾²⁾
Chrom gesamt	mg/kg TS	0,3	0,5	1
Kupfer	mg/kg TS	0,5	1	2
Ammonium (als N) ⁶⁾	mg/kg TS	1	4	8
Nitrit (als N) ⁶⁾	mg/kg TS	0,5	1	2
Sulfat (als SO ₄)	mg/kg TS	1.500	2.500	6.000 ³⁾
KW-Index	mg/kg TS	1	3	5
Gesamtgehalt				
PAK (16 Verbindungen) ⁴⁾	mg/kg TS	4	12	20

- ¹⁾ Bei einem pH-Wert zwischen 11,0 und 12,5 beträgt der Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit 200 mS/m.
- ²⁾ Bei Überschreitung des Wertes siehe Punkt R4.1.4 der „Richtlinie für Recycling-Baustoffe“ (Österreichischer Baustoff-Recycling Verband OBRV 2009, 8. Auflage)
- ³⁾ Bei einem Ca/SO₄-Verhältnis von $\geq 0,43$ im Eluat gilt ein Grenzwert von 8.000 mg/kg TS.
- ⁴⁾ Bei einem Asphaltanteil von maximal 5 M-% entfällt diese Prüfung.
- ⁵⁾ Bei einem Ca/SO₄-Verhältnis von $\geq 0,43$ im Eluat gilt ein Grenzwert von 10.000 mg/kg TS.
- ⁶⁾ Der Grenzwert gilt als eingehalten, wenn der arithmetische Mittelwert aller Untersuchungsergebnisse der letzten 12 Monate den Grenzwert einhält und dabei kein einzelnes Untersuchungsergebnis den jeweiligen Toleranzwert überschreitet. Zur Berechnung der Toleranzwerte siehe Punkt A7.3.2 der „Richtlinie für Recycling-Baustoffe“ (Österreichischer Baustoff-Recycling Verband OBRV 2009, 8. Auflage).

Tabelle 2-9: Qualitätsklassen – zusätzliche Grenzwerte für Recycling-Baustoffe (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)

BAWP - Qualitätsklassen: zusätzliche Grenzwerte für Recycling-Baustoffe				
Parameter	Einheit	Qualitätsklasse A+	Qualitätsklasse A	Qualitätsklasse B
Eluat bei L/S 10				
Antimon	mg/kg TS	0,06	0,06	0,1
Arsen	mg/kg TS	0,5	0,5	0,5
Barium	mg/kg TS	20	20	20
Blei	mg/kg TS	0,5	0,5	0,5
Cadmium	mg/kg TS	0,04	0,04	0,04
Molybdän	mg/kg TS	0,5	0,5	0,5
Nickel	mg/kg TS	0,4	0,4	0,6
Quecksilber	mg/kg TS	0,01	0,01	0,01
Selen	mg/kg TS	0,1	0,1	0,1
Zink	mg/kg TS	4	4	18

Chlorid	mg/kg TS	800	800	1.000
Fluorid	mg/kg TS	10	10	15
Phenolindex	mg/kg TS	1	1	1
DOC ¹⁾	mg/kg TS	500	500	500
TDS ²⁾	mg/kg TS	4.000	4.000	8.000
Gesamtgehalt				
Arsen	mg/kg TS	20	30	30
Blei	mg/kg TS	30	100	100 ³⁾
Cadmium	mg/kg TS	0,5	1,1	1,1
Chrom gesamt	mg/kg TS	40	90	90 ³⁾
Kupfer	mg/kg TS	30	90	90 ³⁾
Nickel	mg/kg TS	30	55	55 ³⁾
Quecksilber	mg/kg TS	0,2	0,7	0,7
Zink	mg/kg TS	100	450	450

¹⁾ Kann bei eigenem pH-Wert oder alternativ bei L/S = 10 l/kg und pH-Wert 7,5 bis 8,0 untersucht werden.

²⁾ Statt Sulfat und Chlorid können die Werte für vollständig gelöste Feststoffe (TDS) herangezogen werden. Sulfat muss aber jedenfalls bestimmt werden.

³⁾ Für geogen bedingte Gehalte in Gesteinskörnungen gelten die Grenzwerte der Spalte II der Tabelle 1 des Anhangs 1 der DepVO 2008 (siehe auch Kapitel 7.16. Gleisaushubmaterial).

Ein Qualitätssicherungssystem gewährleistet bei der Herstellung von Recycling-Baustoffen eine gleichbleibende Qualität. Das Qualitätssicherungssystem hat die Aufbauorganisation, Verantwortlichkeiten, Abläufe, Verfahren und Mittel zur Verwirklichung der Qualitätsziele zu umfassen und hat auch Vorgaben zur Eingangskontrolle, zur Eigen- und Fremdüberwachung, zu Aufzeichnungspflichten sowie zur Kennzeichnung als Information für Anwender zu beinhalten (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011). Werden Recycling-Baustoffe in Verkehr gebracht, ist jedenfalls eine Zertifizierung der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine zugelassene Prüfstelle sowie eine CE-Kennzeichnung der hergestellten Recycling-Baustoffe erforderlich (Steiermärkisches Bauproduktegesetz, 2010).

2.1.5 Abfallverzeichnisverordnung

Die Abfallverzeichnisverordnung (2002) umfasst ein einheitliches Verzeichnis für gefährliche und nicht gefährliche Abfälle. Die Abfallarten des Abfallverzeichnisses sind in der ÖNORM S 2100 (2005) mit dem Titel „Abfallverzeichnis“ aufgelistet. Laut Abfallverzeichnisverordnung erfolgt eine Veröffentlichung des Abfallverzeichnisses im Elektronischen Datenmanagement-Portal (EDM-Portal) durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Somit finden derzeit in Österreich primär die 5-stelligen Abfallschlüsselnummern Anwendung. Die in Anlage 2 der Abfallverzeichnisverordnung angeführten 6-stelligen Abfallcodes

sind nach § 5 der Verordnung erst dann zu verwenden, wenn dies im AWG oder in einer Verordnung zum AWG kundgemacht wird.

2.1.5.1 Nicht gefährliches oder ausgestuftes Bodenaushubmaterial

Die Zuweisung des Tunnelausbruchmaterials am KAT 2 zur Schlüsselnummer 31411 29 ist bereits unter Kapitel 2.1.4.1, Parameterumfang, besprochen worden. Falls das Ausbruchmaterial als gefährlich eingestuft wird, ist es den Schlüsselnummern 31423 oder 31424 zuzuordnen.

Die Schlüsselnummer 31423 mit der Spezifizierung 36 steht für ölverunreinigte Böden mit der Spezifizierung als Bodenaushubmaterial sowie ausgehobenes Schüttmaterial, KW-verunreinigt und nicht gefährlich. Dieses Material, das auch nicht gefährliches und verfestigtes oder stabilisiertes ölverunreinigtes Material sein kann, ist zur Ablagerung auf einer Deponie für nicht gefährliche Abfälle geeignet. Deponien für nicht gefährliche Abfälle sind gemäß DepVO (2008) Baurestmassendeponien, Reststoffdeponien und Massenabfalldeponien. Die Schlüsselnummer 31424 mit der Spezifizierung 37 beschreibt sonstige verunreinigte Böden mit der Spezifizierung als Bodenaushubmaterial sowie ausgehobenes Schüttmaterial, welches sonstige Verunreinigungen aufweist und nicht gefährlich ist. Die Ablagerung dieses Materials auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle ist zulässig. Dieser Abfallart ist nicht gefährliches oder ausgestuftes Bodenaushubmaterial zuzuweisen, wenn die Gehalte der Spezifizierung 29 ausschließlich für einzelne Parameter im Eluat überschritten sind und das Bodenaushubmaterial auf einer Bodenaushubdeponie oder Interabfalldeponie abgelagert wird, welche über eine entsprechende Genehmigung höherer Grenzwerte gemäß § 8 der DepVO (2008) verfügt. Die gleiche Festlegung gilt für nicht gefährliches oder ausgestuftes Bodenaushubmaterial, bei dem nicht nur die Grenzwerte der Spezifizierung 29 für einzelne Parameter im Eluat überschritten werden sondern auch Überschreitungen der Grenzwerte der Spezifizierung 29 im Feststoff aufgrund geogener Hintergrundbelastungen festzustellen sind. Dieser Klasse kann weiters sonstig verunreinigter Boden, der nicht gefährlich und verfestigt oder stabilisiert ist, zugeordnet werden.

Zur Erklärung von verfestigten und stabilisierten Böden wird die DepVO (2008) herangezogen. Ein verfestigter Abfall erfüllt bereits vor der Verfestigung die Annahmekriterien des Kompartiments. Seine physikalische Beschaffenheit wird durch die Verwendung von Bindemitteln (z. B. Zement) verändert, z. B. um Staub zu binden oder die Standsicherheit des Deponiekörpers zu erhöhen. Ein Kompartiment ist ein Teil der Deponie, auf dem eine vollständig getrennte Ablagerung von Abfällen sowie eine getrennte Deponiesickerwassererfassung stattfinden kann. Ein stabilisierter Abfall erfüllt in unbehandeltem Zustand die Annahmekriterien des Kompartiments nicht, und muss deshalb einer Behandlung zur dauerhaften Einbindung in eine Matrix unterzogen werden. Das Behandlungsverfahren kann mit hydraulischen, latent hydraulischen oder mit sonstigen, in chemischer Reaktion abbindenden Bindemitteln erfolgen.

2.1.5.2 Aushubmaterial mit mehr als fünf Volumprozent Baurestmassen

Wenn es sich bei Bodenaushubmaterial um nicht gefährliches Aushubmaterial mit mehr als fünf Volumprozent Baurestmassen handelt, ist es der Abfallart 31411 „Bodenaushub“ mit der Spezifizierung 33 „Inertabfallqualität“ zuzuordnen. Gemäß der Abfallverzeichnisverordnung wird dieser Qualität Bodenaushubmaterial zur Beseitigung zugeordnet, das die Grenzwerte der Tabelle 2-2 und Tabelle 2-4 (Grenzwerte der Inertabfalldeponie) einzuhalten hat. Ebenso ist der Abfallart mit Inertabfallqualität nicht gefährliches oder ausgestuftes Bodenaushubmaterial, das die Gehalte im Feststoff der Spezifizierung 29 ausschließlich aufgrund geogener Hintergrundbelastung überschreitet, zuzuordnen (Abfallverzeichnisverordnung, 2008).

Begriffsdefinition gemäß DepVO (2008):

„Inertabfälle sind Abfälle, die keinen wesentlichen physikalischen, chemischen oder biologischen Veränderungen unterliegen; Inertabfälle lösen sich nicht auf, brennen nicht und reagieren nicht in anderer Weise physikalisch oder chemisch, sie bauen sich nicht biologisch ab und beeinträchtigen nicht andere Materialien, mit denen sie in Kontakt kommen, in einer Weise, die zu einer Umweltbeeinträchtigung führen oder sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken könnte. Die gesamte Auslaugbarkeit und der Schadstoffgehalt der Abfälle und die Ökotoxizität des Sickerwassers müssen unerheblich sein und dürfen insbesondere nicht die Qualität von Oberflächenwasser oder Grundwasser gefährden.“

2.1.6 Verwertung von verunreinigten Aushubmaterialien

Im BAWP (2011) wird festgehalten, dass die Verwertung von verunreinigten Aushubmaterialien nur nach einer biologischen bzw. chemischen und/oder physikalischen/mechanischen Behandlung und einem Nachweis der Eignung zur Verwertung durch eine chemische Untersuchung zulässig ist. Es ist sicherzustellen, dass das Aushubmaterial nach der Behandlung keine gefahrenrelevanten Eigenschaften aufweist. Der Nachweis erfolgt gemäß dem Ausstufungsverfahren im AWG. Die Ausstufung erfolgt, indem der Abfallbesitzer, Inhaber der Deponie oder Abfallerzeuger den Nachweis der Nichtgefährlichkeit für eine bestimmte Abfallmenge dem BMLFUW anzeigt. Die Verwertung von gefährlich verunreinigten Aushubmaterialien ist jedenfalls untersagt. Das Aushubmaterial ist gefährlich verunreinigt, wenn gefahrenrelevante Eigenschaften gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008) nachgewiesen werden können.

Gemäß dem BAWP (2011) wird die biologische Behandlung im ex-situ-Verfahren von Kohlenwasserstoff- oder PAK-kontaminierten Böden oder bodenähnlichen Materialien beschrieben. Diese Art der Behandlung kann eine ökologisch und ökonomisch wichtige Alternative zur thermischen Behandlung darstellen. Der Grundsatz der Behandlung ist, dass die Schadstoffe (Kohlenwasserstoff oder PAK) tatsächlich biologisch abgebaut werden, und nicht nur eine Verringerung der Schadstoffkonzentration

durch Verdünnung (z. B. Mischen verschieden belasteter Böden) oder durch Flüchtigkeit bestimmter Schadstoffe (insbesondere niedrig siedender Kohlenwasserstoffe) stattfindet. Eine Verdünnung steht im Widerspruch mit dem Vermischungsverbot des AWG sowie mit den Grundsätzen einer nachhaltigen Abfallwirtschaft. Die befugte Fachperson oder Fachanstalt muss im Rahmen des Ausstufungsverfahrens die Bestätigung erbringen, dass der Abfall nicht mit anderen Materialien vermischt worden ist. Die ÖNORM S 2028 (2004) mit dem Titel „Biologische Behandlung kontaminierter Böden“ ist für die Beurteilung der Qualität der biologischen Behandlung im ex-situ-Verfahren und des behandelten Materials heranzuziehen. Die analytische Kontrolle sowohl der Eingangsströme als auch der Ausgangsströme aus der Aufbereitung hat zu erfolgen, wobei die analytische Kontrolle jedes zu behandelnden Materials zumindest die in der Behandlung abzubauenen Schadstoffe zu umfassen hat. Mit Hilfe von Leitparametern wird der Nachweis der Identität des Outputmaterials mit dem Inputmaterial durchgeführt. Die gemeinsame Behandlung ist nur von solchen Materialien zulässig, die mit gleichen Schadstoffen in vergleichbaren Konzentrationsbereichen belastet sind. Der Nachweis der Schadstoffabnahme erfolgt durch die Differenz der Konzentration vor (Eingang) und nach (Ausgang) der Behandlung.

Grundsätzlich ist die biologische Behandlung von Kohlenwasserstoff- oder PAK-kontaminierten Böden oder bodenähnlichen Materialien nicht mit der mechanisch-biologischen Behandlung gemäß der DepVO (2008) gleich zu setzen.

Aushubmaterial, das ausschließlich physikalisch/mechanisch behandelt (gesiebt) wurde, darf im Zuge einer Untergrundverfüllung oder Rekultivierungsschicht verwendet werden, solange ein Nachweis der Eignung durch eine chemische Untersuchung vorhanden ist. Jede behandelte Abfallmenge muss einer grundlegenden Charakterisierung gemäß dem Untersuchungsmodell für sonstige, einmalig anfallende Abfälle gemäß DepVO (2008), Anhang 4, unterzogen werden. Die Grenzwerte der verschiedenen Qualitätsklassen gemäß BAWP (2011) der Tabelle 2-5 und Tabelle 2-6 sind einzuhalten.

Aushubmaterialien, die chemisch oder biologisch behandelt wurden, dürfen keiner direkten Verwertung als Untergrundverfüllung oder Rekultivierungsschicht zugeführt werden. Jedoch dürfen diese Materialien im Zuge des Baustoff-Recyclings verwertet werden, sofern das behandelte Material vor Einbringung in den Recyclingprozess gemäß den folgenden zwei Untersuchungen der DepVO (2008), Anhang 4, grundlegend charakterisiert wurde:

- sonstiger einmalig anfallender Abfall
- wiederkehrender anfallender Abfall

Diese grundlegende Charakterisierung hat die Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte des BAWP (2011) für die einzelnen Qualitätsklassen und Anwendungsbereiche nachzuweisen, wobei der Parameter PAK-Gesamtgehalt jedenfalls zu untersuchen ist.

2.1.7 Altlastensanierungsgesetz

Das am 1. Juli 1989 in Kraft getretene Altlastensanierungsgesetz (1989), kurz ALSAG, macht Österreich zu einem der ersten europäischen Länder, das verbindliche und wichtige Schritte in Richtung einer zielgerichteten Erfassung von Verdachtsflächen und Altlasten setzt. Es wurden Rahmenbedingungen für die Erteilung von Sicherungs- und Sanierungsaufträgen festgelegt und Finanzierungsgrundlagen für die Förderung entsprechender Maßnahmen geschaffen.

Eine Altablagerung oder ein Altstandort (Verdachtsfläche) wird als sicherungs- oder sanierungsbedürftige Altlast mit der Verdachtsflächenmeldung durch den Landeshauptmann ausgewiesen. Wenn Verdacht auf eine erhebliche Gefährdung (Erstabschätzung) besteht, erfolgt eine Aufnahme in den Verdachtsflächenkataster. Die Erstabschätzung dient zur Festlegung weiterer Untersuchungen, die aus Mitteln zweckgebundener Altlastenbeiträge finanziert werden können. Lassen die Untersuchungen und die anschließende Gefährdungsabschätzung auf erhebliche Gefahren für die Gesundheit des Menschen und der Umwelt schließen, wird die Verdachtsfläche als sicherungs- oder sanierungsbedürftige Altlast in der Altlastenatlasverordnung (2004) ausgewiesen.

Um die Finanzierung der Maßnahmen zur Umsetzung des Altlastenmanagementprogrammes in Österreich zu ermöglichen, wird mit dem ALSAG 1989 seit 1990 ein Altlastenbeitrag eingehoben. Der Altlastenbeitrag ist für die Ablagerung von Abfällen zu entrichten und wurde in Anpassung an den Stand der Technik der DepVO (2008) zu einem wirkungsvollen Lenkungsinstrument aufgebaut (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011).

Bei einem Tunnelprojekt mit überdurchschnittlich hohen Mengen an Ausbruchmaterial ist rechtzeitig zu prüfen, ob etwaige Altlastenbeiträge zu entrichten sind. Beitragspflichtig ist

- Bodenaushubmaterial, das den Kriterien der Baurestmassendeponie nicht entspricht und auf einer Reststoff- oder Massenabfalldeponie abgelagert werden muss.

Nicht beitragspflichtig ist

- Bodenaushubmaterial, wenn dieses zulässigerweise für das Verfüllen von Geländeunebenheiten oder Geländeanpassungen wiederverwendet oder auf Bodenaushub-, Inertabfall- oder Baurestmassendeponien abgelagert wird.

Ein Altlastenbeitrag ist jedenfalls abzugeben, wenn Abfälle zum Zwecke der Verwertung über drei Jahre gelagert werden (ALSAG-Merkblatt 2010). Nicht als Abfälle anzusehen sind *„nicht kontaminierte Böden und andere natürlich vorkommende Materialien, die im Zuge von Bauarbeiten ausgehoben wurden, sofern sichergestellt ist, dass die Materialien in ihrem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem sie ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden“* (AWG, 2012). Tunnelausbruchmate-

rial des KAT 2 wird zwar als nicht kontaminiert prognostiziert, jedoch wird es nicht durch „Ausheben“ gewonnen und sein natürlicher Zustand wird zum Großteil durch Sieben, Brechen etc. verändert. Demnach ist Tunnelausbruchmaterial, das für die Verwertung länger als drei Jahre zwischengelagert wird, altlastenbeitragspflichtig. Eine Zwischenlagerung von Tunnelausbruchmaterial darf nur auf einer dafür genehmigten Fläche erfolgen. Die Lagerung der Materialien auf einer nicht dafür genehmigten Fläche löst demnach auch bereits vor dem Ablauf von einem Jahr (Beseitigung) bzw. drei Jahren (Verwertung) eine Beitragspflicht nach ALSAG 1989 aus. Der Altlastenbeitrag für die länger als dreijährige Zwischenlagerung von Tunnelausbruchmaterial auf Bodenaushub- oder Inertabfalldeponien beträgt 9,2 Euro/Tonne (Stand 2013). (ALSAG-Merkblatt, 2012).

2.1.8 Fazit zu den rechtlichen Grundlagen der Deponierung und Verwertung von Tunnelausbruchmaterial

Um eine objektive Stellungnahme zur Rechtslage von Tunnelausbruchmaterial in Österreich abgeben zu können, bedarf es eines umfangreichen Hintergrundwissens zur ursprünglichen Problematik, die Ursache für das Inkrafttreten eines Gesetzes oder einer Verordnung war. In Österreich fällt Tunnelausbruchmaterial unter den Begriff „Abfall“, da am Ort der Entstehung eine Entledigungsabsicht besteht. Zumindest wurde bei früheren Tunnelbauten Ausbruchmaterial ausschließlich deponiert. Die grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruchmaterial, die einer Vollanalyse von Hauptproben alle 600 m entlang einer Tunnelröhre entspricht, ist in der Deponieverordnung geregelt. Kapitel 3.2 geht im Detail auf die Beprobung von Ausbruchmaterial ein, aber bereits an dieser Stelle ist zu erwähnen, dass zufolge der kontinuierlich anfallenden Ausbruchmengen und einer nicht möglichen, vorseilenden Beprobung große Flächen für die Zwischenlagerung und Manipulation von Ausbruchmaterial auf der Baustelle zur Verfügung stehen müssen. Ebenso ist Tunnelausbruchmaterial, das zur Verwertung vorgesehen ist, grundlegend nach Deponieverordnung zu charakterisieren. Die Parameter der Hauptprobenahmestellen, die Qualitätsklassen und die Grenzwerte sind dem Bundesabfallwirtschaftsplan zu entnehmen. Betreffend die Zwischenlagerung von Ausbruchmaterial zur Verwertung und dem damit verbundenen Altlastenbeitrag würde eine Ausnahmeregelung für Tunnelbaustellen bzw. eine Erhöhung des altlastenbeitragsfreien Zeitraums über drei Jahre hinaus eine Erleichterung für zukünftige Tunnelprojekte mit sich bringen.

Derzeit wird in Österreich im BMLFUW an einer Änderung der DepVO (2008) gearbeitet. Insbesondere wird der Anhang 4 und dessen Vorgaben für die Beprobung überarbeitet. Dabei soll der Begriff des Tunnelausbruchmaterials von anderen Aushubmaterialien abgegrenzt werden.

Gleichzeitig befasst sich eine Arbeitsgruppe mit der Erstellung einer ÖNORM S 2128 mit dem Arbeitstitel „Untersuchung, Logistik und Schadstoffbegrenzung bei der Verwertung und Deponierung von Tunnelausbruchmaterial“.

2.2 Stand der Technik - Erkenntnisse eines österreichischen Forschungsprojektes

Im Zuge des von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft unterstützten Projektes „Recycling von Tunnelausbruchmaterial“ verfasste Dr. Daniel Resch seine Dissertation mit dem Titel „Verwendung von Tunnelausbruchmaterial – Entscheidungsgrundlagen“ an der Montanuniversität Leoben (Resch, 2012). Dieses Forschungsprojekt wurde durch den Lehrstuhl für „Subsurface Engineering“ an der Montanuniversität Leoben gemeinsam mit der Industrie und wissenschaftlichen Partnern initiiert. Leiter dieses Lehrstuhls ist Univ.-Prof. Dr. Robert Galler. Dr. Daniel Resch führt in seiner Dissertation Ergebnisse und Erfahrungswerte von Dr. Cédric Thalmann, der seine Dissertation „Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen“ (Thalmann, 1996) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich im Jahre 1996 verfasst hat, an.

In diesem Kapitel werden einzelne Inhalte aus den genannten Dissertationen, die u. a. für die Wiederverwertung von Ausbruchmaterial am Koralmtunnel von großer Bedeutung sind, beschrieben.

2.2.1 Randbedingungen der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial

Die Verwendung von Ausbruchmaterial ist von geotechnischen Parametern (z. B. Bruchspannung, Kohäsion, innerer Reibungswinkel, etc.), von geochemischen Bestandteilen (z. B. Anteil an Calciumoxid CaO , Siliciumdioxid SiO_2 , Magnesiumoxid MgO , Eisen(III)oxid Fe_2O_3 , Aluminiumoxid Al_2O_3 , Mangan(II)oxid MnO , Schwefeltrioxid SO_3 , etc.) und von der mineralogischen Zusammensetzung (z. B. Anteil an Calcit, Feldspat, Dolomit, Quarz, Glimmer, etc.) abhängig. Besteht daraus abgeleitet die Möglichkeit einer Verwendung sind weitere technische und rechtliche Rahmenbedingungen zu beurteilen.

Aus technischer Sicht beeinflussen die Lösemethode, die Materialaufbereitung und Baustellenorganisation (Materialtransport, Zwischenlagerung) die Eigenschaften des Ausbruchmaterials wie z. B. Kornform, Korngröße und Geochemie. Zur Beurteilung von ökologischen Auswirkungen verschiedener Verwendungsszenarien führt Resch die Methode der Ökobilanzierung an. Die rechtlichen Rahmenbedingungen befassen sich mit der Frage des Abfallrechts, des Eigentums sowie der Vergabemodelle für die Materialverwendung. In Abbildung 2-1 werden die Randbedingungen der Verwendung von Tunnelausbruch dargestellt.

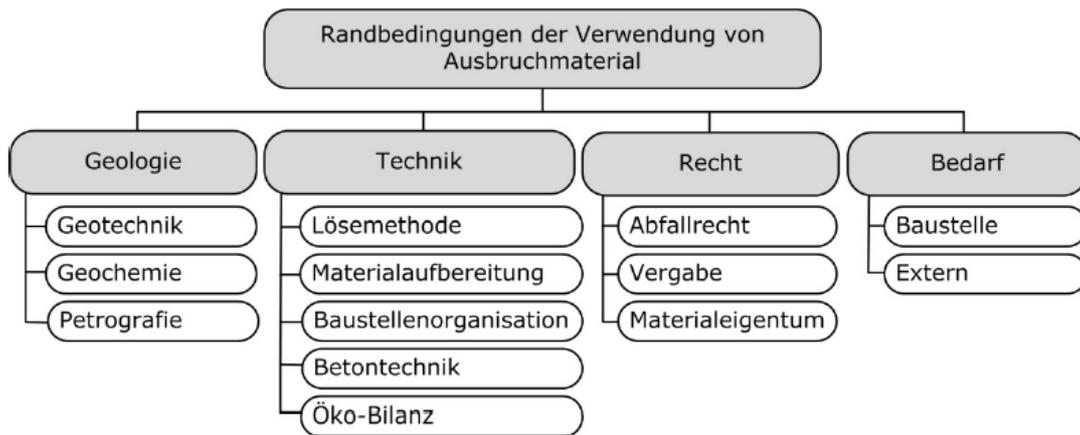


Abbildung 2-1: Randbedingungen der Verwendung von Tunnelausbruch (Resch, 2012)

2.2.2 Verwertungspotentiale

Die geologischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials führen zu einer Einschränkung der unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten. In

Abbildung 2-2 werden Festgesteinsgruppen verschiedenen Verwendungspotentialen zugeordnet.

Festgesteinsgruppe	Verwendungspotential																		
	Zuschlagstoff für karbonatischen Splittbeton	Zuschlagstoff für silikatischen Splittbeton	Zuschlagstoff für metallurgische Prozesse	Gesteinsmehle für die Landwirtschaft	Schmelzbasalt, Mineralfasern	Flußmittel	Filterstoff	Wasseraufbereitung	Zementrohstoff	Glasherstellung	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

Abbildung 2-2: Verwendungspotentiale verschiedener Festgesteinsgruppen (Resch, 2012)

Beispiele für Verwendungsmöglichkeiten von Lockersedimenten sind:

- Kies, Sand: Gesteinskörnung für Beton und Mörtel
- Mergel: Zementherstellung
- Tone: Ziegelproduktion, Abdichtungsmaterial
- Quarzsande: Glas-, Zement-, Keramik-, Farben-, Lackproduktion

2.2.3 Einfluss der Vortriebsart auf die geometrischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials

Vor allem bei der Verwertung von Tunnelausbruchmaterial zur Gesteinskörnung für Beton sind die Kornform und die Sieblinie entscheidende Faktoren (Resch, 2012).

Sieblinie des Ausbruchmaterials

In der folgenden Abbildung 2-3 ist der Zusammenhang zwischen Vortriebsart in einem bestimmten Gestein und dem Materialanfall der verschiedenen Korngruppen anhand von 51 Auswertungen zu erkennen.

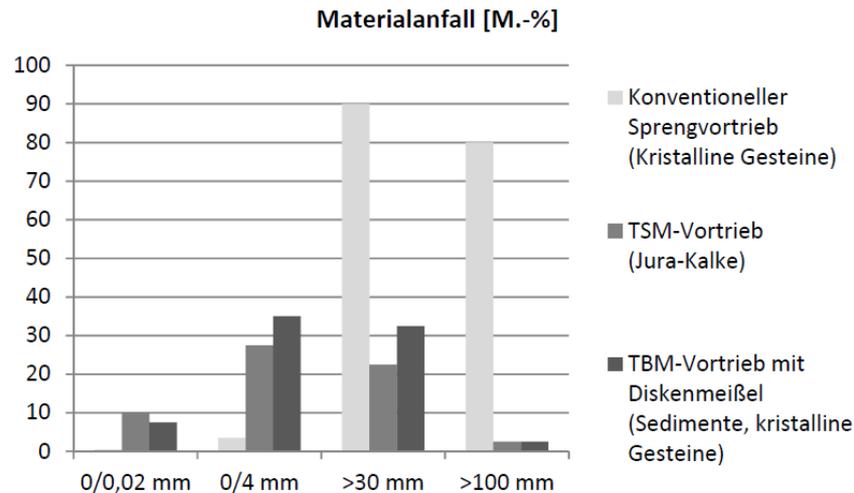


Abbildung 2-3: Zusammenhang zwischen Vortriebsart und Korngruppe (Thalmann, 1996)

Die Sieblinie eines Vortriebs mit Tunnelbohrmaschine (TBM) oder Teilschnittmaschine (TSM) unterscheidet sich wesentlich von der eines konventionellen Sprengvortriebs. Das Ausbruchmaterial im Festgestein eines konventionellen Vortriebs ist grobkörniger als das Ausbruchmaterial eines maschinellen Vortriebs.

Diese Auswertung bzw. die ausgewerteten Beispiele im Detail betrachtet, sind in der Planungsphase ein wertvolles Hilfsmittel, um die zukünftigen Anteile der Korngruppen abschätzen zu können. Im Vergleich der Sieblinien des Ausbruchmaterials mit den geforderten Sieblinien laut ÖNORM B 4710-1 (2007) kann die Verwendbarkeit des Materials zur Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton beurteilt werden. Diese ÖNORM gibt Kornzusammensetzungen und höchstzulässige Abweichungen für Sieblinien mit einem bestimmten Größtkorn an. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass es im Aufbereitungsprozess zur Gesteinskörnung zu einer weiteren Verfeinerung des Materials kommt. Der abschlämmbare Feinanteil (< 0,063 mm) kann nach der Aufbereitung bis zu 15 % der Gesamtmenge betragen. In Versuchen bei einem TBM-Vortrieb in Granitgestein mit einem Bohrdurchmesser von fünf Metern und mit veränderlichen Schneidrollenabstand im Brustbereich (86, 129, 172 mm) war festzustellen, dass sich der Anteil grober Korngruppen mit zunehmenden Schneidrollenabstand (Diskenabstand) erhöht. Ebenso beeinflusst der Anpressdruck der Disken den Anteil an Feinanteilen im Ausbruchmaterial.

Kornform des Ausbruchmaterials

Das Ausbruchmaterial eines TBM-Vortriebs weist neben einem hohen Feinanteil auch eine plattig-ellipsoide Kornform (Chips) der groben Korngruppen auf. Radialverlaufende Risse an der Felsoberfläche der Ortsbrust führen während des Fräsvorganges zum Absplittern der Chips (Thalmann, 1996). Bei der Verwendung des Ausbruchmaterials in der Betonproduktion kann diese plattig-ellipsoide Kornform problematisch sein. Glimmer ist aufgrund seiner blättrigen Form ebenso unerwünscht wie längliche TBM-Chips. Die Kornform der Gesteinskörnung sollte gedrunken, kugelig oder würfelig sein. Zur Bestimmung der Kornform werden die Plattigkeitskennzahl und die Kornformkennzahl herangezogen (Grübl, et al., 2001).

Durch das Abbrechen der kantigen Ränder des plattigen Materials während des Transports auf Förderbändern kommt es zu einer nachträglichen Verfeinerung der Sieblinie. Daher ist es besonders wichtig, die Aufbereitungsmethode auf die Eigenschaften des TBM-Ausbruchmaterials anzupassen. Die Eignung des Tunnelausbruchmaterials für eine spezielle Verwendung wird mithilfe von sogenannten Eignungsprüfungen nachgewiesen, wobei eine Abweichung von den Richtlinien und Normen nicht unmöglich ist (Resch, 2012).

2.2.4 Gesteinskörnungen für die Betonherstellung

Die Anforderungen an Beton sind im Tunnelbau besonders hoch, da der Einbau des Betons hohen Temperaturschwankungen unterliegt und die Dauerhaftigkeit des Betons durch aggressive Bergwässer oder Bergdrücke beeinträchtigt werden kann. Ebenso muss der Beton Extremsituationen wie Feuer standhalten.

Im Anhang A.1 werden die Anforderungen an Gesteinskörnungen für die Betonherstellung beschrieben.

2.2.5 Fazit zum Stand der Technik in der Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial

Die Eignung des Tunnelausbruchmaterials als Gesteinskörnung für die Betonherstellung hängt zusammenfassend wesentlich von der Gesteinhärte und den petrographischen Eigenschaften ab. Im Falle einer negativen Abweichung der Eigenschaften des Ausbruchmaterials von den Anforderungen an Gesteinskörnungen gemäß Normen und Richtlinien, können die Betonrezepturen durch Herabsetzen des Größtkorns oder durch erhöhte Dosierung von Zusatzmitteln angepasst und somit die geforderten Betonqualitäten erreicht werden.

Resch (2012) weist auf die zukünftige Notwendigkeit eines eingeschränkten Ressourcenverbrauches gemäß der europäischen und österreichischen Umweltgesetzgebung hin. Die Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial ist eine Möglichkeit dieser Forderung nachzukommen, da dieser mineralische Rohstoff einerseits den Verbrauch von Rohstoffreserven als auch von Grund und Boden (z. B. Deponieflächen) verringert.

3 Voruntersuchungen – Der zyklische Vortrieb am Baulos KAT 2

3.1 Deponierung und Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial des zyklischen Vortriebes am Baulos KAT 2

3.1.1 Allgemeines

Der im zyklischen Vortrieb aufgefahrenen Tunnelabschnitt befindet sich zwischen der Baulosgrenze zum KAT 1 und dem Beginn des kontinuierlichen Vortriebs im kristallinen Bereich. Dabei wurde der Bauschacht Leibenfeld mit einer Endtiefe von ca. 60 m errichtet, die beiden Streckenröhren Süd und Nord sowie die Montagekavernen und Startröhren für die beiden Tunnelvortriebsmaschinen vorgetrieben. Der Sprengvortrieb (SP-Vortrieb) wurde vom Bauschacht startend Richtung Osten bis zur Baulosgrenze KAT 1 und im Westen bis zum Beginn des TBM-Vortriebs mit Unterteilung in Kalotte- und Strosse/Sohle-Vortrieb aufgefahren.

Der Lüftungsschacht wurde bereits zu Erkundungszeiten errichtet und diente zur Ver- und Entsorgung des Erkundungstunnels (EKT) Leibenfeld (ca. km 44+388 bis km 46+018). In der Südröhre war der EKT Leibenfeld mit sieben Ausweichnissen und sechs Ausstellbuchten aufzuweiten. Der EKT Leibenfeld erstreckte sich mit einer Ausweichnische in der Nordröhre zwischen ca. km 45+151 und km 45+260, weshalb eine Aufweitung auf das plangemäße Tunnelprofil ebenfalls durchzuführen war. Das Durchfahren des bestehenden EKT Leibenfeld machte eine anschließende sorgfältige Trennung zwischen Ausbruchmaterial und Baurestemassen wie Spritzbeton, Baustahlgitter, Gitterträger, Stützmittel etc. erforderlich.

Die Montagekavernen dienen dem Zusammenbau des TBM-Bohrkopfes, dessen Einzelteile über den Bauschacht befördert werden. Der Einbau des Sohlgewölbes in diesen Bereichen der Tunnelröhren ist deshalb vor Beginn der Montage der TBM abzuschließen (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010a). Tabelle 3-1 enthält die Bauzeit des abgeschlossenen zyklischen Vortriebes. In Abbildung 3-1 ist die Tunneltrasse des Bauloses KAT 2 schematisch dargestellt. In Tabelle 3-2 sind die Kilometrierung der ÖBB-Infrastruktur AG und die Länge der einzelnen Tunnelteilstücke angegeben.

Tabelle 3-1: Bauzeiten der zyklischen Vortriebe

Bauteil	Baubeginn	Bauende
Bauschacht Nord & Süd	02.04.2011	05.07.2011
SP-V Nord-West	08.03.2011	26.04.2012
SP-V Süd-West	26.04.2011	17.06.2012
SP-V Nord-Ost	23.06.2011	29.08.2012
SP-V Süd-Ost	24.06.2011	12.05.2012

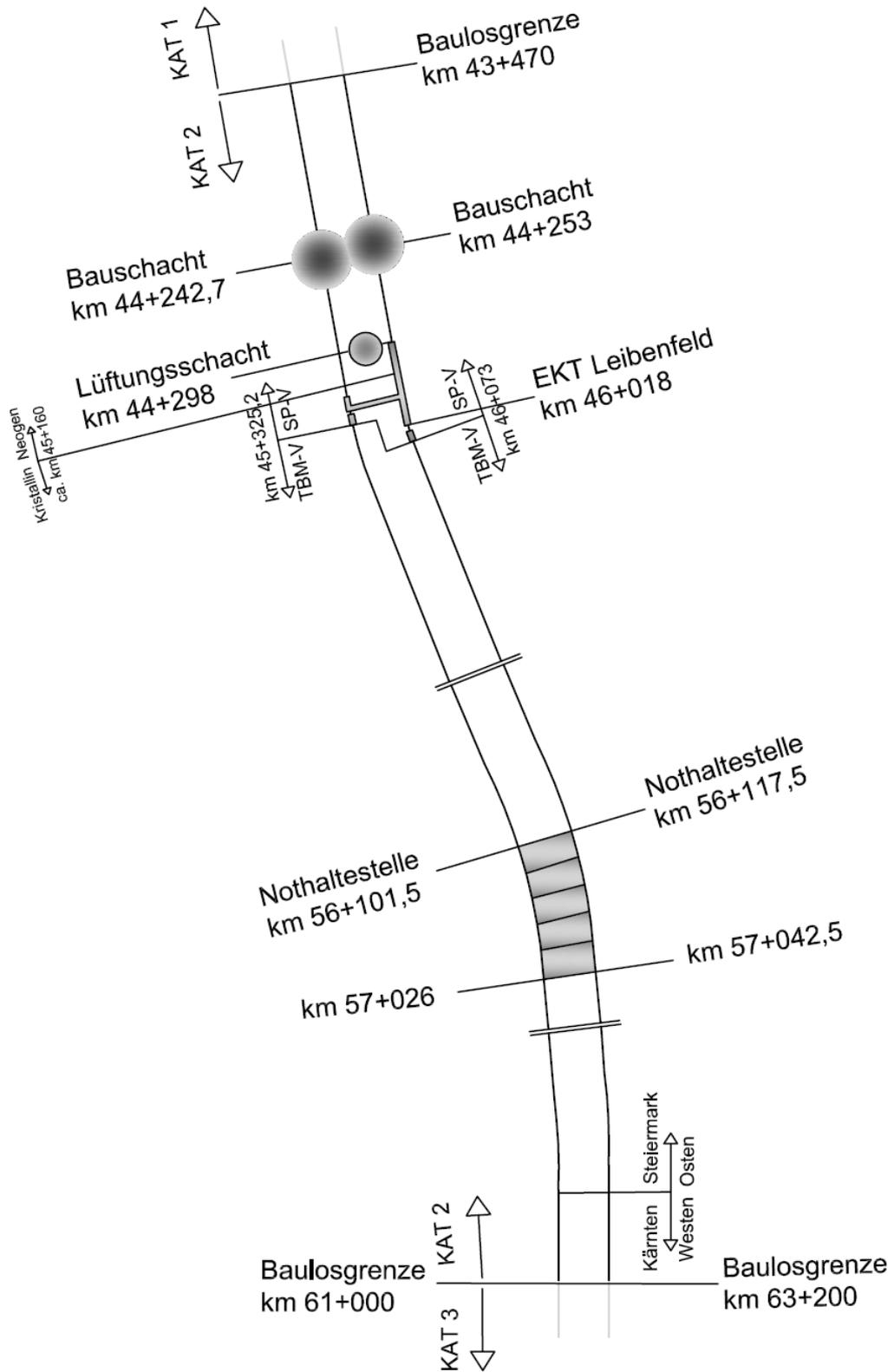


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des Bauloses KAT 2

Tabelle 3-2: Daten zum SP- und TBM-Vortrieb

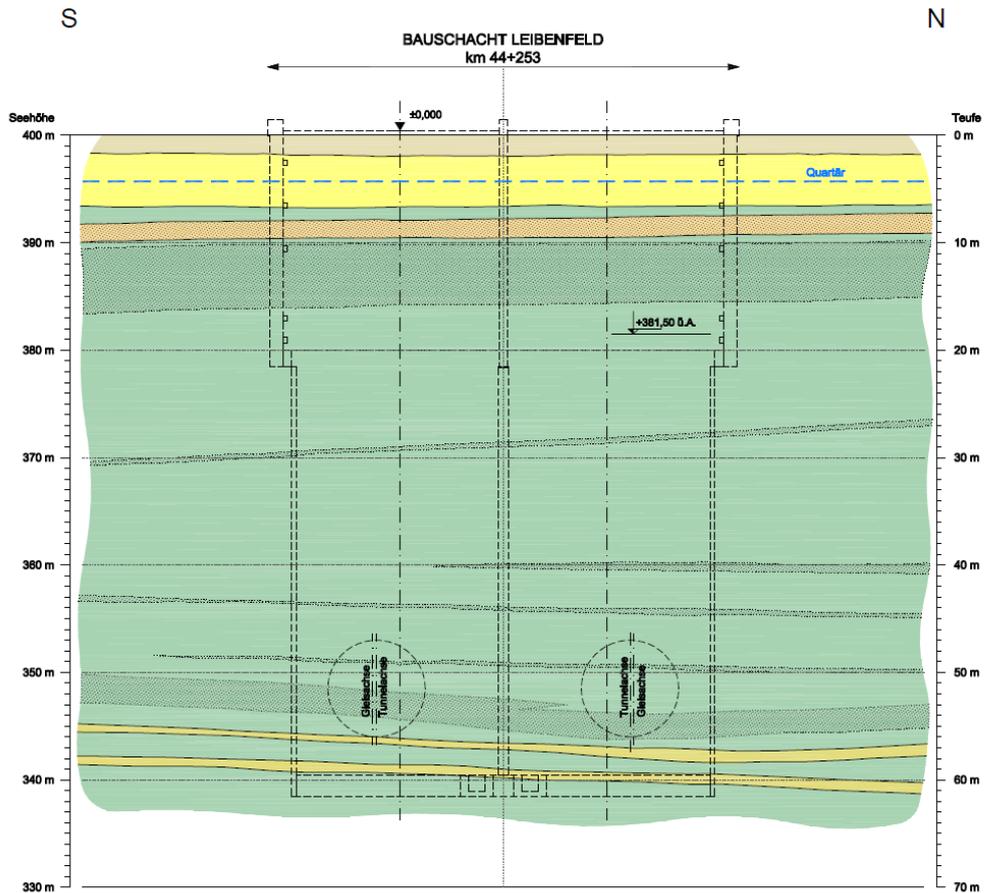
NEOGEN			
SP-Vortrieb	von km	bis km	Länge [m]
SÜD			
Süd-Ost	44.243,0	43.470,0	773,0
Süd-West	44.263,0	44.274,0	11,0
Süd-West Kaverne EKT	44.274,0	44.388,0	
Süd-West minus EKT	44.388,0	45.160,0	772,0
NORD			
Nord-Ost	44.232,7	43.470,0	762,7
Nord-West	44.252,7	45.151,0	898,3
Nord-West minus EKT	45.151,0	45.160,0	9,0
SONSTIGE BAUTEILE			
Bauschacht Süd	44.253,0		58,4
Bauschacht Nord	44.242,7		58,4
3 Querschläge (QS)			
3 Logistikstollen			
KRISTALLIN			
SP-Vortrieb	von km	bis km	Länge [m]
SÜD			
Süd-West minus EKT	45.160,0	46.018,0	858,0
NORD			
Nord-West minus EKT	45.160,0	45.260,0	100,0
Nord-West	45.260,0	45.270,2	10,2
SONSTIGE BAUTEILE			
1 QS			
MONTAGEKAVERNE (MK)			
TBM MK Süd	46.018,0	46.058,0	40,0
TBM Startröhre Süd	46.058,0	46.073,0	15,0
TBM MK Nord	45.270,2	45.310,2	40,0
TBM Startröhre Nord	45.310,2	45.325,2	15,0
TBM-Vortrieb	von km	bis km	Länge [m]
SÜD			
	46.073,0	63.200,0	17.127,0
NORD			
	45.325,2	61.000,0	15.674,8
SONSTIGE BAUTEILE			
35 Querschläge (QS)			
16 Fluchtstollen (FS) + Rettungsraum (RR, Nothaltestelle)			
Demontagekaverne			

3.1.2 Geologie

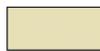
Die folgende Beschreibung des geologischen Aufbaus des Tunnelabschnittes im Neogen (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a) und Kristallin (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b) wurde den beiden geologischen Gutachten des Bauloses KAT 2 sinngemäß entnommen.

Der *Tunnelabschnitt im Neogen* (Weststeirisches Neogenbecken) des Bauloses KAT 2 erstreckt sich zwischen der Baulosgrenze im Osten zum Baulos KAT 1 und der Grenze Neogen / Kristallin bei ca. km 45+160 im Westen. Der Untergrund besteht aus neogenen Sedimenten (Miozän und Quartär). Die oberflächennahen Bereiche des Bauschachtes Leibenfeld befinden sich in quartären Ablagerungen, während die tiefer liegenden Teile des Bauschachtes Leibenfeld und der im zyklischen Vortrieb zu errichtende Tunnelabschnitt ausschließlich in miozänen Ablagerungen des Weststeirischen Beckens errichtet werden. Die *quartären Sedimente* sind einerseits fein- bis mittelkorndominierte Lockergesteine (vor allem Schluff bis Sand) in Form von Deckschichtsedimenten bzw. z. T. umgelagertem Verwitterungsmaterial. Andererseits tritt im Bereich des Bauschachtes vorwiegend schwach schluffiger Mittel- bis Grobkies auf. Die *miozänen Ablagerungen* sind zum überwiegenden Teil marine Beckensedimente, die sich aus karbonatischen Schluff- und Sandsteinen zusammensetzen. Seltener sind fein- bis grobkörnige Lockergesteine, Tonsteine und Mergelsteine, geringmächtige Kohlelagen sowie Härtlingseinschaltungen bzw. Konkretionen vorzufinden (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a). In Abbildung 3-2 ist die Geologie im Bereich des Bauschachtes Leibenfeld mit Lage der beiden Tunnelröhren und in Abbildung 3-3 ist der geologische Längenschnitt des neogenen Abschnittes dargestellt. Die Legende von Abbildung 3-2 gilt analog für Abbildung 3-3.

Der *Kristallinkomplex* der Koralpe grenzt im Westen an die miozänen Sedimente des Lavanttaler Beckens und erstreckt sich im Osten in die ebenfalls miozänen Ablagerungen des Weststeirischen Beckens. Diese Bereiche werden von quartären Sedimenten bedeckt. Das Baulos KAT 2 befindet sich zum größten Teil im östlichen Kristallinabschnitt der Koralpe und zu einem kleineren Teil im Weststeirischen Becken. Im Kristallinkomplex sind vorwiegend Paragneise zu finden. Marmore, Amphibolite, Eklogite, Quarzite, untergeordnet Orthogneise und Pegmatite sind eingeschaltet. Die Koralpe fällt steil zum Lavanttal, wo sie durch die Lavanttaler Störungszone geprägt ist. Diese Störungszone liegt außerhalb des Projektgebietes und geht in das Lavanttaler Becken über. Am Ostrand des bearbeiteten Gebietes überlagern miozäne Grobklastika, als auch miozäne, marine Feinklastika des Weststeirischen Beckens das kristalline Grundgebirge. Diese miozänen Ablagerungen entsprechen jenen des neogenen Bereiches. (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b). In Abbildung 3-4 ist die Geologie von Beginn des kristallinen Abschnitts bei ca. km 45+160 bis zur Baulosgrenze im Westen zu Baulos KAT 3 dargestellt.



QUARTÄR



DECKSCHICHTE / VERWITTERUNGSMATERIAL MIOZÄN (FEINKORNDOMINIERT) (GA Q1A)



QUARTÄRER KIES (GA Q1C)

MIOZÄN



"SAND", Z.T. MIT ÜBERGÄNGEN ZU SANDSTEIN (GA N2)



SCHLUFFSTEIN, Z.T. WECHSELLAGERUNG MIT SANDSTEIN (GA N5)



SANDSTEIN, Z.T. MIT ÜBERGÄNGEN ZU SAND (GA N7)



WECHSELFOLGE SCHLUFF-/ TONSTEIN, SANDSTEIN (GA N6)

Abbildung 3-2:

**Geologie im Bereich Bauschacht Leibenfeld
(3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a)**

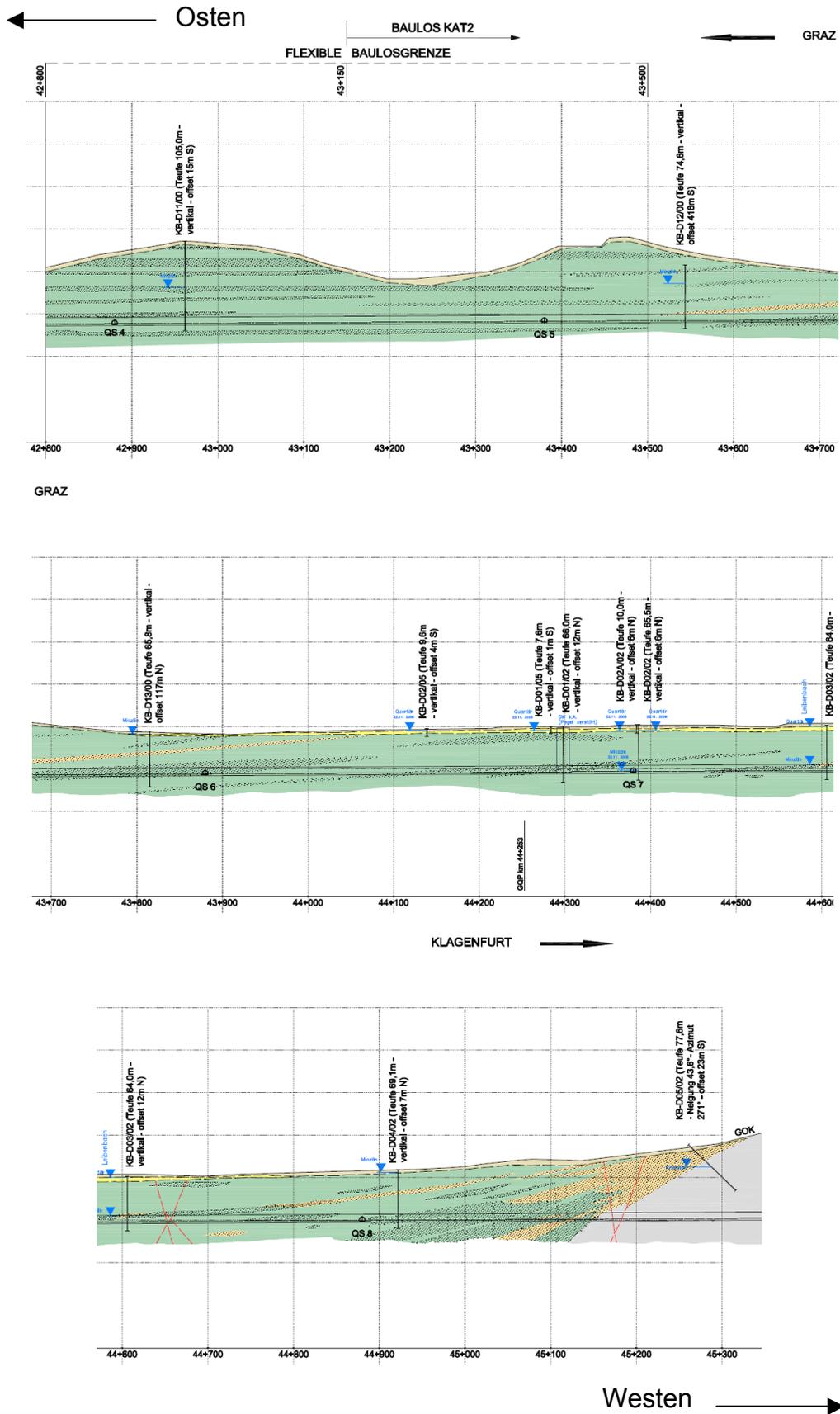


Abbildung 3-3: Geologischer Längenschnitt des neogenen Abschnittes (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a)

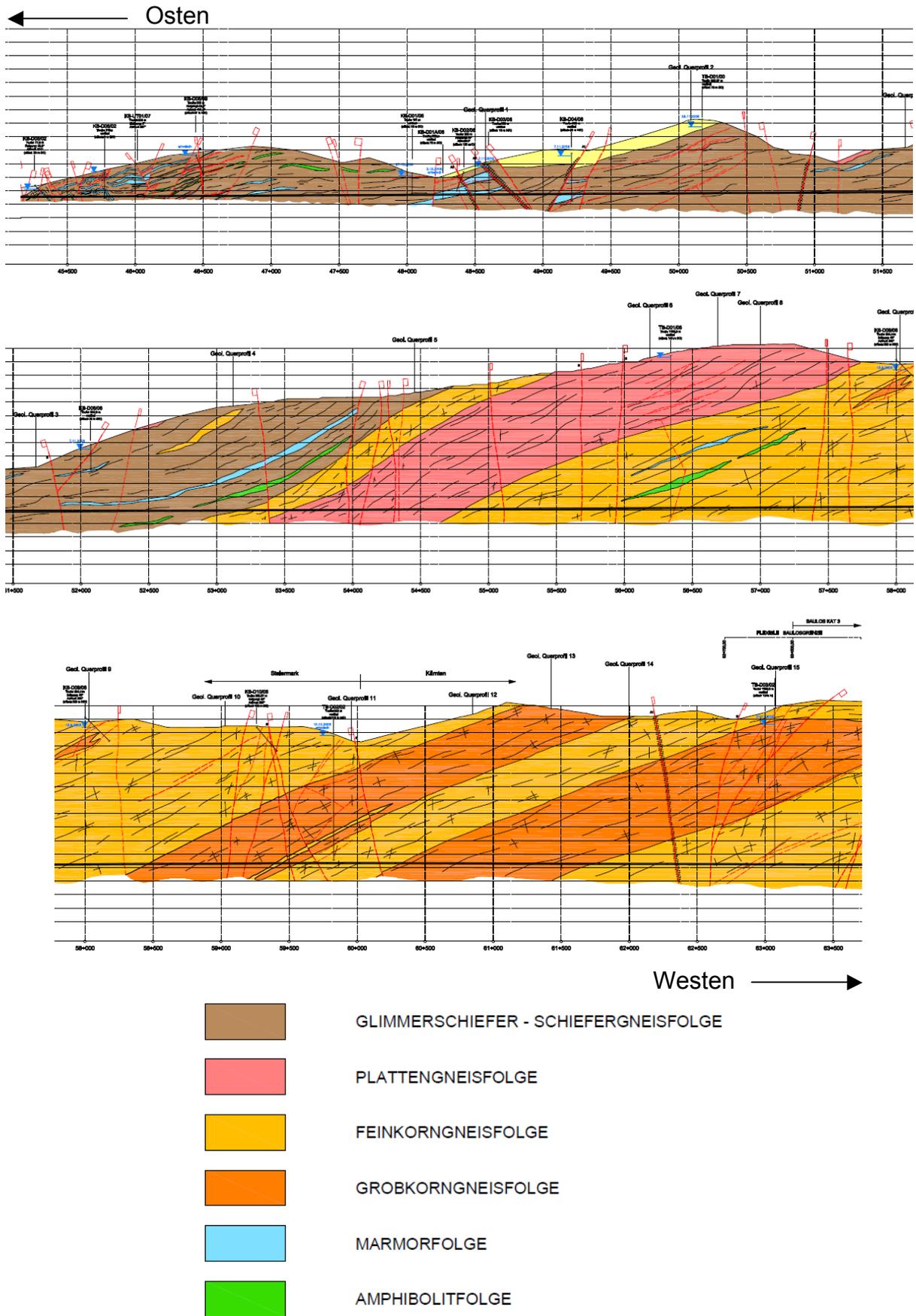


Abbildung 3-4: Geologischer Längenschnitt des kristallinen Abschnittes (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b)

3.1.3 Deponierung

Zur Deponierung stehen dem Baulos KAT 2 in der Nähe der Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche) drei Deponien und im Bereich der freien Strecke eine weitere Deponie zur Verfügung (Abbildung 3-5, Abbildung 3-9). Die folgenden Daten über die Deponien sind sinngemäß aus dem Bauvertrag des Bauloses KAT 2 übernommen (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009d). Die Abbildung 3-6, Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 sind durch die örtliche Bauaufsicht des KAT 2 entstanden (ÖBB Infrastruktur AG).

Deponien Hollenegg

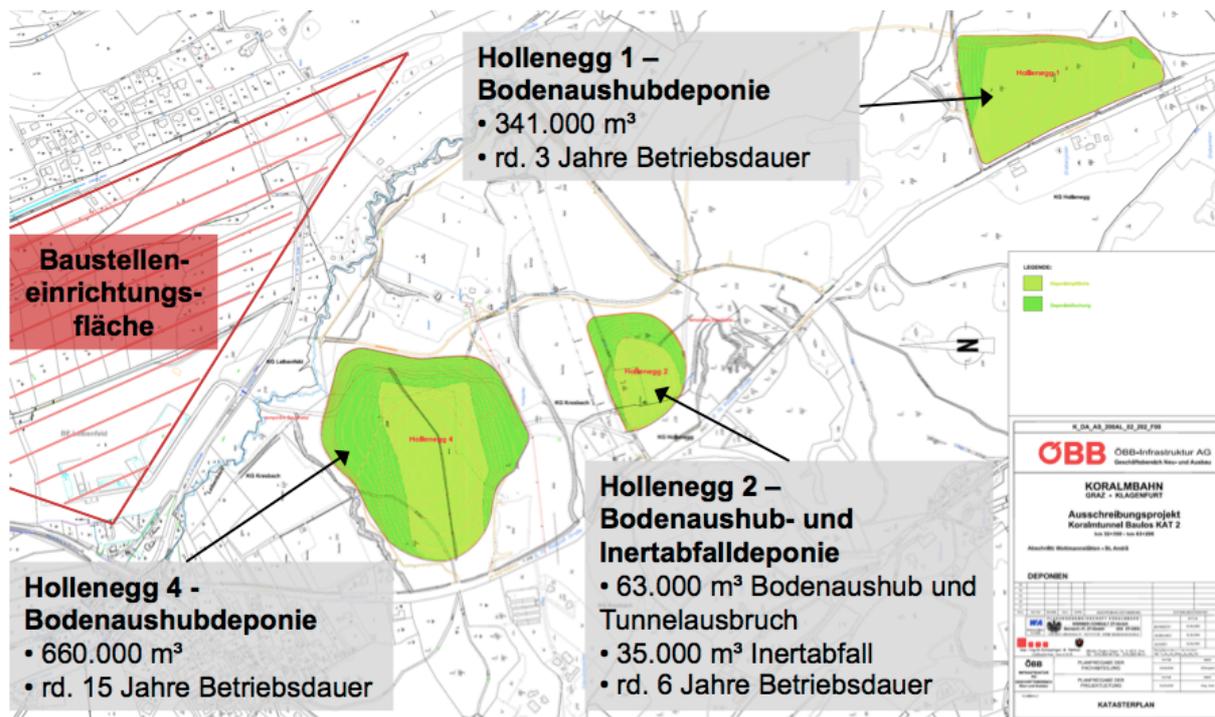


Abbildung 3-5: Lageplan der Deponien Hollenegg (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009c)

Hollenegg 1 (H1)

Die Aufstandsfläche der Bodenaushubdeponie Deponie H1 umfasst rund 4,8 Hektar und wurde ursprünglich landwirtschaftlich genutzt. Die Deponie ist seit 19.05.2011 in Betrieb und weist eine Kapazität von rund 341 000 m³ auf. Die Deponiebeschickung erfolgte bisher mittels LKWs. Die Deponie H1 wurde in zwei Schüttphasen befüllt, um die jeweilige offene Deponiefläche und die damit verbundenen Umwelteinwirkungen wie Lärm und Staub möglichst gering zu halten. Gemäß DepVO (2008) ist für das Aufschütten mit unbelastetem Material (Bodenaushub) zur Herstellung der Deponieaufstandsfläche kein Basisabdichtungs- und Basisentwässerungssystem erforderlich, jedoch werden Oberflächenwässer während der Schüttphase über Mulden und temporäre Absetzbecken schadlos abgeleitet. Die oberste Schüttlage besteht aus möglichst grobkörnigem Ausbruchmaterial mit einer Schichtstärke von ca. 50 cm. Darauf ist eine ca. 50 cm starke Rekultivierungsschicht und eine ca. 30 cm starke Mutterbodenüberdeckung aufgetragen. Die Rekultivierungsschicht ist vor Schüttbeginn abge-

tragen und zwischengelagert worden. Da die Flächen zukünftig wieder landwirtschaftlicher Nutzung zugeführt werden, wird zu Betriebsende das Aufbringen einer standortgerechten Grünlandsaat erfolgen.

In Tabelle 3-3 sind die Kapazitäten der Deponie H1 angeführt. Der Deponieeingang wurde bisher entweder mit einer Brückenwaage oder einer Bandwaage gewogen. Das auf den Deponien eingebaute Ausbruchmaterial kann nicht direkt von t_o in m^3 locker umgerechnet werden, da dieser Umrechnungsfaktor von vielen Randbedingungen beeinflusst wird.

- Je nach Gesteinsfolge schwankt das Gewicht pro m^3 .
- Das Gewicht wird vom Wassergehalt des Ausbruchmaterials beeinflusst. Da das Material auf der BE-Fläche zwischengelagert wird, ist der Wassergehalt witterungsabhängig.
- Aufsummierte Messungenauigkeiten der Brückenwaage und Bandwaage können relevant sein.
- Die Auflockerung je m^3 variiert zufolge der Größe der ausgebrochenen Gesteinsstücke.

Tabelle 3-3: Kapazitäten Deponie H1

	[to]	[m^3 locker]	[Vol-%]
Gesamtkapazität	-	341.000	100
Deponieeingang Tunnelausbruch	644.103	331.291	97
Restkapazität	-	9.709	3



Abbildung 3-6: Deponie Hollenegg 1 (ÖBB Infrastruktur AG)

Hollenegg 2 (H2)

Die Aufstandsfläche der Deponie H2 nimmt ca. 2,7 Hektar ein und erforderte eine Rodung von forstwirtschaftlicher Fläche. Der Deponiebetrieb ist seit 26.04.2012 aufrecht und von dem zur Verfügung stehenden Schüttvolumen von ca. 98 000 m^3 sind 63 000 m^3 für Bodenaushub und 35 000 m^3 für Inertfabfall vorgesehen. Der Deponiebetrieb wird mittels LKWs durchgeführt. Die Unterteilung in drei Schüttphasen ergibt sich durch Schüttphase 1 mit unbelastetem Bodenaushub zur Herstellung ei-

ner Deponieaufstandsfläche für die Inertabfalldeponie sowie Schüttphase 2 und 3 des Inertabfallkompartiments. Das Inertabfallkompartiment erfordert die Errichtung einer zweilagigen, dachartig profilierten mineralischen Dichtung mit einer Gesamtstärke von 50 cm sowie ein Basisentwässerungssystem gemäß den Vorgaben der DepVO (2008). Über die Dichtschicht ist ein Geotextil als Trennschicht zum darauf aufzutragenden Flächenkiesfilter (Stärke 50 cm) ausgebreitet. In diesem Kiesfilter sind Drainagerohre, die in ein Absetz- und Probenahmebecken mit Absperrschieber zum weiterleitenden Gerinne münden, verlegt. Der Inertabfall wird zwischen dem Filterkies mit darüber liegenden Filtervlies und einer weiteren zweilagigen mineralischen Dichtschicht eingebaut. Nach abgeschlossenem Einbau des Inertabfalls werden auf die Dichtschicht eine Rekultivierungsschicht aus kulturfähigem Boden und eine Mutterbodenüberdeckung aus zuvor gelagertem Waldboden aufgetragen. Die mineralische Dichtschicht mit der Anforderung eines Durchlässigkeitsbeiwertes k_f von 10^{-9} m/s sowie der Flächenkiesfilter mit Korngröße 16/32 werden aus gewonnenem Tunnelausbruchmaterial hergestellt. Mit Erreichen der vorgegebenen Schütthöhe werden das Aufbringen einer Rekultivierungsschicht und die Begrünung der gesamten Deponiefläche erfolgen.

Tabelle 3-4: Kapazitäten Deponie H2

	[to]	[m ³ locker]	[Vol-%]
Gesamtkapazität	-	98.000	100
Deponieeingang	141.181	66.014	67
Restkapazität	-	31.986	33



Abbildung 3-7: Deponie Hollenegg 2 (ÖBB Infrastruktur AG)

Hollenegg 4 (H4)

Die Größe der Aufstandsfläche der Deponie H4 beträgt rund 10,5 ha und war ursprünglich einer fortwirtschaftlichen Nutzung zugeschrieben. Der Deponiebetrieb hat am 19.07.2011 begonnen und erfolgte bisher mittels Förderband bzw. LKW. Die Deponie H4 wurde im Zuge des zyklischen Vortriebs jedoch vorwiegend als Erstabwurfstelle zur Zwischenlagerung des Ausbruchmaterials und anschließendem Weitertransport zu den Deponien H1 bzw. H2 und nicht zur endgültigen Deponierung beansprucht. Weiters wird die Vorsiebung im kontinuierlichen Vortrieb auf der H4 stattfinden und die zukünftige Aufbereitungsanlage auf einer Fläche zwischen der H4 und H2 errichtet werden. Die Gesamtkapazität beträgt rund 660 000 m³ bzw. mit vorgesehener temporärer Überschüttung zur Vorhaltung von aufbereitetem Ausbruchmaterial rund 990 000 m³. Eine Fläche von rund 10 000 m² ist für die Materialentnahme

durch den Grundeigentümer bereit zu stellen. Für die Deponie H4 sind weder ein Basisabdichtungs- noch ein Basisentwässerungssystem erforderlich, jedoch werden wiederum während der Schüttphase Oberflächenwässer über Mulden und temporäre Absetzbecken abgeleitet. Der obere Aufbau der Deponie H4 gleicht jenem der Deponie H1. Die Deponiefläche ist für eine zukünftige fortwirtschaftliche Nutzung wieder herzustellen.

Tabelle 3-5: Kapazitäten Deponie H4

	[to]	[m ³ locker]	[Vol-%]
Gesamtkapazität (ohne Überschüttung)	-	660.000	100
Deponieeingang	29.971	19.410	3
Restkapazität	-	640.590	97



Abbildung 3-8: Deponie Hollenegg 4 (ÖBB Infrastruktur AG)

Deponie Grub

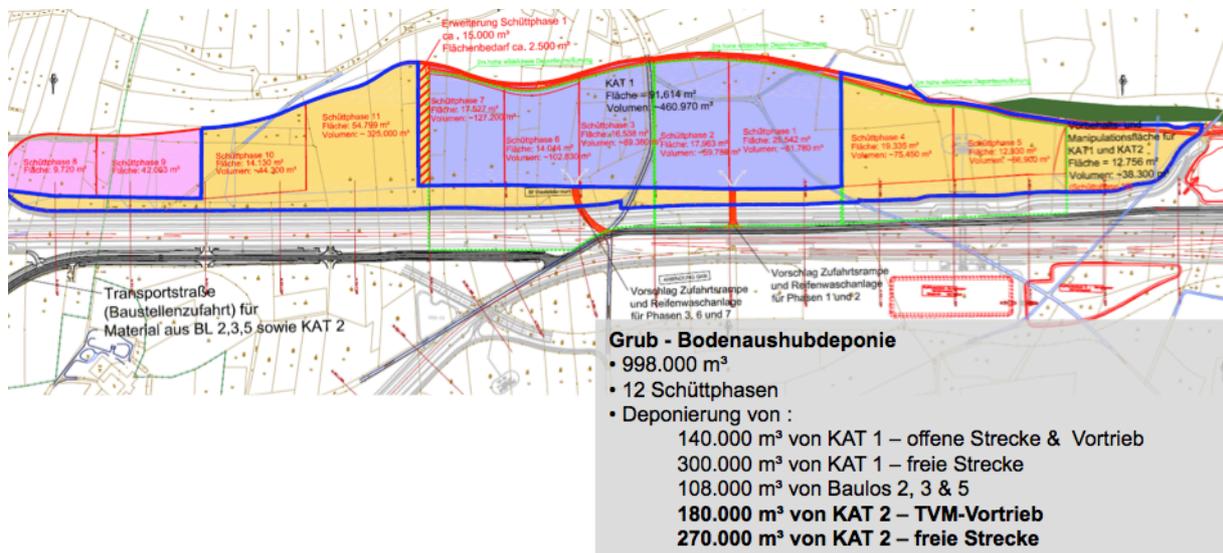


Abbildung 3-9: Lageplan der Deponie Grub (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010c)

Die Deponie Grub befindet sich im Bereich der freien Strecke des Bauloses KAT 2 von ca. km 37+150 bis ca. km 38+730 und weist eine Aufstandsfläche von ca. 22,76 ha auf. Die Deponie umfasst eine Gesamtkapazität von rund 998 000 m³, wovon 180 000 m³ Ausbruchmaterial des kontinuierlichen Vortriebes und 270 000 m³ Aushubmaterial der freien Strecke ausmachen. Der Großteil der Kapazität wird mit

Material des Bauloses KAT 1 bzw. der Baulose 2, 3 und 5 der Koralmbahn aufgebraucht. Diese Deponie erfordert weder ein Basisabdichtungs- noch ein Basisentwässerungssystem. Oberflächenwässer werden während der Schüttphasen über Mulden in temporäre Absetzbecken eingeleitet. Der obere Aufbau besteht wie jener der Deponien Hollenegg aus einer grobkörnigen Ausgleichsschicht, einer Rekultivierungsschicht und einer Mutterbodenüberdeckung. Die Deponie Grub wird in 12 Phasen befüllt, um bereits abgesetzte Flächen nach Erreichen der jeweiligen Endhöhe abzudecken, zu rekultivieren und der ursprünglichen Nutzung zuzuführen. Die Beschickung der Deponie Grub mit Ausbruchmaterial des KAT 2 auf der Deponie Grub ist ab Juli 2013 geplant (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009d).

Gesamt- und Restkapazität aller verfügbaren Deponien

Tabelle 3-6: Kapazitäten Gesamt

	Gesamtkapazität [m ³ locker]	Restkapazität [m ³ locker]	Restkapazität [Vol-%]
Deponie H1	341.000	9.709	3
Deponie H2	98.000	31.986	33
Deponie H4	660.000	640.590	97
Deponie Grub (Tunnelausbruchmaterial des KAT 2)	180.000	180.000	100
Gesamt	1.279.000	862.285	67

Um den tatsächlichen Füllungsgrad der Deponien in m³ locker zu erhalten, wird das eingebaute Ausbruchmaterial auf den Deponien aufgemessen. Bei einer Gegenüberstellung von dem Ausbruchmaterial in m³ fest des zyklischen Vortriebes und den auf den Deponien eingebauten und baustellenintern verwerteten Massen erhält man aus der Abbildung 3-14 einen durchschnittlichen Auflockerungsfaktor f_s von 1,47. Der Auflockerungsfaktor f_s ist in der DIN ISO 9245 (1995) definiert. Es kann kein allgemeingültiger Auflockerungsfaktor bestimmt werden, da die Masse des eingebauten Ausbruchmaterials auf jeder Deponie variiert und somit keine exakte Angabe zum eingegangenen Ausbruchmaterial in m³ fest je Deponie getroffen werden kann.

3.1.4 Verwertung

Im Zuge des zyklischen Vortriebs wurden folgende baustelleninterne Verwertungen, deren Daten von der örtlichen Bauaufsicht des Bauloses KAT 2 stammen, realisiert:

- Herstellung einer mineralischen Dichtschicht für das Inertabfallkompartiment der Deponie H2 aus neogenem Ausbruchmaterial (Abbildung 3-10)
- Aufbereitung und Herstellung einer *Filterkiesschicht* 16/32 für das Inertabfallkompartiment der Deponie H2 aus kristallinem Ausbruchmaterial (Abbildung 3-11)

- Verwendung von kristallinem Ausbruchmaterial als *Schüttmaterial* auf der BE-Fläche Leibenfeld
- Vorhalten von kristallinem Ausbruchmaterial als *Wasserbausteine bzw. Stein-satz* (Abbildung 3-12)

Weiters wurden mehrere tausend Tonnen Betonabbruch aus dem Vortrieb im ehemaligen EKT-Leibenfeld unter Anwendung der Richtlinie für Recycling-Baustoffe (2009) geprüft, beurteilt und anschließend von einem befugten Abfallsammler von der Baustelle abtransportiert (Abbildung 3-13).



Abbildung 3-10: Dichtschicht aus neogenem Material - Deponie H2



Abbildung 3-11: Filterschicht aus kristallinem Material - Deponie H2



Abbildung 3-12: Steinsatz aus kristallinem Material (ÖBB Infrastruktur AG)



Abbildung 3-13: Recycling von Betonabbruch EKT-Leibenfeld (ÖBB Infrastruktur AG)

3.1.5 Massenfluss im zyklischen Vortrieb

In diesem Kapitel werden die gesamten Massenbewegungen nach Abschluss des zyklischen Vortriebes analysiert und mit der Open-Source Software STAN Stoffflussanalyse 2.5 (Cencic, 2012) visualisiert. Diese Software ermöglicht die Durchführung von Güter- und Stoffflussanalysen gemäß ÖNORM S 2096 (2005) mit dem Titel „Stoffflussanalyse - Anwendung in der Abfallwirtschaft“.

Das Ziel ist die Darstellung der Massen, welche baustellenintern verwertet bzw. deponiert wurden sowie der für den kontinuierlichen Vortrieb zur Verfügung stehenden Restkapazitäten der Deponien.

3.1.5.1 Stoffflussanalyse

Das ÖWAV Regelblatt 514 (2003) mit dem Titel “Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft” ist für die Fachwelt (Planer, Behörden, Betreiber) ein Instrument, um Begriffe und Methoden der Stoffflussanalyse (SFA) einheitlich anzuwenden. In diesem Regelblatt wird zwischen Stoff, Material und Gut in der Anwen-

derung einer SFA unterschieden. Durch die Methode der SFA kann ein komplexes System auf relevante Güter und Prozesse reduziert werden. Die Beschreibungen in den folgenden Absätzen sind aus dem ÖWAV Regelblatt 514 (2003) sinngemäß übernommen.

Ein *Stoff* ist ein chemisches Element oder eine chemische Verbindung in reiner Form (z. B. Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Chlor, Zink, Cadmium oder die Verbindungen Zinkoxid ZnO, Benzol, Zucker C₆H₁₂O₆, Wasser H₂O, Vinylchlorid etc.).

Ein *Gut* ist eine handelbare Substanz, die aus einem oder mehreren Stoffen besteht. Beispiele dafür sind Trinkwasser und Polyvinylchlorid (PVC), da im Trinkwasser weitere Stoffe in H₂O gelöst sind und PVC durch Additive stabilisiert ist. Güter können einen positiven (z. B. Brot, Trinkwasser, Batterie, etc.) als auch einen negativen (z. B. Müll, Altbatterien, Klärschlamm, etc.) Handelswert haben. Es gibt auch Güter ohne monetären Wert, d. h. sie sind wertmäßig neutral (z. B. Luft, Abluft, Niederschlag, etc.). Güter bestehen also aus mehreren Stoffen. Im Einzelfall sind Güter mit Stoffen identisch, wenn eine handelbare Substanz gleichzeitig aus einheitlichen Molekülen besteht.

Ein *Material* kann Güter als auch Stoffe umfassen, und schließt damit alle Rohmaterialien sowie alle bereits vom Menschen auf physikalische oder chemische Weise veränderten Stoffe ein.

Zu Beginn einer SFA ist ein *System* mit einer räumlichen und zeitlichen Systemgrenze zu wählen. Ein System ist die Menge an Elementen und deren Beziehung untereinander. Ein System kann z. B. ein Betrieb, eine Region, eine Nation oder auch ein Privathaushalt sein. Durch die *räumliche Systemgrenze* wird zwischen Prozessen innerhalb und außerhalb dieser Grenze unterschieden. Die *zeitliche Systemgrenze* definiert den Zeitraum, über den eine Bilanz aufgestellt wird. Es wird zwischen Materialflüssen in ein System hinein (Importen) und solchen aus einem System hinaus (Exporten) unterschieden.

Ein *Prozess* kann die Umformung, der Transport oder die Lagerung von Gütern und Stoffen sein. Die Vorgänge innerhalb des Prozesses spielen bei der Darstellung eines Stoffflusses meist keine Rolle. Ein Prozess ist somit mit einer Black-Box zu vergleichen. Wenn der Prozessvorgang genauer dargelegt werden soll, kann ein Prozess in Subprozesse untergliedert werden. Güter- und Stoffflüsse verknüpfen die einzelnen Prozesse miteinander und haben immer einen Herkunfts- und einen Zielprozess.

Ein *Fluss* ist die Bewegung der untersuchten Güter und Stoffe zwischen den Prozessen mit der Einheit Masse pro Zeit oder Masse pro Zeit und Querschnitt. Materialflüsse in einen Prozess hinein sind Inputs, solche aus Prozessen hinaus nennen sich Outputs. Anstelle des Begriffes „Fluss“ wird auch der Begriff „Fracht“ verwendet.

Mit der Software STAN können die zuvor aufgezeigten Elemente auf einfache Art und Weise eingesetzt werden. Innerhalb kurzer Zeit kann man ein System erzeugen,

sofern im Vorhinein dessen Grenzen, Prozesse und Flüsse definiert werden. Durch die Darstellung mit STAN sind auch Fehler im System bzw. Fehler in der Eingabe der Daten schnell zu erkennen. Die Berechnung im STAN kann fehlerfrei durchgeführt werden, wenn dieselbe Anzahl von Gleichungen und Unbekannten vorhanden ist. Die Ergebnisse werden in Form von Sankey-Diagrammen dargestellt, d. h. die Breite der Flusspfeile nimmt proportional zur transportierten Menge zu. Aufgrund der genannten Anwendungsmöglichkeiten wird STAN zur Stoffflussanalyse des Ausbruchmaterials am Baulos KAT 2 herangezogen.

3.1.5.2 Stofffluss in Abhängigkeit der Materialklassen

In Abbildung 3-14 ist der Stofffluss der deponierten und verwerteten Ausbruchmassen des zyklischen Vortriebes dargestellt. Dabei handelt es sich um Ausbruchmaterial aus der Südröhre, der Nordröhre, den Querschlägen und Logistikstollen sowie dem Bauschacht.

Die Einteilung des anfallenden Ausbruchmaterials erfolgt in sechs Materialklassen MK 1 bis MK 6 (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010a):

- MK 1 Nach Aufbereitung geeignet als Gesteinskörnungen für Beton und/oder Frostkoffermaterial
- MK 2 Herstellung von Bahndämmen bzw. Bodenauswechslung bzw. Aufbereitung für Materialklasse 1
- MK 3 Herstellung von Lärmschutzdämmen und/oder Geländemodellierung
- MK 4 Bautechnisch ungeeignetes Material, das für Verfüllungen, Rekultivierung oder Deponierung zu berücksichtigen ist
- MK 5 Entsorgungspflichtiges Material, wie zum Beispiel kontaminierte Böden, Altablagerungen etc., das aufgrund seiner Beschaffenheit einer Behandlung oder gesicherten Deponierung bedarf
- MK 6 Benötigtes Sondermaterial, wie z. B. für Mineralische Dichtung, Steinschichtungen etc. (Unterscheidung in MK 6-N für neogenes Material und MK 6-K für kristallines Material)

Die Unterteilung in Materialklassen erfolgte durch die Örtliche Bauaufsicht durch Unterscheidung zwischen neogenem (MK3 – MK4) und kristallinem (MK1 – MK2) Material.

Die Massen in Abbildung 3-14 gehen als m^3 fest in das System hinein und verlassen das System als m^3 eingebaut. Dies ist damit zu begründen, dass die eingebauten Massen als aufgemessene Werte vorliegen.

Ein Anteil von rund $13\,430\,m^3$ fest an Ausbruchmaterial der Klasse MK4 (Bauschacht) wurde fremdverführt. Dieses extern verführte Material sowie das Material geeignet als Steinsatz sind im Output in m^3 fest angegeben, da keine Aufmaße des verführten und eingebauten Materials vorliegen bzw. der Steinsatz noch nicht

eingebaut ist. Bisher wurde kein Material der Klassen MK1 und MK5 ausgebrochen. MK6-N entspricht dem neogenen Dichtschichtmaterial für das Inertabfallkompartiment auf der H2. Das Material des Steinsatzes wird als MK6-K bezeichnet. Filterschichtmaterial für das Inertabfallkompartiment auf der H2 und Schüttmaterial für die BE-Fläche wurden aus Material der Klasse MK2 hergestellt. Teile des Ausbruchmaterials der Klasse MK2 wurden deponiert. Ausbruchmaterial MK3 wurde ausschließlich deponiert.

Legende

- MK 1 Nach Aufbereitung geeignet als Gesteinskörnungen für Beton und/oder Frostkoffermaterial
- MK 2 Herstellung von Bahndämmen bzw. Bodenauswechslung bzw. Aufbereitung für Materialklasse 1
- MK 3 Herstellung von Lärmschutzdämmen und/oder Geländemodellierung
- MK 4 Bautechnisch ungeeignetes Material, das für Verfüllungen, Rekultivierung oder Deponierung zu berücksichtigen ist
- MK 5 Entsorgungspflichtiges Material, wie zum Beispiel kontaminierte Böden, Altablagerungen etc., das aufgrund seiner Beschaffenheit einer Behandlung oder gesicherten Deponierung bedarf
- MK 6 Benötigtes Sondermaterial, wie z. B. für Mineralische Dichtung, Steinschichtungen etc. (Unterscheidung: MK 6-N für neogenes Material, MK 6-K für kristallines Material)

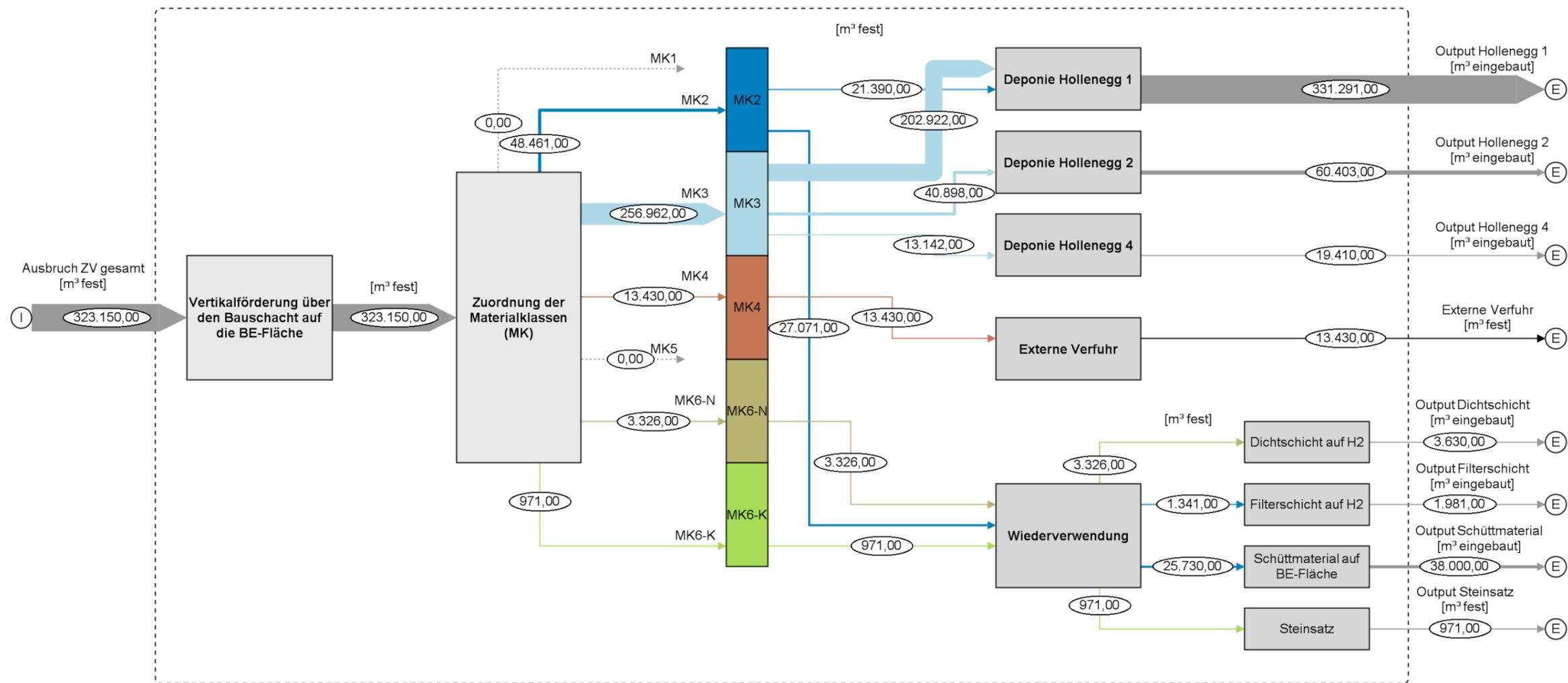


Abbildung 3-14: Stofffluss im zyklischen Vortrieb

3.2 Beprobung von Tunnelausbruchmaterial am Baulos KAT 2 im Zuge des zyklischen Vortriebes

3.2.1 Beprobung zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen

Ein Beurteilungsnachweis enthält die Dokumentation aller für den jeweiligen Abfall relevanten Informationen und Untersuchungsergebnisse der grundlegenden Charakterisierung und den vorhandenen Übereinstimmungsbeurteilungen. Weiters sind Beurteilungen, Schlussfolgerungen und Begründungen für die Zulässigkeit der Ablagerung des Abfalls auf einem der konkreten Kompartimente oder gegebenenfalls auf einem Kompartimentsabschnitt anzugeben. (Deponieverordnung, 2008)

Eine befugte Fachperson oder Fachanstalt hat die Ergebnisse der Beurteilung der Zulässigkeit der Ablagerung des Abfalls für konkrete Kompartimente bzw. für den konkreten Kompartimentsabschnitt in einem Beurteilungsnachweis schlüssig darzustellen. Die Angabe des konkreten Kompartiments kann für nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial und nicht verunreinigte Bodenbestandteile, deren Ablagerung auf einer Bodenaushub- oder Inertabfalldeponie zulässig ist, entfallen, außer wenn eine Ausnahmeregelung gemäß § 8 der DepVO (2008) (Genehmigung höherer Grenzwerte) zur Anwendung kommt. Spätestens zum Zeitpunkt der Anlieferung des Ausbruchmaterials an die Deponie muss der Beurteilungsnachweis vorliegen. Im Zuge der Deponieeingangskontrolle sind die Ergebnisse des aktuellen Beurteilungsnachweises mit den Anforderungen des Kompartiments zu vergleichen und auf Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit und Plausibilität zu untersuchen. Der Deponieinhaber hat die Beurteilungsnachweise und die Abfallinformationen sieben Jahre aufzubewahren. Die Probenahme für den Beurteilungsnachweis darf erst nach der letzten Behandlung (z. B. Endsiebung) vor der Deponierung erfolgen. Der Zustand des beurteilten Ausbruchmaterials muss jener des abgelagerten Materials sein. Bei der Deponierung sind Wechselwirkungen mit bereits abgelagertem Material nicht auszuschließen. (Deponieverordnung, 2008)

3.2.2 Allgemeines zur Beprobung am Baulos KAT 2

Am Koralmtunnel (Baulos KAT 2) werden die chemischen Untersuchungen und die Beurteilungsnachweise sowie die Entnahme und Erstellung der Laborproben durch das Technische Büro Bauer GmbH (Ingenieurbüro für technischen Umweltschutz, Cranachstraße 5A, 1130 Wien) durchgeführt. Die Beprobung umfasst die nach DepVO (2008) erforderlichen Haupt- und Zusatzproben in Mindestabständen von 600 bzw. 200 m. Die Abstände der Probennahmen im Zuge des zyklischen Vortriebs werden auf 20 bis 25 lfm Tunneltrasse in beiden Tunnelröhren verringert. Dies ist damit zu begründen, dass dadurch die Repräsentativität verbessert wird und ausreichend Probenmaterial für eine Beweissicherung im Fall von Gesteinswechseln, Störungszonen oder arbeitsbedingten Belastungen zur Verfügung steht. Die Proben werden aufbewahrt und im Falle einer Grenzwertüberschreitung nachträglich analy-

siert, um das kontaminierte Ausbruchmaterial abgrenzen zu können. Diese Proben sind qualifizierte Stichproben. Jene qualifizierten Stichproben von einer Länge von 200 m werden vor Ort oder in der Prüfanstalt in Deutschland zu einer Feldprobe zusammengefasst. Die Definitionen einer Feldprobe und einer qualifizierten Stichprobe lauten gemäß DepVO (2008):

*„Eine **Stichprobe** ist eine Probe, die an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt gezogen wird; eine Stichprobe wird nicht einzeln untersucht, sondern mit anderen Stichproben zu einer qualifizierten Stichprobe zusammengefasst.“*

*„Eine **qualifizierte Stichprobe** ist eine Probe, die aus mehreren Stichproben besteht und die einer bestimmten Abfallmenge und einer bestimmten Abfallart zugeordnet werden kann.“*

*„Eine **Sammelprobe** ist eine Probe, die aus mehreren qualifizierten Stichproben besteht.“*

*„Eine **Feldprobe** ist eine Probe, aus der die Laborprobe für die nachfolgende Untersuchung hergestellt wird; die Feldprobe kann entweder eine Einzelprobe, eine qualifizierte Stichprobe oder eine Sammelprobe sein.“*

In einem Baustellenlabor werden durch sogenannte Voranalysen die maßgebenden Parameter untersucht, um bei Änderung der Gesteinsqualität sofort reagieren zu können und um im konkreten Fall nicht erst die Ergebnisse aus dem akkreditierten Labor mit Sitz in Deutschland abwarten zu müssen. Diese Proben dienen auch der Qualitätssicherung für die Deponieeingangskontrolle und stehen auch der Deponieaufsicht nach Bedarf zur Verfügung. Die Deponieeingangskontrolle wird durch das Büro GUT Gruppe Umwelt + Technik GmbH (Plesching 15, 4040 Linz) durchgeführt. Beim Erkennen von Unregelmäßigkeiten bzw. Auffälligkeiten aus abfallchemischer Sicht sind diese gesondert zu vermerken. Wenn unterschiedliche Material- bzw. Abfallqualitäten beim Tunnelausbruch auftreten, wie z. B. Betonanteile, Kohle etc., ist dieses Material separat zu beproben und nicht zu einer gemeinsamen qualifizierten Stichprobe zu vereinen. (Bauer, et al., 2011)

3.2.3 Voranalyse

Die Durchführung der Eluattests für eine Voranalyse beruht auf der ÖNORM S 2113 (1997) mit dem Titel „Herstellung eines Schnelleluats zur Untersuchung von Abfällen“. Das Verfahren zur Schnelleluattestung kommt bei der Eingangskontrolle auf Deponien zur Anwendung, wenn Ergebnisse eines Auslaugversuches in kurzer Zeit geliefert werden sollen. Diese Methode prüft weiteres, ob der Abfall der entsprechenden Spezifikation entspricht. Maßgebende Parameter sind i.d.R. im zyklischen Vortrieb die Stickstoffparameter Ammonium, Nitrit und Nitrat, welche im Eluat ermittelt werden. Das Ziel dieser Voranalysen ist es, die Zwischenlagerung des Tunnelausbruchmaterials zu verkürzen.

Die Proben werden im Elutionsmittel (meist Wasser) verrührt, sodass die ungelösten organischen und anorganischen Bestandteile abgetrennt werden können. Für eine Versuchsdurchführung werden gemäß ÖNORM S 2113 folgenden Geräte benötigt:

- Gefäße aus Glas oder Kunststoff
- Magnetrührer oder Ultraschallbad
- destilliertes Wasser oder Wasser des gleichen Reinheitsgrades
- Zentrifuge
- Druck- oder Vakuum-Filtrationsgeräte
- Membranfilter (0,45 µm)

Im Regelfall darf der Zustand des zu deponierenden Materials im Zuge der Untersuchung nicht verändert werden. Eine Zerkleinerung ist dann zulässig, wenn sie für die Durchführung der Untersuchung notwendig ist. Generell wird ein Abfall zerkleinert, wenn dessen Korngröße über 10 mm liegt. Eine Mahlung des Abfalls ist nicht zulässig. (ÖNORM S 2113, 1997)

3.2.4 Transportwege des Ausbruchmaterials

Der Transport des Ausbruchmaterials erfolgt während des zyklischen Vortriebs von der Ortsbrust mit Muldenfahrzeugen zum Schachtfuß, dann mit einem Krancontainer zum Schachtkopf und anschließend zur kurzen Zwischenlagerung auf die Baustelleneinrichtungsfläche, wo das Ausbruchmaterial von Spritzbeton und anderen möglichen Baurestmassen getrennt wird. Insbesondere die Spritzbetonschale des EKT Leibenfeld (Abbildung 3-15), der in der Achse der Südweströhre lag, musste aussortiert werden. Die Baurestmassen müssen separat auf eine dementsprechende Deponie gebracht und dort gelagert werden. Danach wird das Material in einen Brecher mit inkludierter Waage gehoben, bevor es auf das Förderband Richtung Erstabwurfstelle auf der Deponie H4 gelangt. Mittels LKWs wird das Material auf die Deponien Hollenegg verführt. Der Transport auf die Deponien kann ausschließlich mit LKWs, die eine Brückenwaage, die das Ausbruchmaterial in kg aufzeichnet, passieren müssen, durchgeführt werden. Der Transport über das Förderband erfolgte von 14.2.2012 bis 27.6.2012 unter der Woche. Da am Wochenende das Deponieren gemäß Bescheid nicht zugelassen ist, wurden jeweils zu Wochenbeginn LKWs zur zusätzlichen Verfuhr eingesetzt. Abbildung 3-15 stammt aus einem grundlegenden Beurteilungsnachweis des Technischen Büro Bauer GmbH.



Abbildung 3-15: Erkundungstunnel Leibenfeld (Bauer, 2012a)

3.2.5 Probenentnahme

Der Probenahmevergang wird nach den Vorgaben der ÖNORM S 2123-1 (2003), mit dem Titel „Probenahmepläne für Abfälle, Teil 1: Beprobung von Haufen“ durchgeführt. Jede Probe (qualifizierte Stichprobe) besteht aus 20 Stichproben. Die Menge einer Stichprobe in Kilogramm ist abhängig vom Größtkorn (95%-Perzentil, in mm) des anfallenden Materials. Die Formel $0,06 \times \text{Größtkorn}$ wird angewandt. Beispiel: Größe des Größtkorn: 30 mm. Daraus folgen 1,8 kg je Stichprobe. Eine qualifizierte Stichprobe hat somit $20 \times 1,8 \text{ kg} = 36 \text{ kg}$. Diese Probenmenge kann minimiert werden, indem eine Viertelung des Probahaufens zur Anwendung kommt. Die 20 Stichproben werden auf einen Haufen geschaufelt, dieser wird homogenisiert und dann werden die diagonal liegenden Haufen verworfen. Die übrigen beiden Viertel werden wieder vermischt und nochmals geviertelt. Die verbleibende Masse (15 bis 20 kg) wird als qualifizierte Stichprobe beschriftet und als Doppelprobe in zwei Säcken mit je 7 bis 9 kg überführt (Abbildung 3-16).

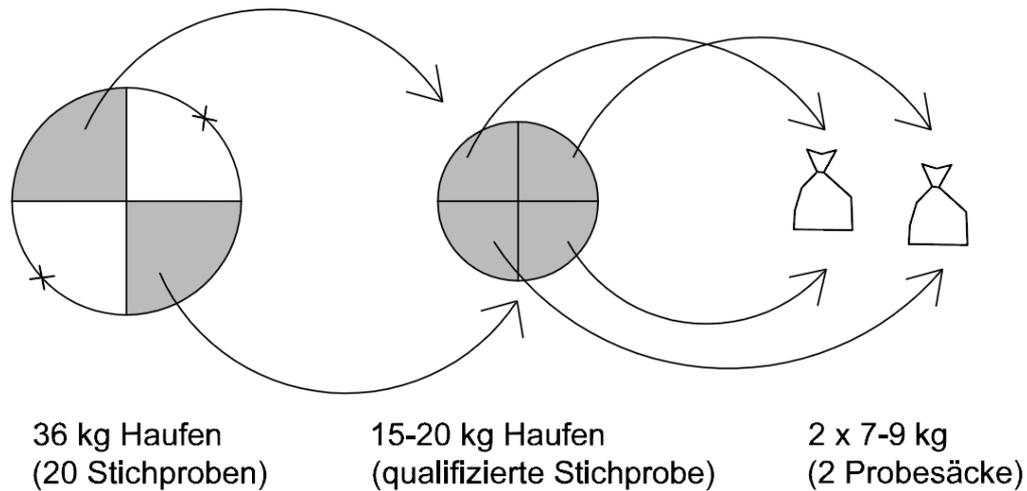


Abbildung 3-16: Probenahmevergung

Die Ansprache der Proben wird in Zusammenarbeit mit einem Geologen durchgeführt. Im Probenprotokoll sind die Stationierung und das Datum sowie die Gesteinsart, Besonderheiten wie Störungszonen, Vererzungen oder geogene Fremddanteile wie Kohle anzugeben. Die Lagerung der Proben erfolgt unterteilt in Nord- und Süd- röhre bzw. nach Querschlägen in einem verschlossenen Probecontainer der Baustelleneinrichtung. (Bauer, et al., 2011)

Die Probenahme erfolgt im Tunnel in unmittelbarer Nähe der Ortsbrust nach einem Abschlag. Die Menge und Art der Probe soll möglichst repräsentativ sein, um verfälschte Versuchsergebnisse zu vermeiden. Die Wahrscheinlichkeit ist gegeben, dass genau an diesen Standorten (alle 200 m) hohe geogen bedingte Verunreinigungen auftreten und somit das Ausbruchmaterial von 200 m Tunnellänge (100 m in beide Richtungen) als verunreinigt betrachtet werden kann. Diese Länge multipliziert mit einer Ausbruchsfläche von 70 m^2 führt zu einem Volumen von $14\,000 \text{ m}^3$. Mit einem durchschnittlichen, spezifischen Gewicht von $2,3 \text{ to/m}^3$ ergibt dies eine Masse von $32\,200 \text{ to}$, die zufolge der Probenahmestellen entsprechend deponiert werden müssten und somit auch keiner gewünschten Verwertung zugeführt werden könnten. Dieses Volumen von $14\,000 \text{ m}^3$ würde eine Deponiegrundfläche von ungefähr $2\,600 \text{ m}^2$ bei einer durchschnittlichen Schütthöhe von 12 m unter Berücksichtigung, dass die Deponietopfläche weitaus kleiner als die Grundfläche ist, benötigen (Tabelle 3-7). Die Werte für die Berechnung wurden zufolge der vorhandenen Daten über die Eigendeponien des Bauloses KAT 2 ermittelt.

Tabelle 3-7: Daten der Deponien Hollenegg (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009d)

Deponie	Projizierte Deponie- grundfläche [m ²]	Schütt- volumen [m ³]	max. Schütthöhe [m]	m³ Ausbruchmaterial pro m² Deponiefläche
Hollenegg 1	56.065	341.000	16	6,1
Hollenegg 2	27.172	98.000	8	3,6
Hollenegg 4	104.875	660.000	13	6,3
Durchschnitt			12	5,3

Im Falle von verunreinigtem Material, das nicht auf Bodenaushubdeponien gelagert werden darf, müsste bereits deponiertes Material auf eine dementsprechende Deponie verschoben werden. Dieser Vorgang wäre wirtschaftlich als auch ökologisch zufolge des CO₂-Ausstosses der LKWs zum Transport von Nachteil und kann durch vermehrte Probenahme alle 20 bis 25 m und Vorabanalysen verhindert werden. Anhang 4 der DepVO (2008) legt für den Fall einer Grenzwertüberschreitung eine Vorgehensweise fest, die aber schwierig auszuführen ist. Bereits ausgehobenes und möglicherweise deponiertes Material müsste einer zusätzlichen Beprobung unterzogen werden.

Es folgt eine Fotodokumentation der Probennahmen, Probenzerkleinerung und Probenaufbewahrung vor Ort.



Abbildung 3-17: Haufwerk Probe - gering verfestigter Schluffstein im neogenen Abschnitt (sandig 0 – 2 mm, vereinzelt bis 50 mm) (Bauer, 2012a)



Abbildung 3-18: Haufwerk Probe - kristallines Gestein (0 – 120 mm) (Bauer, 2012a)



Abbildung 3-19: Brecher vor Ort zur Zerkleinerung der Proben



Abbildung 3-20 Gebrochenes Probematerial



Abbildung 3-21 Qualifizierte Stichproben



Abbildung 3-22 Lagerung der Rückstellproben

Die Definition einer Rückstellprobe ist gemäß DepVO (2008):

„Eine Rückstellprobe ist ein aliquoter Anteil der Feldprobe, der für allfällige Kontrolluntersuchungen aufbewahrt wird.“

3.2.6 Messung der Parameter

Das Ausbruchmaterial kann im Zuge des zyklischen Vortriebs mit Sprengmittel verunreinigt sein, weshalb die Untersuchung der Parameter laut DepVO (2008), Anhang 4, erforderlich ist. In diesem Anhang ist festgehalten, dass bei Hauptproben die Parameter einer Vollanalyse und bei Zusatzproben grenzwertrelevante Parameter, aber hier jedenfalls Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff im Eluat sowie Kohlenwasserstoffindex und TOC im Feststoff zu untersuchen sind. Die Untersuchung von Nitrat- und Nitrit-Stickstoff ist nur erforderlich, wenn Sprengstoff eingesetzt wird.

Es dauert mindestens 5 Werktage bis die Ergebnisse des Labors in Deutschland auf der Baustelle eintreffen (einen Tag dauert der Transport ins Labor, drei Tage beansprucht die Auswertung im Labor). Bei einer Vorabanalyse können innerhalb weniger Stunden Ergebnisse geliefert werden, die aussagekräftig, jedoch nicht gesetzeskonform sind. Das Technische Büro Bauer GmbH analysiert Vorort den pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und den Ammoniumgehalt. Nitrit und Nitrat werden nicht untersucht, da die Konzentrationen in den Haupt- und Zusatzproben zu Beginn des zyklischen Vortriebs nie kritische Werte annahmen. Im kontinuierlichen Vortrieb werden ebenso pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Ammonium und zusätzlich Kohlenwasserstoff Vorort untersucht. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse einer Vorabanalyse, die durch das Büro Bauer GmbH im dazugehörigen grundlegenden Beurteilungsnachweis angeführt sind.

Tabelle 3-8: Vorabanalyse Nordröhre Ostvortrieb, Station 520 m (Bauer, 2012b)

Messgröße	Einheit	Eluatgehalt	
		Messwert	Grenzwert Bodenaushubdeponie
pH-Wert	[-]	10,1	6,5 – 11 ¹⁾
Leitfähigkeit	mS/m	15,7	150 ²⁾
Ammonium	mg/kg TM	2,5	24 ³⁾

¹⁾ Für aufgrund natürlicher Entwicklung versauerten Boden gilt der pH-Wert ab 3,5.

²⁾ Für geogen bedingt gipshaltiges Bodenaushubmaterial beträgt der Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit 300 mS/m.

³⁾ Erhöhte Grenzwerte um das 3-fache nach §8 DepVO 2008.

Im Folgenden sind die Schadstoffparameter und die zur Messung im Baustellenlabor erforderlichen Geräte angeführt. Die Informationen stammen – wenn nicht eine andere Quelle angeführt ist – vom Technischen Büro Bauer GmbH.

Stickstoffparameter Ammonium, Nitrit und Nitrat

Diese Schadstoffparameter werden nach der Probenaufbereitung mittels Eluat (24 h im Eluatschüttler), eventuell Schnelleluat (20 min im Magnetrührer), und anschließender Messung mittels Photometer festgestellt. Im Baustellenlabor wird ein „Merck-Spectroquant Nova 60“ eingesetzt. Im Zuge des kontinuierlichen Vortriebs und der weitaus geringeren Verwendung von Sprengmittel werden diese Parameter stark an Bedeutung verlieren.



Abbildung 3-23: Merck-Spectroquant Nova 60 (Merck Millipore)

Kohlenwasserstoffindex

Der Kohlenwasserstoff, gemessen im Feststoff, wird vor allem durch Diesel- und Hydraulikölverluste der Baugeräte sowie Schwermetalle als geogen bedingte Parameter verursacht. Durch die Zugabe von NO_2 (Stickstoffoxide) und SO_4 (Sulfate) kann die Feuchtigkeit der Probe entweichen. Eine spezielle Reagenzflüssigkeit löst die Kohlenwasserstoffe und mit einem Photometer von Horiba wird der Kohlenwasserstoffgehalt über die Farbdurchlässigkeit gemessen. Die Schwermetalle werden mit einem mobilen RFA (Röntgenfluoreszenzgerät) gemessen.



Abbildung 3-24: Horiba-Photometer OCMA 220 (Horiba)

Messung des pH-Wertes, des Sauerstoffgehaltes und der elektrischen Leitfähigkeit

Mit einem sogenannten Mehrparameternmessgerät ist die Erfassung von pH-Wert, Sauerstoffgehalt und elektrischer Leitfähigkeit im Eluat möglich.

Magnetrührer und Kaffeefilter

Die Kaffeemaschine dient zur Filtrierung von Stoffen. Der Magnetrührer kann für die Schnelleluatherstellung eingesetzt werden, wobei das Elutionsmittel destilliertes Wasser ist. Im Baustellenlabor vor Ort wird er jedoch unter Vorbehalt verwendet, da die Erfahrung gemacht wurde, dass durch das Umrühren zuviel Sauerstoff entweicht, wodurch wiederum das Prüfergebnis beeinflusst sein könnte.



Abbildung 3-25: Magnetrührer IKA RH Basic 2 (IKA-Werke GmbH & Co. KG) und Kaffeefilter

Thermoreaktor

Mit dem Thermoreaktor können Proben für etwaige Versuche auf bestimmte Temperaturen aufgeheizt werden.



Abbildung 3-26: Merck Thermoreaktor TR 200 (Merck Millipore)

Relative Feuchtigkeit

Eine fünf bis zehn Gramm schwere Probe wird in einem Restfeuchtemessgerät in einen Alubehälter gelegt. Während die Feuchtigkeit unter Verschluss durch Trocknen entzogen wird, wird die relative Feuchtigkeit gemessen.



Abbildung 3-27: Restfeuchtemessgerät Ohaus MB25 (Ohaus Europe GmbH)

Eluatschüttler

Im Eluatschüttler werden die Proben für die Messung der Grenzwerte im Eluat (nicht Schnelleluat) vorbereitet, indem der Schüttler sechs bis 24 Stunden durchgehend in Betrieb ist.



Abbildung 3-28: Überkopfschüttler Heidolph (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG)

3.2.7 Entscheidungsfluss zufolge der abfallchemischen Untersuchung

Abbildung 3-29 stellt den Entscheidungsfluss des Ausbruchmaterials vom zyklischen Vortrieb am KAT 2 im Zeitraum von 08.03.2011 bis 29.08.2012 zufolge der abfallchemischen Untersuchungen dar und beruht auf den Inhalten des Kapitels 3.2. Die Abkürzung „Tm“ in folgender Abbildung steht für „Tunnelmeter“. Hier ist Tm 0, Tm 200 usw. beispielsweise angeführt und bezieht sich auf die Beprobungsabstände gemäß Anhang 4, Teil 2, DepVO (2008).

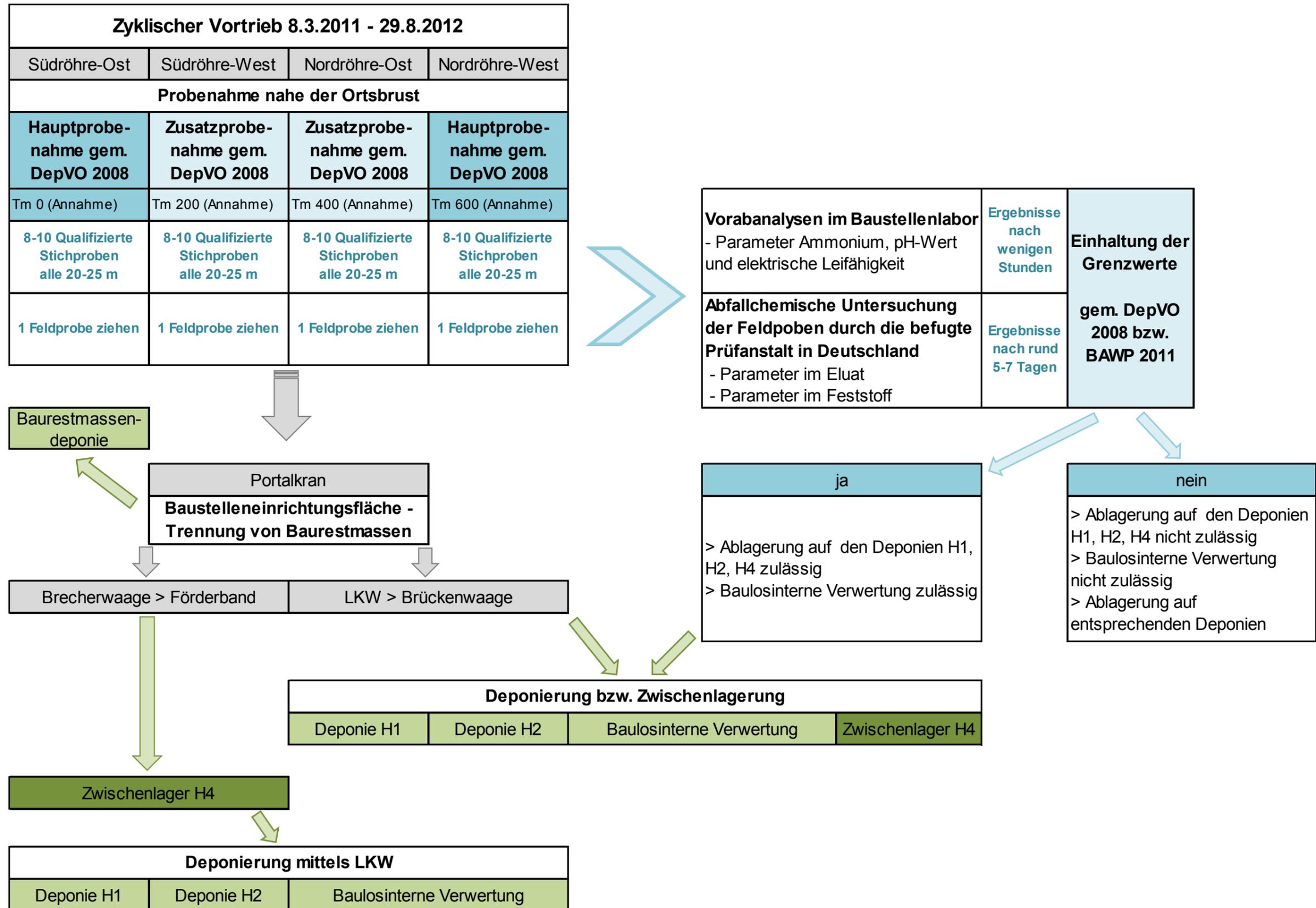


Abbildung 3-29: Entscheidungsfluss der abfallchemischen Untersuchung im zyklischen Vortrieb am KAT 2

3.2.8 Beeinflussung der geochemischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials

Durch die Bauweise des zyklischen Vortriebes können Fremdmaterialien wie Sprengstoff- und Spritzbetonrückstände im Ausbruchmaterial vorhanden sein. Folgend werden die Ergebnisse zu den Auswirkungen von Fremdmaterialien auf die Parameter Nitrit- und Nitrat-Stickstoff, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit dargestellt. Die Ergebnisse der Parameter sind aus den Beurteilungsnachweisen von Bauer (2011a), Bauer (2011b), Bauer (2012a), Bauer (2012b), Bauer (2012c), Bauer (2012d) und Bauer (2012e).

3.2.8.1 Auswirkungen des Sprengstoffeinsatzes auf die Parameter Nitrit- und Nitrat-Stickstoff

Die DepVO (2008) legt im Anhang 4 fest, dass Nitrat- und Nitrit-Stickstoff nur im Zusammenhang mit einem Sprengstoffeinsatz untersucht werden müssen. Aus diesem Grund wird die Einhaltung der Grenzwerte dieser Parameter, die Menge an eingesetztem Sprengstoff und die Konzentration der genannten Parameter im Ausbruchmaterial genauer betrachtet. In der Tabelle 3-9 sind die Grenzwerte der Bodenaushubdeponie (BAD) und der Inertabfalldeponie (IAD) mit den zulässigen, dreifach höheren Grenzwerten gemäß Bescheid des Landes Steiermark gegenübergestellt. Die Zulässigkeit der Genehmigung von höheren Grenzwerten ist in der DepVO (2008), § 8, geregelt.

Tabelle 3-9: Grenzwerte Nitrat (als N) und Nitrit (als N)

Parameter	zulässiger höherer Grenzwert [mg/kg TM]	Grenzwert gem. BAD [mg/kg TM]	Grenzwert gem. IAD [mg/kg TM]
Nitrit (als N)	6	2	2
Nitrat (als N)	300	100	100

Die Untersuchungsergebnisse von Nitrat (als N) und Nitrit (als N), dargestellt in Abbildung 3-30 und Abbildung 3-31, stammen aus den grundlegenden Beurteilungsnachweisen des Technischen Büros Bauer GmbH. Anhand der beiden Diagramme ist zu erkennen, dass weder die zulässigen höheren Grenzwerte noch die Grenzwerte gemäß DepVO (2008) (BAD und IAD) überschritten werden. Im kristallinen Bereich des zyklischen Vortriebs wurden aufgrund der größeren Gesteinshärte mehr Sprengmittel eingesetzt, was aus Abbildung 3-32 und Abbildung 3-33 abzulesen ist. In der Nordröhre ist jedoch zufolge der geringen Vortriebslänge im kristallinen Gestein kein signifikanter Anstieg des Sprengmitteleinsatzes nachzuweisen.

Folgende Abkürzungen sind in den Abbildungen des Kapitels 3.2.8.1 enthalten:

NoOs Neo	Nord-Ost-Vortrieb im Neogen
NoWe Neo	Nord-West-Vortrieb im Neogen
SüOs Neo	Süd-Ost-Vortrieb im Neogen
SüWe Neo	Süd-West-Vortrieb im Neogen
NoWe Kri	Nord-West-Vortrieb im Kristallin
SüWe Kri	Süd-West-Vortrieb im Kristallin

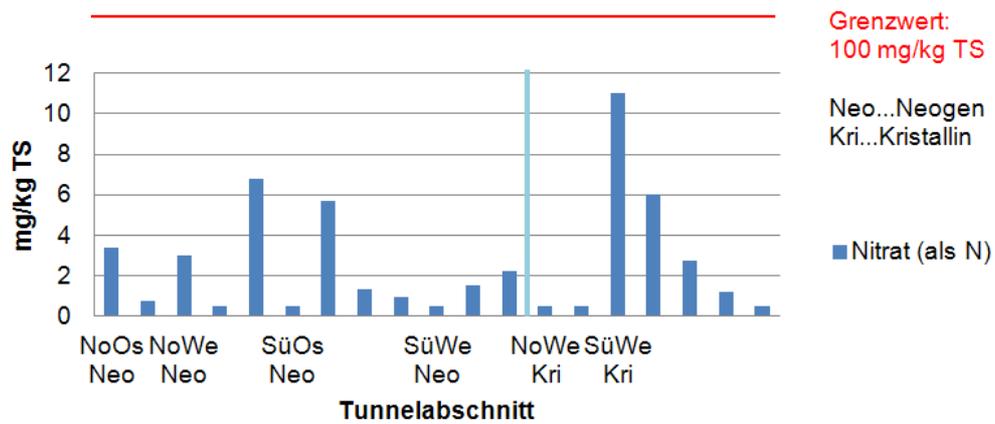


Abbildung 3-30: Gemessene Konzentrationen von Nitrat (als N)

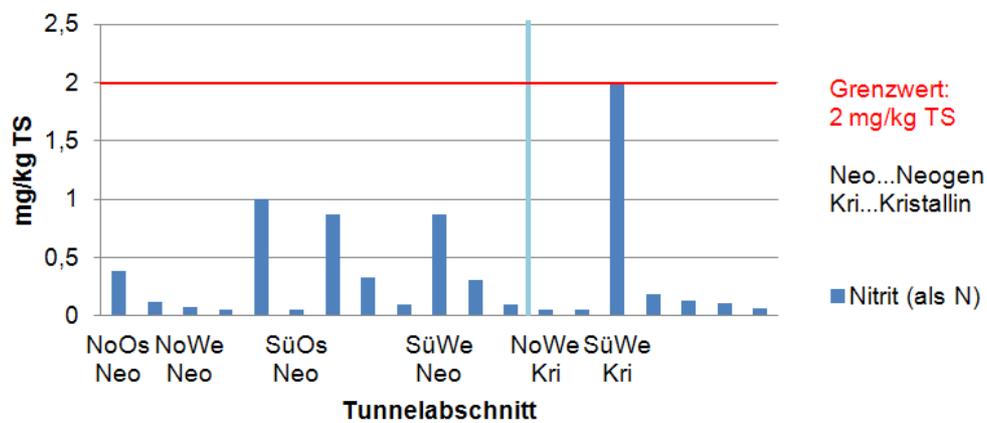


Abbildung 3-31: Gemessene Konzentrationen von Nitrit (als N)

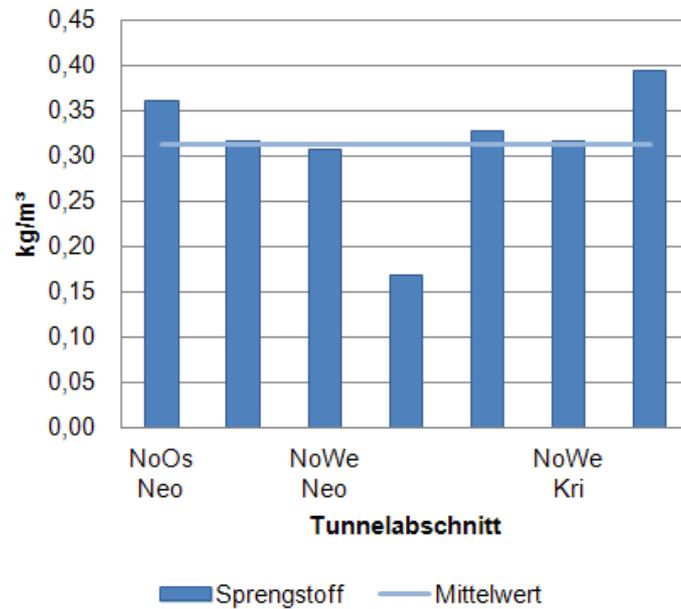


Abbildung 3-32: Sprengstoffeinsatz in der Nordröhre

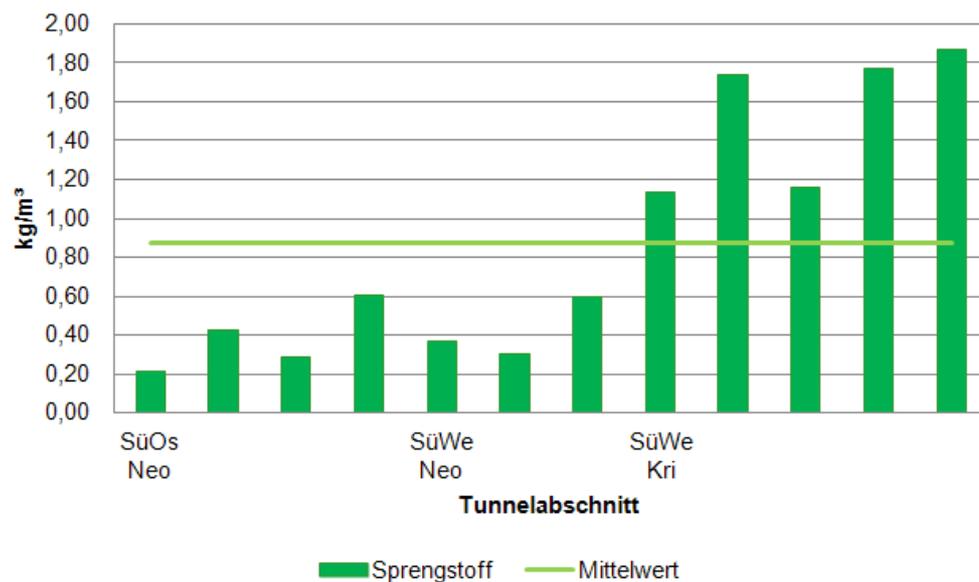


Abbildung 3-33: Sprengstoffeinsatz in der Südröhre

In Abbildung 3-34 wird die Konzentration von Nitrat (als N) mit jener von Nitrit (als N) im Ausbruchmaterial verglichen. Nitrat ist deutlich höher konzentriert, wobei jene Messergebnisse des kristallinen Abschnittes wiederum höher sind als jene des neo-genen Abschnittes.

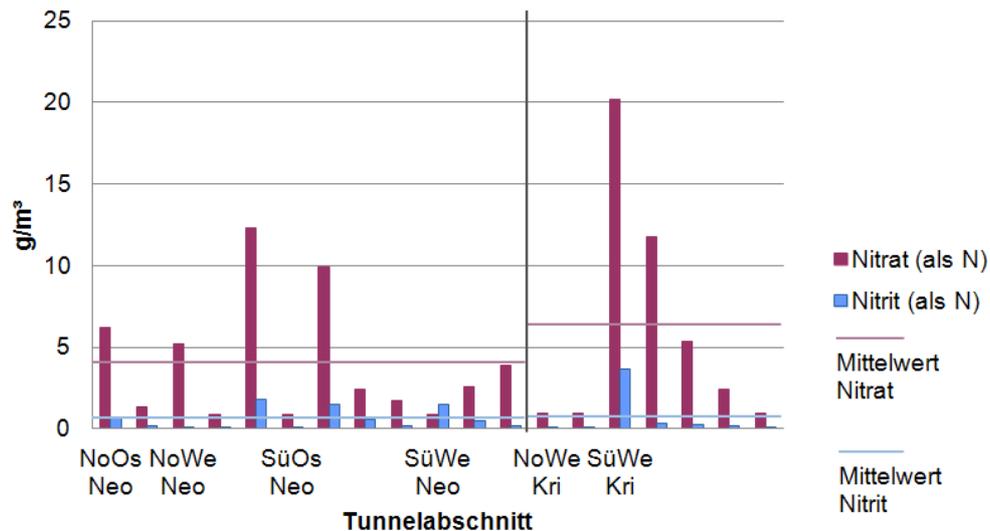


Abbildung 3-34: Nitrat (als N) und Nitrit (als N) in g/Tonne Ausbruch

Resch (2012) gibt folgende Ergebnisse, die im Zuge von Eluatversuchen an Ausbruchmaterial festgestellt wurden, an: Durch den Sprengvortrieb werden lösliche Anteile an Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-) und Ammonium (NH_4^+) in das Ausbruchmaterial eingetragen:

- 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

Im Vergleich zu den Messergebnissen am KAT 2 (Abbildung 3-35) unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors von $2,6 \text{ t/m}^3$ (Resch, 2012) ergeben sich folgende Minima und Maxima:

- Nitrat (NO_3^-) im neogenen Abschnitt: 0,4 bis 6,1 g-N/Tonne Ausbruch
- Nitrat (NO_3^-) im kristallinen Abschnitt: 0,5 bis 10,1 g-N/Tonne Ausbruch
- Nitrit (NO_2^-) im neogenen Abschnitt: 0,0 bis 0,9 g-N/Tonne Ausbruch
- Nitrit (NO_2^-) im kristallinen Abschnitt: 0,0 bis 1,8 g-N/Tonne Ausbruch

Alle gemessenen Werte sind niedriger als die Maximalwerte, welche in Resch (2012) angegeben werden, was durch die Menge des Sprengstoffeinsatzes als auch durch die Gesteinsart begründet werden könnte. Diese Informationen sind in Resch (2012) jedoch nicht angegeben, weshalb auch keine weiteren Rückschlüsse gezogen werden können.

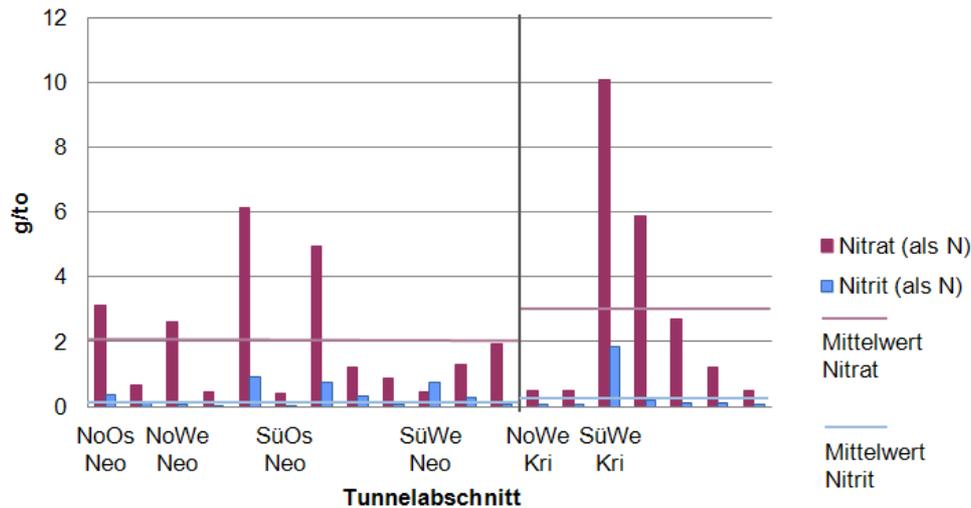


Abbildung 3-35: Nitrat (als N) und Nitrit (als N) in g/Tonne Ausbruch

Am Baulos KAT 2 kamen bis zum heutigen Tag die Sprengstofftypen Lambrex und Emulex von Austin Powder - Austria, beide sprengkapselempfindliche Emulsionssprengstoffe, sowie Rowodyn von Austin Powder - Austria, ein sprengkapselempfindlicher gelatinöser Ammonsalpetersprengstoff, zum Einsatz.

Ein Emulsionssprengstoff ist ein Gemisch aus sauerstoffliefernden, hochkonzentrierten Salzlösungen und verbrennlichen Bestandteilen, die mit Hilfe von Emulgatoren in Form einer „Wasser-in-Öl-Emulsion“ stabilisiert sind. Die Basisemulsion besteht aus Ammoniumnitrat, Wasser und Mineralöl. Die verschiedenen Bestandteile enthalten keine als Explosivstoff eingestuftten Komponenten. (Annen)

Gelatinöse Sprengstoffe bestehen hauptsächlich aus einer Mischung von mit Nitrozellulose gelatiniertem Sprengöl, der sogenannten Sprenggelatine und Ammoniumnitrat (Staskiewicz, 2006). Emulsionssprengstoffe haben im Vergleich mit gelatinösen Sprengstoffen eine etwas geringere Sprengleistung, jedoch befinden sich weniger toxische Bestandteile in den Schwaden, was den Vorteil von kürzeren Lüftungszeiten mit sich bringt (Zentrum Geotechnik, 2008). Das Ziel eines erhöhten Wirkungsgrades des eingesetzten Sprengstoffes bei gleichzeitiger Emissionsreduktion kann durch eine bessere Verdämmung, einen optimalen Bohrlochfüllungsgrad und die Optimierung bzw. Abstimmung von Sprengschema und Abschlagslänge erreicht werden (Poscher, 1993).



Abbildung 3-36: Geladener Sprengstoff in der Kalotte (Tunnelabschnitt Nord-Ost, Neogen)



Abbildung 3-37: Ortsbrust nach der Sprengung (Tunnelabschnitt Nord-Ost, Neogen)

3.2.8.2 Auswirkungen der Spritzbetonrückstände

Die Folgen von Spritzbetonrückständen und deren löslichem Anteil des Kalkhydrats im Ausbruchmaterial können eine Erhöhung des pH-Wertes und/oder der elektrischen Leitfähigkeit sein. Die elektrische Leitfähigkeit wird durch Salzionen, die im Gestein enthalten sind und durch Wasser in den gelösten Zustand übergehen, hervorgerufen. Bei einem zusammenhängenden Porennetzwerk des Untergrundes sind die Ionen beweglich und tragen zum Stromfluss bei. Die elektrische Leitfähigkeit hängt somit von der Ionenkonzentration, der Wassersättigung und der Permeabilität (Porosität) ab. (Karlsruher Institut für Technologie, 2011)

Gemäß dem geologischen Gutachten des kristallinen Bereiches wird das unterlagernde Festgestein mit Ausnahme von einzelnen Marmoreinschaltungen von nicht verkarstungsfähigen, kristallinen Gesteinen aufgebaut. Zuzufolge dessen ist die Leitfähigkeit der Quellwässer meist gering. Für die gering mineralisierten Kristallinwässer im oberflächennahen Bereich - mit Leitfähigkeitswerten bis unter 50 mS/cm - sind ein neutraler bis saurer pH-Wert charakteristisch. Die im zentralen Bereich der Koralpe entnommenen Proben sind mit Leitfähigkeitswerten unter 200 mS/cm ebenso als gering mineralisiert zu bezeichnen. Der pH-Wert schwankt in häufig anzutreffenden, gering mineralisierten, kristallinen Bergwässern zwischen ca. 6,0 und ca. 8,0 und misst in untergeordnet auftretenden, natriumreichen bzw. kalkdominierten Tiefenwässern des Koralmkristallins über 9,0. Ein Vergleich mit den Messergebnissen der geologischen Voruntersuchung von pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit kann zur schnelleren Aufklärung der Ursache von möglichen Grenzwertüberschreitungen dieser Parameter gemäß Deponieverordnung (2008) und Bundesabfallwirtschaftsplan (2011) beitragen. (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b)

Der Auftragnehmer (AN) des Bauloses KAT 2 hat darauf zu achten, dass kein Rückprall eingespritzt wird und er wird im Bauvertrag darauf hingewiesen, dass es beim Aufbringen von Spritzbeton auf Sand sowie im Übergang zu gering verfestigtem Sandstein zum Ablösen des frisch aufgebracht Spritzbetons durch Überschreiten der Zugfestigkeit im anstehenden Material kommen kann. Dieses Verhalten kann durch einen erhöhten Wassergehalt verstärkt werden. In diesen Abschnitten des Tunnels hat der AN entsprechende Maßnahmen, z. B. Kolkschutz, vorzusehen. (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010b)

Laut Girmscheid (2008) treten ein erhöhter Rückprall und Staubentwicklung vorwiegend beim Trockenspritzverfahren auf, da Fehler bei der Abstimmung des Feuchtegehaltes der Gesteinskörnungen auf das Spritzbindemittel auftreten können. Aus diesem Grund wird im Tunnelbau bevorzugt das Nassspritzverfahren, mit dem Nachteil eines erhöhten Zusatzmitteleinsatzes, angewendet. Die Vermeidung von Rückprall ist durch eine gezielte gemischtkörnige Kornzusammensetzung aus natürlichem, rundem Korn mit einem geringen Grobkornanteil möglich. Je nach Bindemittelleinsatz werden hohe Frühfestigkeiten des Spritzbetons erreicht, wodurch sich der Rückprall beim Auftrag des nächsten Übergangs erheblich erhöht. Das schnelle Ab-

bindeverhalten wird durch Zugabe von Beschleunigern und durch den Sulfatanteil im Basisklinkerematerial des Bindemittels Zement erzielt. Zur Verringerung des Rückpralls sollte somit auf hohe Frühfestigkeiten verzichtet werden. (Girmscheid, 2008)

Dadurch muss jedoch die Sicherheit der Mineure, die händisch Spritzbeton auftragen, gewährleistet sein. Der Einsatz von automatisierten Spritzmanipulatoren, wie es am KAT 2 im zyklischen Vortrieb der Fall war, ist aus arbeitsmedizinischer als auch qualitativer Sicht anzustreben. Die reduzierte Zugabe von alkalihaltigen Erstarrungsbeschleunigern setzt nicht nur die Frühfestigkeit sondern auch den pH-Wert herab. (Stein, 2004)

Eine weitere chemische Reaktion, die durch die Alkalien und Hydroxide aus dem Spritzbeton als auch durch kalkübersättigtes Bergwasser hervorgerufen werden kann, ist das Ausfällen von makroskopischen Kristallinen – kurz Versinterung genannt. Der pH-Wert des zuströmenden Bergwassers kann sich bei Kontakt mit Spritzbeton maßgeblich erhöhen. Gemäß dem Bauvertrag von KAT 2 soll eine Reduktion der Versinterungen in den Tunnel drainagen durch Verringerung der Elution von Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aus dem Spritzbeton erzielt werden. Dazu soll einerseits die Freisetzung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ während der Hydratation des Zementklinkers durch Reduktion des Klinkeranteiles reduziert und andererseits die Bindung des freigesetzten Calciumhydroxides durch vermehrte Zugabe von aufbereiteten, hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen (AHWZ) erreicht werden. (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010b)

Am KAT 2 wurden im Zuge des zyklischen Vortriebs Spritzbetonreste im Ausbruchmaterial auf einem Zwischenlager im Bereich der Baustelleneinrichtungsfläche maschinell entfernt, bevor das Ausbruchmaterial seinen weiteren Weg zur Deponierung oder Wiederverwendung aufnahm (siehe Abbildung 3-38). Die abfallchemischen Untersuchungen zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen haben zu dem Ergebnis geführt, dass im Zuge des zyklischen Vortriebs am KAT 2 der Grenzwert des pH-Wertes der Bodenaushubdeponie von 12 eingehalten werden konnte (Abbildung 3-39). Am KAT 2 wurde gemäß Bescheid ein erhöhter Grenzwert des pH-Wertes von 12 zugelassen. Ebenso konnte bei dem im Tunnelbau relevanten Parameter, der elektrischen Leitfähigkeit, dessen Grenzwert für Bodenaushubdeponien und Inertabfalldeponien 150 mS/m beträgt, keine Überschreitung festgestellt werden (Abbildung 3-40).



Abbildung 3-38: Aussortierung von Spritzbetonresten im Ausbruchmaterial

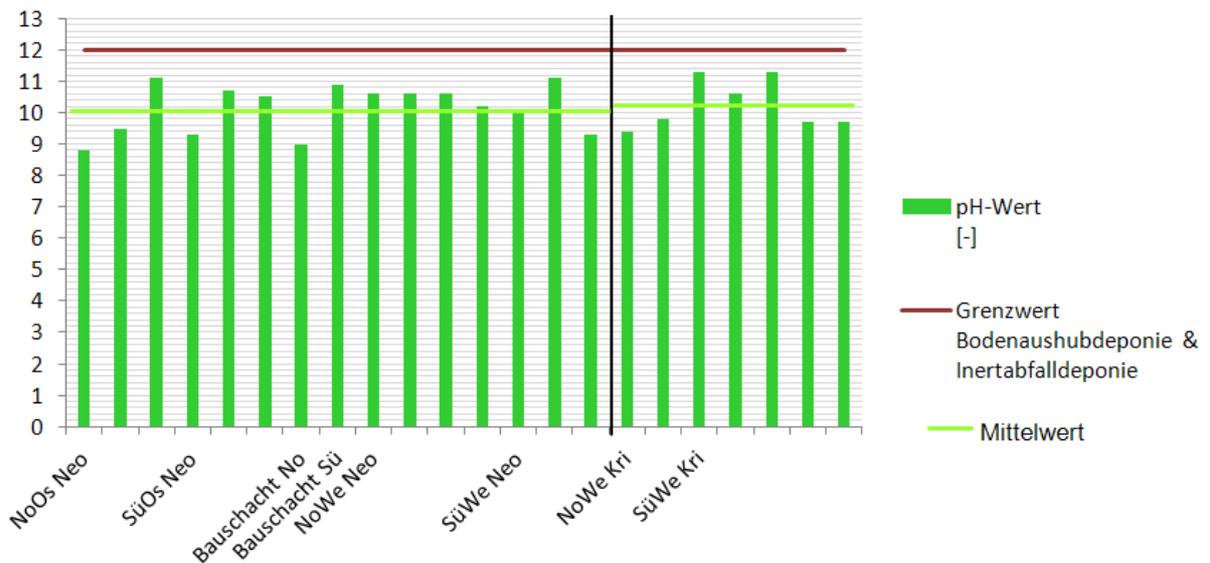


Abbildung 3-39: Messergebnisse des pH-Wertes

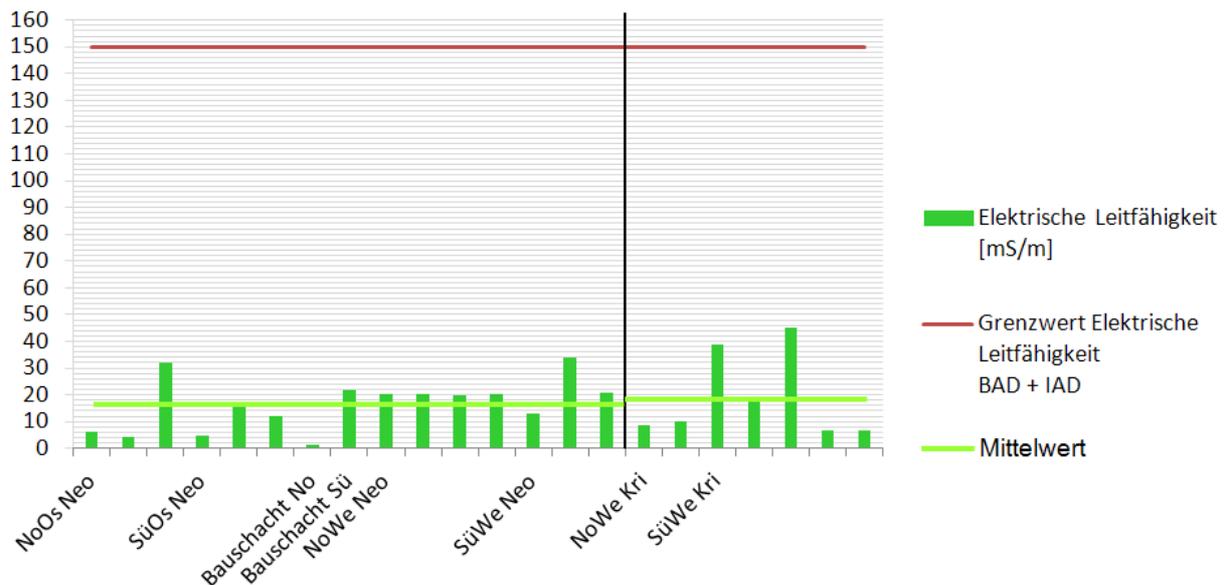


Abbildung 3-40: Messergebnisse der elektrischen Leitfähigkeit

3.3 Fazit zu den Voruntersuchungen im zyklischen Vortrieb

Die gesammelten Erfahrungen im Zuge des zyklischen Vortriebs sind für den kontinuierlichen Vortrieb von großer Bedeutung. Bei der Umsetzung der Gesetzeslage zur Beprobung von Tunnelausbruchmaterial ist festzustellen, dass eine Probenahme alle 200 m nicht ausreichend ist, um bei einer Grenzwertüberschreitung den Bereich der Kontamination eingrenzen zu können. Aus diesem Grund wurden am Koralmtunnel rund alle 25 m Proben zur etwaigen späteren Untersuchung rückgestellt. Durch die im Baustellenlabor durchgeführten Vorabanalysen relevanter Parameter in Abhängigkeit der Vortriebsart, kann der Materialstrom schnell und effizient gelenkt werden. Im zyklischen Vortrieb konnte keine gravierende und zur Grenzwertüberschreitung führende, abfallchemische Beeinträchtigung durch Fremdmaterialien wie Sprengstoff oder Spritzbetonrückstände festgestellt werden.

Bereits im zyklischen Vortrieb wurde das Potenzial zur Verwertung von neogenem und kristallinem Ausbruchmaterial erkannt und erfolgreich umgesetzt. So konnte beispielsweise das Dichtschichtmaterial und der Filterkies für die Herstellung des Inertabfallkompartiments der Deponie Hollenegg 2 aus Ausbruchmaterial gewonnen werden.

4 Stofffluss im kontinuierlichen Vortrieb am Baulos KAT 2

Der kontinuierliche Vortrieb hat im Jänner 2013 in der Südröhre begonnen und wird voraussichtlich Ende März/Anfang April 2013 in der Nordröhre starten. Mit dem Stand März 2013 erfolgt noch keine Aufbereitung von Ausbruchmaterial. Jedoch wird bereits Material der Klasse MK1 ausgebrochen und auf der Deponie H4 für die ab April 2013 stattfindende Aufbereitung vorgehalten.

In diesem Kapitel werden einerseits vertraglich festgelegte Ausführungsziele der Materialbewirtschaftung und Materiallogistik beschrieben. Andererseits ist hier das Hauptziel der Arbeit verankert: Die Erstellung einer Entscheidungsmatrix für den Materialfluss von der Ortsbrust weg bis hin zur Deponierung bzw. Aufbereitung und die darauf basierende Stoffflussanalyse, die für mehrere Zeiträume durchgeführt wurde.

4.1 Materialbewirtschaftung und -logistik im kontinuierlichen Vortrieb

Dieses Kapitel beschreibt die Bauphasen und das Konzept der Förderbandlogistik. Ebenso wird das Konzept der Materialbewirtschaftung im Sinne von Materialklassenzuordnung und Verwendungsmöglichkeiten sowie die Anlagen zur Aufbereitung behandelt.

4.1.1 Baustellenlogistikkonzept

4.1.1.1 Phasen

Die gesamte Bauzeit wird zum besseren Verständnis der Massenströme in der Baubeschreibung des Bauvertrages (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010a) in vier Phasen gegliedert:

Phase I: Baubeginn bis Beginn TBM-Vortrieb

Diese Phase ist bereits abgeschlossen. Aus extern angelieferten Gesteinskörnungen wurden ausreichend Mengen an Tübbing und Sohlelementen für den Beginn der Phase II produziert und auf dem Tübinglager der Südröhre bevorratet. Material der Klasse 3 wurde für Sicht- und Lärmschutzdämme der Deponien Hollenegg eingesetzt.

Phase II: Beginn kontinuierlicher Vortrieb bis Beginn Schutterung durch Ostportal bis Deponie Grub

Die Tunnelvortriebsmaschine in der Südröhre wurde am 07.12.2012 zum ersten Mal in Betrieb genommen. Der Vortriebsbeginn erfolgte in der Südröhre im Kristallin im Jänner 2013. Ab Phase II werden alle Gesteinskörnungen (Ausnahmen siehe Kapitel 3.4.1.3) aus Ausbruchmaterial gewonnen. In den ersten vier Monaten ab Start des TBM-Vortriebes in der Südröhre erfolgt die Produktion von Tübbing und Sohlelementen generell aus extern angelieferten Gesteinskörnungen. Die anfallenden Über-

schüsse des Ausbruchmaterials der Materialklassen 1 bis 4 und die anfallenden Aufbereitungsverluste werden auf den Deponien Holleneegg 1, 2 und 4 eingebaut bzw. zwischengelagert. Die Verfüllung der Deponie H1 mit Ausbruchmaterial der Klasse 3 und Aufbereitungsverlusten wird fortgesetzt und abgeschlossen. Materialüberschüsse der Materialklassen 1 und 2 werden ausschließlich auf der Deponie H4 zwischengelagert.

Phase III: Schutterung durch Ostportal bis Abwurfstellen bei der Deponie Grub

Diese Phase startet mit der Förderungsmöglichkeit von Tunnelausbruchmaterial durch das Ostportal. Zusätzlich zur Aufbereitung von Ausbruchmaterial in Nähe der BE Leibenfeld beginnt die Aufbereitung auf der Freistrecke zu Frostkoffermaterial und kapillarbrechendem Material, die auf der Freistrecke eingebaut werden. Die Zwischenlagerung von Überschüssen der Materialklassen 1 bis 4 und die Deponierung anfallender Aufbereitungsverluste werden auf der Deponie H4 durchgeführt. Auf der Deponie H4 wurde für die Manipulation und Zwischenlagerung von Material eine befestigte Fläche von rund 45 000 m² hergestellt. Materialüberschüsse von der freien Strecke (offener Abtrag, Bodenauswechslungen) und Aufbereitungsverluste aus der Aufbereitung zu Frostkoffer und zu kapillarbrechendem Material werden auf der Deponie Grub deponiert.

Mit Ende der Phase III und Beginn der Phase IV ist eine Förderung von Tunnelausbruchmaterial über das Ostportal zufolge des Einbaus der Innenschale in der Südröhre nicht mehr möglich. Tunnelausbruchmaterial, das in Phase IV auf der Freistrecke benötigt wird, muss daher schon in Phase III in erforderlichen Mengen auf einer Zwischenlagerfläche im Bereich des Bahnhofes Weststeiermark für eine spätere Aufbereitung gelagert werden. Überschüssiges und in der Regel bautechnisch ungeeignetes Ausbruchmaterial und Aufbereitungsverluste werden nach Anordnung des AG laufend mit der Bahn abtransportiert. Über diesen Bahnanschluss an das Netz der Graz-Köflach-Bahn (GKB) ist auch eine Versorgung der Baustelle mit Bewehrung, Zement und Perlkies für die Hinterfüllung der Tübbinge vorgesehen.

Phase IV: Ende Schutterung durch Ostportal bis Bauende

Die Förderung von allfälligem Tunnelausbruchmaterial erfolgt nun ausschließlich über den Bauschacht Leibenfeld. Mit Beginn der Phase IV endet der Tunnelvortrieb (abschließend mit der Nordröhre). Der für den Innenausbau erforderliche Bedarf an Gesteinskörnungen muss aus vorgehaltenem, unaufbereitetem Material der Materialklasse 1 durch Zwischenlagerung auf der Deponie H4 sichergestellt werden.

4.1.1.2 Förderbänder Unter- und Obertage

Für alle Förderbänder Obertage gelten folgende Anforderungen (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010a):

- Einhausung bei einer Lage im Freien
- Untere Bandabdeckung bei Querungen von Straßen und Verkehrswegen

- Eignung für den Winterbetrieb
- Förderbandübergaben und Bandabstreifer sind auf die besonderen Eigenschaften von Ausbruchmaterial kontinuierlicher Vortriebe und Aufbereitungsrückstand auszulegen
- Einhausung von Förderbandübergaben gegen Schnee, Staub und Lärm

Die folgenden Informationen zur Förderbandlogistik stammen aus dem Bauvertrag (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010e). Das Ausbruchmaterial der beiden kontinuierlichen Vortriebe wird mittels Förderbändern von der Ortsbrust zum Bauschacht befördert. Zur Begrenzung der geförderten Korngrößen auf < 120 mm und zur Vermeidung von Förderbandschäden ist im Bereich des TBM-Bohrkopfes und vorgängig zum Streckenförderband eine Brechanlage (Backenbrecher) aufgebaut. Es sind zwei, rechtwinklig zu den Tunnelröhren angeordnete Logistikstollen für die Umleitung der Förderbänder vorgesehen. Gemäß derzeitigem Stand (Jänner 2013) soll Ausbruchmaterial aus den zyklischen Vortrieben (Querschläge, Rettungsraum, Fluchtstollen), welche zeitgleich mit den kontinuierlichen Vortrieben stattfinden, mit der Stollenbahn abtransportiert werden. Abgesehen von möglichen Sprengstoffrückständen ist das Material der Anschlagsituationen der Querschläge und Fluchtstollen mit Spritzbeton verunreinigt. Weiters sind Stahlträger, Anker und Tübbinge in diesen Bereichen abzutragen. Material der kontinuierlichen Vortriebe wird über einen Vertikalförderer nach Obertage befördert und auf ein Förderband übergeben. Je Tunnelröhre gibt es einen Vertikalförderer und ein Förderband, das an den Vertikalförderer anschließt. Material aus den Querschlägen gelangt mittels Schutterkübel bzw. Portalkran nach Obertage und wird anschließend zur Bahnverladung transportiert. Ein Transport durch die Südröhre bis zur Deponie Grub ist ebenfalls möglich.

Der obertägige Transport von Ausbruchmaterial, aufbereitetem Material und Aufbereitungsrückstand wird über Bandwaagen in der Einheit Tonnen erfasst. Für die Bandwaagen ist eine Messgenauigkeit von ± 5 % gefordert. Das Material auf den Förderbändern wird auf der Erstabwurfstelle der Deponie H4 abgeworfen und mittels LKW oder Band weitertransportiert. Der Abtransport ab Deponie H4 bis Deponie H1 oder H2 wird über Brückenwaagen oder Bandwaagen in Tonnen registriert. Material für die Aufbereitung wird am Siebturm auf der Erstabwurfstelle in 0/16 und 16/X vorgesiebt und fällt auf zwei verschiedene Haufen herab. Ein dritter Haufen auf der Erstabwurfstelle wird durch ein Förderband mit nicht aufbereitungstauglichem Material befüllt. Der Aufbereitungsverlust (Siebdurchlass 0/16) von rund 60 % wird entweder auf den Deponien des Bauloses KAT 2 eingebaut, mit der Bahn, die an die Baustelleneinrichtungsfläche anschließt, abtransportiert oder für Schüttungen auf der freien Strecke verwendet. Der Rücktransport von der Erstabwurfstelle H4 zur Bahnverladung bzw. zum Vertikaltransport in den Tunnel erfolgt über einen Unterflurabzug, der das Material auf ein Richtungsförderband hebt. Ebenfalls wird das Material 0/X über einen Unterflurabzug auf ein Richtungsförderband geleitet. Die in Frage kommenden Abzugspunkte für die Bahnverfuhr sind nicht nur der Haufen 0/16 sondern auch der

Haufen 0/X sowie eine Radladeraufgabestelle. Das aufbereitungsfähige Material 16/X wird entweder per Direktaufgabe, Unterflurabzug oder Radladeraufgabe Richtung Aufbereitungsanlage transportiert. Dort wird es durch den Aufbereitungsprozess in die Fraktionen 0/3, 3/8, 8/16 und 16/32 unterteilt. Das aufbereitete Material gelangt auf einem Förderband wiederum zur Betonproduktion in die Mischanlage Nord und Süd.

Ein anderer Transportweg des Ausbruchmaterials ist das Förderband, ausgelegt als Richtungsband, in der Südröhre des KAT 1, das bis zur Erstübergabestelle am Ostportal im Bereich der freien Strecke führt. Dabei wird das Ausbruchmaterial im Bereich Schachtfuß vom Abwurfbereich des Streckenförderbandes Süd abgezogen. Das Förderband Richtung Ostportal kann einerseits mit Ausbruchmaterial, das direkt von einem der beiden TBM-Vortrieben kommt, oder mit auf der Erstabwurfstelle H4 vorgeseibtem Material (0/16), das mittels Wendelrohr zur Übergabe im Bereich Schachtfuß auf das Förderband befördert wird, beschickt werden. Das Ausbruchmaterial der Nordröhre gelangt über den für den Redundanzbetrieb vorgesehenen Logistikstollen in die Südröhre. An der Erstübergabestelle am Ostportal wird das Ausbruchmaterial bzw. der Siebrückstand 0/16 auf ein weiteres Förderband der freien Strecke bis zu den Abwurfstellen im Bereich Bahnhof Weststeiermark übergeben.

Generell ist festzuhalten, dass Ausbruchmaterial aus den Vortrieben KAT 2 erst dann für die Verwendung auf der freien Strecke des KAT 2 freigegeben wird, wenn die festgelegten Reserven an Tübbing, Gesteinskörnungen bzw. Ausbruchmaterials der Klasse MK1 gebildet sind.

In Abbildung 4-1 ist das zuvor beschriebene Förderbandkonzept schematisch und ohne Maßstab dargestellt.

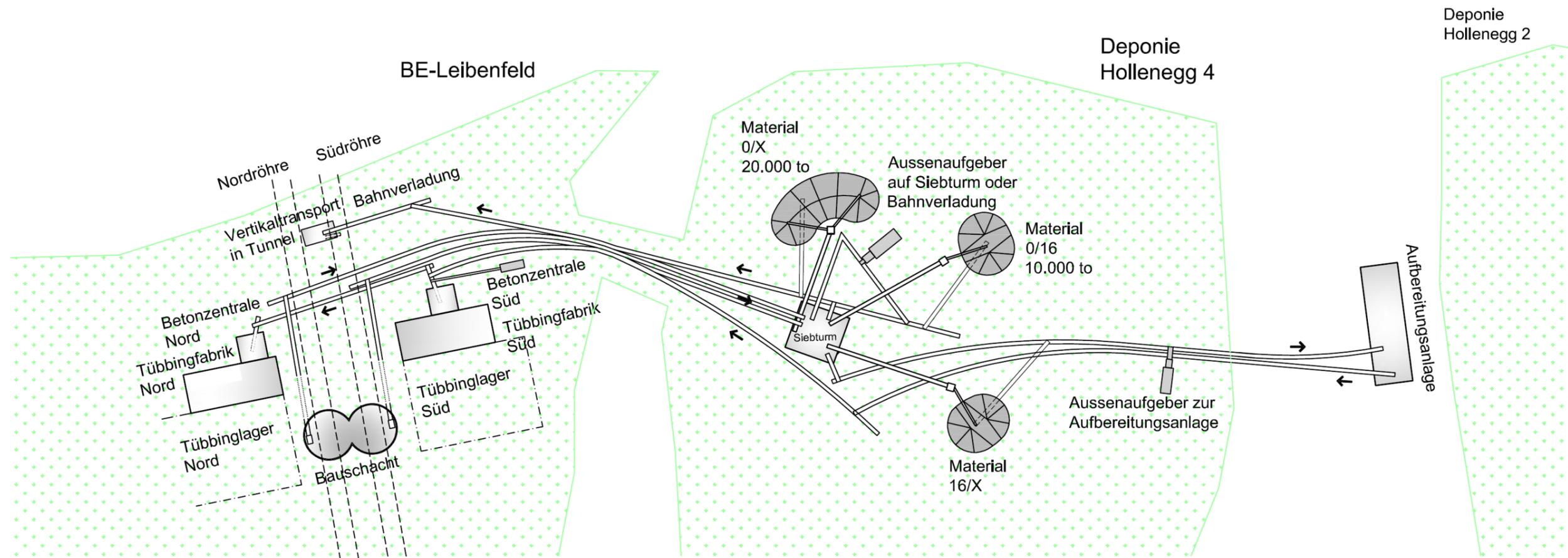


Abbildung 4-1: Förderbandlogistik im kontinuierlichen Vortrieb

4.1.2 Materialbewirtschaftungskonzept

4.1.2.1 Lithologieabhängige Eignung zur Aufbereitung

In den Jahren der Planungsphase des Bauloses KAT 2 wurde die Beurteilung der Gesteine des Kristallins auf ihre Aufbereitbarkeit zu Gesteinskörnungen stützend auf die geologischen Untersuchungsergebnisse der Erkundungsarbeiten von 1998 bis 2001 sowie auf Erfahrungswerte des Projektes AlpTransit Gotthard durchgeführt. Um die Eignung zur Aufbereitung mit ausreichender Gewähr festlegen zu können, wurden die Beurteilungskriterien von AlpTransit Gotthard AG aus der Schweiz herangezogen. (Schippinger & Partner, 2005).

**Tabelle 4-1: Beurteilungskriterien nach AlpTransit Gotthard AG
(Schippinger & Partner, Ernst Basler & Partner, 2007)**

Prüfung	Prüfnorm	Beurteilungskriterien
Gesteins Härte		
Brechbarkeits-Index	AFNOR 18-579 (modifiziert für TBM-Rohmaterial)	≤ 70 (-)
Punktlast-Index	ISRM (modifiziert für TBM-Rohmaterial)	I_{S50} parallel: $\geq 2,5$ (MPa) I_{S50} isotrop: $\geq 3,5$ (MPa)
Los-Angeles-Index	SN 670903-2a und EN 1097-2	≤ 40 (-)
Petrographie		
Petrographisch ungeeignete Komponenten	SN 670115	≤ 5 (Massen-%)
Freie Schichtsilikate im Rohsand	nach Definition AlpTransit und EMPA (Materials Science and Technology, Forschungsinstitution im ETH-Bereich)	≤ 40 (Stck-%)
Freie Schichtsilikate im gewaschenen Sand	nach Definition AlpTransit und EMPA (Materials Science and Technology, Forschungsinstitution im ETH-Bereich)	≤ 35 (Stck-%)
Potentielle Alkali-Reaktivität	AFNOR P18-588	Expansion $\leq 0,2$ (%) max. zulässig $\leq 0,3$ (%) (Definition AlpTransit)

Ebenso wurden für die Eignung zur Herstellung von Beton-Gesteinskörnungen für die Erkundungsarbeiten von 1998 bis 2001 im Auftrag des Bauherrn Beurteilungskriterien ausgearbeitet.

Tabelle 4-2: Beurteilungskriterien für Erkundungsarbeiten 1998 – 2001 (Schippinger & Partner, Ernst Basler & Partner, 2007)

Kennwerte	Beurteilungskriterien
Einachsige Druckfestigkeit	> 75 MPa
Spaltzugfestigkeit <ul style="list-style-type: none"> • bei Abpressrichtung +/- parallel zur Schieferung • für +/- isotrope („homogen“) Gesteine 	> 5 MPa > 7 MPa
Brechbarkeitsindex	< 70 %
Mineralbestand im Gesteinsverband <ul style="list-style-type: none"> • Schichtsilikate • Ungeeignete Komponenten total 	< 30 Vol-% < 5 Vol-%

Die Eignung der Gesteine lässt sich anhand der Lithologie nach einer ersten Beurteilung wie folgt einschätzen:

Tabelle 4-3: Eignung nach Lithologie (Schippinger & Partner, 2005)

Lithologische Einheit	Geschätzter Anteil an geeigneten Rohmaterialien	Eigenschaften
Schiefergneis Glimmerschieferfolgen	20 %	ausgeprägte Schieferung hohe Anisotropie des Gesteins hoher Anteil Schichtsilikate einachsiale Druckfestigkeit gering Brechbarkeit moderat
Plattengneisfolgen	80 %	ausgeprägte Schieferung hochgradige Anisotropie des Gesteins moderater Anteil Schichtsilikate einachsiale Druckfestigkeit sehr hoch Brechbarkeit klein
Feinkorngneisfolgen	75 %	Anteil Schichtsilikate variabel einachsiale Druckfestigkeit hoch Brechbarkeit sehr klein
Marmorfolgen	60 %	moderater Anteil Schichtsilikate einachsiale Druckfestigkeit moderat Brechbarkeit moderat
Amphibolite Eklogite	60 %	geringmächtige oder isolierte Linsen niedriger Anteil Schichtsilikate einachsiale Druckfestigkeit moderat Brechbarkeit moderat

Das Gestein im Kernbereich der Koralpe mit den beiden Leitlithologien Plattengneise und quarzreiche Feinkorngneise bietet die beste Verwertungsmöglichkeit. Die Schiefergneis – Glimmerschiefer-Zonen beidseits der Koralpe sind zufolge ihres hohen

Schichtsilikatgehaltes und geringer Gesteinsfestigkeit nicht ausschließlich zur Aufbereitung geeignet. (Schippinger & Partner, 2005)

4.1.2.2 Materialklassen und -zuordnung

Die Definitionen der Materialklassen sind in Kapitel 3.1.5.2 angeführt. Die Anforderungen der Materialklassen sind wie folgt im Bauvertrag des Bauloses KAT 2 vorgegeben:

- MK 1 Anforderungen an Beton-Gesteinskörnungen: siehe Kapitel 4.1.3.1
Anforderungen an Drainagekies: Korngruppe 16/32, geforderte Kategorien nach ÖN EN 12620, Verwendung von calcitarmen Gestein mit einem CaCO_3 -Anteil $< 10\%$ Masseanteil (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010b)
Anforderungen an Frostkoffer: siehe Kapitel 4.1.3.2
Anforderungen an kapillarbrechendes Material für Dammschüttungen: Durchlässigkeitsbeiwert k_f -Wert $> 10^{-3}$ m/s (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010d)
- MK 1, MK 2 Anforderungen an Tragschichten: Verdichtungswerte und Kornverteilungen gemäß Regelblätter 15.02-1 bis 4 (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010d)
- MK 2, MK 3 Anforderungen an Dämme: Lageweiser und profilgemäßer Einbau sowie Verdichtung zur Einhaltung der Gütewerte (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010d)

Im geologischen Gutachten des Kristallinabschnittes ist eine generelle Zuordnung von Gesteinsarten zu den Materialklassen vorgegeben.

Tabelle 4-4: Zuordnung der Gesteine zu Materialklassen (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b)

Material	Unbelastete Auffüllungen MK 4 [%]	Unbelastete Dämme MK 3 [%]	Belastete Dämme MK 2 [%]	Frostschutzmaterial bzw. Gesteinskörnung MK 1 [%]
Schiefergneis, Glimmerschiefer (unverwittert, gering zerlegt)			10	90
Platten-, Feinkorn- und Grobkorngneis (unverwittert, gering zerlegt)				100
Silikat-, Dolomit- und Kalzitmarmor (unverwittert bzw. nicht verkarstet, gering zerlegt)				100
Amphibolit, Eklogitamphibolit, Eklogit (unverwittert, gering zerlegt)				100
Stark zerlegte kristalline Festgesteine			100	
Verwitterte kristalline Festgesteine		50	50	
Störungsgesteine (Kristallin)	100			

Vor Ort im Vortriebsbereich wird die Erstbeurteilung durch einen erfahrenen Baupolier bzw. Geologen auf Auftragnehmer (AN)-Seite durchgeführt. Die vorausschauende, petrographische Beurteilung des Gesteins wird durch regelmäßige Vorausbohrungen (Drehschlagbohrungen), die in der täglichen Wartungsschicht der Tunnelvortriebsmaschine stattfinden, unterstützt. (Schippinger & Partner, 2005). Der kontinuierliche Vortrieb wird grundsätzlich nur vorausschauend aufgefahren, um die für einen TBM-Vortrieb kritischen geologischen Gebirgsverhältnisse rechtzeitig erkennen zu können (ÖBB Infrastruktur AG, 2010h). In Tabelle 4-5 sind die geplanten Erkundungsmethoden angegeben.

Tabelle 4-5: Erkundungsziele und Erkundungsmethoden (ÖBB Infrastruktur AG, 2010h)

Erkundungsziel	Erkundungsmethode
Störungen	Geophysik in Kombination mit Drehschlagbohrung (Bohrwiderstand), ggfs. Rotationskernbohrung (Bohrkern), Bohrlochscanner
Bergwasser	Drehschlagbohrung (Offenes Bohrloch), Hydraulische Bohrlochversuche, Fluidloggings, Flowmeter, Wassermengen- und -druckmessung, ggf. Geophysik
Lithologie	Rotationskernbohrung (Bohrkern), Drehschlagbohrungen
Gebirgsstruktur	Geophysik, Rotationskernbohrung (Bohrkern), Bohrlochscanner
Gesteinseigenschaften	Laborversuche und Rotationskernbohrung

Auf den Zwischendeponien bzw. vor Weiterverwendung des Materials gilt es, die Zuordnung zu den Material- und Deponieklassen durch baustelleninterne bzw. externe Prüfungen zu kontrollieren. Zu den Prüfungen zählen gemäß Schippinger & Partner (2005) u. a.:

- Die gemäß Deponieverordnung geforderten Prüfungen, sowie
- die Prüfung, ob die Anforderungen für die Weiterverwendung erfüllt werden (Eignung als Gesteinskörnung für die Betonproduktion, Frostkoffermaterial, Schüttmaterial etc.).

Die örtliche Bauaufsicht ist im Auftrag des Bauherrn für die Überwachung der Durchführung der Materialzuordnung verantwortlich. Diese Vorgangsweise dient zur Sicherstellung der richtigen Materialzuteilung für die gewünschte Weiterverwendung sowie der Beschickung der Deponien mit nicht kontaminiertem Material. Material der Klasse 5 in Form von bereits vorhandenen Verunreinigungen des Untergrundes werden im gegenständlichen Streckenabschnitt nicht erwartet. Umfangreiche Recherchen in vorhandenen Datenbanken über Verdachtsflächen und/oder Altlasten zeigen keine Hinweise auf bekannte Ablagerungen. (Schippinger & Partner, 2005)

4.1.3 Verwertungsmöglichkeiten von Tunnelausbruchmaterial

4.1.3.1 Aufbereitung zur Gesteinskörnung für die Betonproduktion

Die Definition von Gesteinskörnungen ist nach ÖNORM EN 12620 (2008) wie folgt:

„Gesteinskörnung: körniges Material für die Verwendung im Bauwesen. Gesteinskörnungen können natürlich, industriell hergestellt oder rezykliert sein.“

Das Ausbruchmaterial eines TBM-Vortriebes ist mehrheitlich fein- bis mittelkörnig. Vereinzelt können Blöcke bis 30 cm Kantenlänge zufolge der Klüftigkeit des Gebirges anfallen, vorwiegend haben die Körner eine Breite von höchstens 60 bis 100 mm. Jedoch liegen rund 30 bis 40 Gewichts-% der Ausbruchmasse im Kornbereich kleiner 4 mm. Die plattigen TBM-Chips, die zwischen den Rollenmeisseln aus der Ortsbrust abgelöst werden, sind bei den heute üblichen Schneidspurabständen von 86 mm maximal 22 mm dick. Bei schwer durchbohrbarem, hartem Fels wie Granit oder hartem Gneis sind die Chips besonders plattig. Bei einer geringeren Gesteinshärte wie bei weichen Gneisen oder Sedimenten haben die Chips eine gedrungene Form. In junger Vergangenheit war die Aussicht auf eine Aufbereitung von Ausbruchmaterial zu einem hochwertigen Rohstoff weniger optimistisch. Mittlerweile wurde bei Tunnelprojekten wie dem Vereinatunnel, dem Lötschberg- und Gotthardbasistunnel in der Schweiz bewiesen, dass sie unter Berücksichtigung wichtiger Aufbereitungstechniken möglich ist. (Schippinger & Partner, 2005):

Die Ergiebigkeit und die Kornform können nach Schippinger & Partner (2005) durch folgende Verfahren positiv beeinflusst werden:

- Schonendes Vorbrechen mit Backenbrecher
- Zerkleinerung und Veredelung der Körner mit Vertikal-Prallbrechern
- Zerkleinerung und Veredelung der Rohmaterialien ab Korngröße 8 oder 16 mm
- Je nach Bedarf Verwendung der feinkörnigen Rohmaterialien (nach einem Wasch- und Klassierprozess)
- Einsatz einer Friktionstrommel zur Abrundung der Kanten und zur weiteren Veredelung der Körner

Da die Ergiebigkeit der Korngruppe 16-32 mm aufgrund der eingeschränkten Dicke der Chips begrenzt ist, ist es sinnvoll das Größtkorn auf 22 mm zu reduzieren. Die Massenbilanz kann es erforderlich machen, aus Ausbruchmaterial der Fraktion größer 32 mm die Korngruppe 16-22 (-32) mm herzustellen. Durch ausreichend große Rollenmeisselabstände an der TVM oder durch Vermeidung einer übermäßigen Zerkleinerung des Materials beim Laden und Umschlagen kann ein genügend hoher Anteil an grobstückigen Komponenten erzielt werden. (Schippinger & Partner, 2005). Die Eigenschaften von TBM-Material wurden bereits in Kapitel 2.2 erörtert.

Um die geforderten Betoneigenschaften zu erzielen, müssen die Gesteinskörnungen folgende Anforderungen erfüllen (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009e):

- Vorsiebung des Tunnelausbruchs auf 16/X
- Brechen von 16/X ergibt die Grobkörnungen 8/16 und 16/32 mit der Kornform SI 25 bzw. die Korngruppe 3/8 mit der Kornform SI 40 entsprechend ÖNORM EN 933-4. Der Brechvorgang muss einen ausreichenden Anteil an Sand 0/3 für alle Betonsorten ergeben.

- Die Trennung in die Gesteinskörnungen 0/3, 3/8, 8/16 und 16/32 muss erfolgen.
- Die Gesteinskörnungen bei 3, 8, 16 und 32 mm werden durch Nasssiebung getrennt. Um den anhaftenden Abrieb der Korngruppen 8/16 und 16/32 zu entfernen, muss der Mischanlage eine Nasswaschanlage vorgeschaltet sein.
- Die Aufbereitung des Sandes muss eine hohe Gleichmäßigkeit der Sieblinie gewährleisten. Der Anteil an Feinstteilen kleiner 0,06 mm darf maximal 6 % betragen.

Grundsätzlich sind die Gesteinskörnungen für Beton für Tübbinge und Sohlelemente, Beton für Innenschalen und -ausbau, Beton für RBS-Platten (Rissebeschränkte Platten), Spritzbeton und Mörtel als auch für Drainagekies durch Aufbereitung von Ausbruchmaterial zu gewinnen. Der Auftragnehmer (AN) ist dafür verantwortlich, dass nach Inbetriebnahme der Aufbereitungsanlage bzw. ab einem Zeitraum von mehr als vier Monaten nach TBM-Vortriebsbeginn in der Südröhre keine Zufuhr von externen Gesteinskörnungen erfolgt. Ausgenommen hiervon sind Gesteinskörnungen für hochfeste Spezialtübbinge in Störzonen, hochfeste Sohlelemente, WDI-Platten (Wasserdichte Platte) im Portalbereich und in den Querschlägen sowie für Löschwasserbecken und Bauteile des Lüftungsschachtes. Die Aufbereitungsart bleibt dem AN überlassen und ist mit den Positionen, in welchen die Gesteinskörnungen zu berücksichtigen sind, abgegolten. Der AN hat eine Weitergabe oder einen Verkauf von aufbereitetem Material an Dritte zu unterlassen. Der AN ist weiters dazu verpflichtet, eine Materialreserve der Materialklasse 1 in einem Umfang von 100 000 m³ vorzuhalten. Diese Reserve ist möglichst früh zu bilden und muss nach Abschluss der Vortriebsarbeiten der kontinuierlichen Vortriebe in vollem Umfang zur Verfügung stehen. Im Falle von Mindermassen der Materialreserve und notwendiger Zufuhr von externen Gesteinskörnungen wird jede Tonne zugeführter Gesteinskörnung mit einer Umweltbelastungs- und Straßenschädenpönale von 5 Euro beaufschlagt. Auf Grundlage einer Vorbeurteilung im Rahmen von Versuchen mit kristallinem Ausbruchmaterial (Stand Mai 2012) wird es möglich sein, die Materialreserve MK1 mit Schutterbeginn in der Südröhre anzulegen. (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010e)

Die aufbereiteten Gesteinskörnungen für die Betonproduktion werden den Prüfungen in Tabelle 4-6 für Sand 0/3 und in der Tabelle 4-7 für die Korngruppen 3/8, 8/16 und 16/22 unterzogen. Die ARGE TPT (Tunnelprüftechnik), eine Arbeitsgemeinschaft bestehend aus der Materialprüfanstalt Hartl GmbH (Resselstraße 5, 2120 Wolkersdorf), Nievelt Labor GmbH (Wiener Straße 35, 2000 Stockerau) und TPA Technische Überwachung, Prüftechnik, Arbeitssicherheit GmbH (Laxenburger Straße 228, 1230 Wieb), ist mit der Durchführung der Versuche am Ausbruchmaterial des Bauloses KAT 2 beauftragt. In der folgenden Tabelle handelt es sich bei der Dauer um Richtwerte, die aufgrund von kurzzeitig hoher Auslastung, Verifizierung von Prüfungsergebnissen, Probenübermittlung von der BE-Leibnizfeld in ein anderes Prüflabor etc. im Einzelfall überschritten werden.

Prüfverfahren ohne Anmerkungen zum Ort der Versuchsdurchführungen werden im Baustellenlabor von der ARGE TPT vollzogen.

Tabelle 4-6: Prüfverfahren mit Sand 0/3 (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010f)

Parameter	Prüfverfahren	Dauer (ab Probeeingang im TPT-Labor)		Anmerkung
		„schnelles Ergebnis	Regelfall	
Kornzusammensetzung und Gehalt an Feinteilen	ÖN EN 933-1	2 bis 3 Tage	5 Tage	
Kornrohddichte und Wasseraufnahme	ÖN EN 1097-6	2 bis 3 Tage	5 Tage	
Wassergehalt	ÖN EN 1097-5	24 h	5 Tage	
Alkali-Kieselsäure Reaktivität	ÖN B 3100 „Schnelltest		3 bis 4 Wochen	Prüfung nicht vor Ort
Frost-Tau-Widerstand	ONR 23303	3 Monate und 1 Woche	4 Monate	Prüfung nicht vor Ort
Chloridgehalt	ÖN EN 1744-1	5 bis 7 Tage	14 Tage	Prüfung nicht vor Ort
Säurelöslicher Sulfatgehalt	ÖN EN 1744-1	5 bis 7 Tage	14 Tage	Prüfung nicht vor Ort
Glimmergehalt	Formtrenntisch	4 bis 6 h	5 Tage	

Tabelle 4-7: Prüfverfahren mit Korngruppen 3/8, 8/16 und 16/22 (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010f)

Parameter	Prüfverfahren	Dauer (ab Probeeingang im TPT-Labor)		Anmerkung
		„schnelles Ergebnis	Regelfall	
Kornzusammensetzung und Gehalt an Feinteilen	ÖN EN 933-1	1 bis 2 Tage	5 Tage	
Kornform	ÖN EN 933-4 oder ÖN EN 933-5	1 bis 2 Tage	5 Tage	
Kornrohddichte und Wasseraufnahme	ÖN EN 1097-6	2 bis 3 Tage	5 Tage	
Wassergehalt	ÖN EN 1097-5	24 Stunden	5 Tage	
Alkali-Kieselsäure Reaktivität	ÖN B 3100 „Schnelltest		3 bis 4 Wochen	Prüfung nicht vor Ort
Frost-Tau-Widerstand	ÖN EN 1367-1		14 bis 21 Tage	Prüfung nicht vor Ort
Chloridgehalt	ÖN EN 1744-1	5 bis 7 Tage	14 Tage	Prüfung nicht vor Ort
Säurelöslicher Sulfatgehalt	ÖN EN 1744-1	5 bis 7 Tage	14 Tage	Prüfung nicht vor Ort

Im Baustellenlabor werden zusätzlich laufend Point-Load-Tests, einachsiale Druckversuche und Spaltzugversuche am Ausbruchmaterial von einem Geologen des AG durchgeführt. Der AN hat für die Prüfverfahren entsprechende Geräte vorzuhalten. Weiters ist für die Lagerung von Gesteinsproben ein eigener frostsicherer Raum von mindestens 20 m² im Baustellenlabor vorzuhalten. (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010f)

Die folgenden Unterkapiteln 4.1.3.2 bis 4.1.3.5 sind dem Konzept der Materialbewirtschaftung sinngemäß entnommen (Schippinger & Partner, 2005).

4.1.3.2 Verwendung von Ausbruchmaterial als Frostkoffer

Das TBM-Material hat eine sehr gleichmäßige Kornverteilung ohne Ausfallkörnungen oder überschüssige Anhäufungen einzelner Fraktionen. Gemäß Erfahrungswerten liegen die Kornverteilungen im Bereich eines bautechnisch verwendbaren Kiessandgemisches für Fundationsschichten. Kristallines Material kann ohne Aufbereitung als vollwertiger Kiessand eingesetzt werden. Im Einzelfall ist das Material auf seine Tragfähigkeit nach dem Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio) gemäß DIN EN 13286-47 (2004) zu prüfen.

Beim Einbau von unbehandeltem TBM-Material ist ein optimaler Wassergehalt von 6 bis 7 % einzuhalten. Das Haufwerk ist auf eine Schichtdicke von 40 bis 50 cm sofort zu verteilen, zu verdichten und abzuwalzen. Bei einem Feinanteil von weniger als 3 Gewichts-% gilt das Material als frostsicher.

4.1.3.3 Verwendung von Ausbruchmaterial als Hanganschüttung

Das Material bedarf keiner Vorbehandlung, um für Böschungen mit Neigungen bis 40° eingesetzt zu werden. Bei der Herstellung soll der Untergrund vor Anschüttung gut und dauerhaft drainiert sein, nur bei trockener Witterung verdichtet und die Böschung sofort oberflächlich geschützt werden.

4.1.3.4 Verwendung von Ausbruchmaterial als Gabione (Steinkörbe)

Um diese Einsatzmöglichkeit zu realisieren dürfen die dünn-plattigen Chips nicht brechen und müssen ausreichend frostbeständig sein. Erfahrungen mit dieser Verwendungsart gibt es bisher nicht, jedoch sind die Anforderungen an das Rohmaterial mit jenen in der Aufbereitung zur Gesteinskörnung zu vergleichen. Der Widerstand gegen Zertrümmerung und Schlag lässt sich am besten mit dem LosAngeles-Index oder dem LCPCBrechbarkeits-Index überprüfen (Vergleich mit Kapitel 2.2). Bei folgenden Kriterien gilt das Rohmaterial als ausreichend schlag- und bruchfest:

- LCPCBrechbarkeits-Index: < 70 – 75
- LosAngeles-Index: < 40 – 43

Auch wenn die Gesteine der Plattengneisfolgen, Feinkorngneisfolgen, Marmorfolgen sowie Amphibolit/Eklogit einen höheren Widerstand gegen Schlag und Zertrümmerung aufweisen als Gneis-Glimmerschiefer, ist es durchaus möglich, dass die TBM-Chips aus allen kristallinen Lithologien für die Füllung von Steinkörben verwendet

werden. Da die TBM-Chips jedoch Größen bis höchstens 60 bis 100 mm aufweisen, ist der Anteil an brauchbaren Steinen beschränkt und umfasst 10 bis 15 Masse-%.

4.1.3.5 Verwendung von Ausbruchmaterial als Drainagekies

Zur Füllung der Drainagerippen können ungebrochene Fraktionen 8/16 und 16/32 mm des TBM-Rohmaterials eingesetzt werden. Da die Fraktionen > 32 mm in erster Linie für die Aufbereitung zur Gesteinskörnung eingesetzt werden, können Mittelfraktionen als Drainagekies verwendet werden. Die ungebrochenen Splittfraktionen sollen einen Hohlraumgehalt von 53 % aufweisen, was zu einer hohen Drainagewirkung führt. Eine minimalistische Aufbereitung mit Sieben und Waschen ist ausreichend, um den anhaftenden Sand der Körner zu entfernen.

4.1.4 Aufbereitungsanlagen

4.1.4.1 Aufbereitungsanlage im Bereich der freien Strecke

Im Bereich der freien Strecke wird eine minimale Aufbereitungsanlage, in Form eines Brechers, errichtet werden. Das aufbereitete Material der Klasse MK1 wird als Frostkoffer und kapillarbrechende Schicht eingesetzt. Im günstigsten Fall ist dafür keine Aufbereitung notwendig. Bei der Aufbereitung zu Frostkoffer wird ein Aufbereitungsverlust von 35 % erwartet; bei der Herstellung von kapillarbrechendem Material wird ein Aufbereitungsverlust von 45 % geschätzt. Der maximale Bedarf an Frostkoffermaterial wurde zu ca. 18 150 m³ fest/Monat berechnet, jener an kapillarbrechenden Schichten zu ca. 10 800 m³ fest/Monat. Hierbei sind noch keine Reserven inkludiert. Es wird weiters festgehalten, dass Material der Klasse 1 erforderlichenfalls vermengt mit Siebdurchgang aus der Vorsiebung Obertage in Leibenfeld ohne weitere Aufbereitung als Dammschüttmaterial eingebaut werden kann. (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010g).

4.1.4.2 Aufbereitungsanlage im Bereich der Deponie Hollenegg 4

Die folgende Beschreibung der Aufbereitungsanlage ist aus der technischen Anlagenbeschreibung der ARGE KAT 2 (Wyss, 2012).

Die Hauptbestandteile der Kiesaufbereitungsanlage, die sich auf einer Fläche von rund 17.930 m² zwischen den Deponien H4 und H2 befindet, sind wie folgt:

- Dreistufige Brecherei
- Werkbeschickung
- Klassierung Körnungen > 3 mm
- Brechsandaufbereitung mit Freifallklassierer
- Schwingzentrifuge zur Sandentwässerung
- Drei Stahlsilos für Brechsand 0/3 mm
- Nachwaschsiebanlage

- Wasser- und Schlammaufbereitung inkl. Kammerfilterpressen
- Verladeanlage mittels Dosierapparaten und Sammelband
- Rückführung Überschussskörnungen in Brecherei
- Entstaubung
- Vollautomatische Anlagensteuerung (SPS)

Folgende technische Daten werden festgehalten:

- Aufgabenleistung Aufbereitungsanlage: 300 t/h
- Tunnelausbruchmaterial: 16 – 250 mm
- Aufbereitete Körnungen: 0/3, 3/8, 8/16 und 16/32
- Waschwasserkreislauf: ca. 450 m³/h
- Verladeleistung Körnungen: 450 t/h
- Siloanlage Brechsand: 3 x 1 000 t

Das vorgebrochene und vorgesiebte Ausbruchmaterial der Korngröße 16 – 250 mm erreicht auf einem Streckenförderband die Kiesaufbereitungsanlage. In der dreistufigen Brecherei wird das Gestein auf die Korngröße der Produkte zerkleinert. Folgende Brecher kommen zum Einsatz:

- GP 200S Steilkegelbrecher (Metso Automation Ges.m.b.H., Franzosengraben 12, 1030 Wien): zweite Brechstufe
- HP 4 Kegelbrecher (Metso Automation Ges.m.b.H., Franzosengraben 12, 1030 Wien): dritte Brechstufe
- Barmac 7150 SE VSI (Metso Automation Ges.m.b.H., Franzosengraben 12, 1030 Wien): vierte Brechstufe, Kubizierer

Brecherei

Da die drei Brecher in Serie angeordnet sind, wird der komplette Materialstrom über jeden der drei Brecher gefahren. Die beiden Kegelbrecher gewährleisten eine genau kontrollierte Zerkleinerung in das geforderte Kornband 0-32 mm der herzustellenden Körnungen. Im VSI Brecher (vertical shaft impact) findet nur noch eine geringfügige Zerkleinerung statt; im autogenen (Stein auf Stein) Brechvorgang wird eine kubische Form des Korns erzeugt.

Kiesaufbereitung/Klassierung

Ein S-Förderer transportiert das gebrochene Ausbruchmaterial 0/32 (X) mm hoch zur ersten Siebmaschine der eigentlichen Kiesaufbereitung/Klassierung. Das Material wird hier mit rund 330 bis 350 m³/h bedüst und somit gewaschen. Die Siebmaschine hat zwei Siebdecks, wobei auf dem oberen Deck bei 32 mm getrennt wird und das Überkorn über ein Förderband zurück zum Kegelbrecher HP 4 geführt wird. Im

unteren Deck der Siebmaschine wird der Sand 0/3 mm abgesiebt und wird über Wannen und Rutschen in die Sandaufbereitung gefördert. Die gewaschene und klassierte Körnung 3/32 mm gelangt über ein Förderband auf die zweite Siebmaschine, welche direkt über den Siloboxen der fertigen Produkte 3/8, 8/16 und 16/32 angeordnet ist.

Sandaufbereitung

Das Sand-/Wassergemisch wird nach der Absiebung in einen Freifallklassiertank gespült, wo der Sand in 0/3 mm in zehn einzelne Sande fraktioniert wird. Dabei werden die unterschiedlichen Sedimentationsgeschwindigkeiten der verschiedenen Korndurchmesser wie in einem natürlichen Flussbett genutzt. Die Steuerungssoftware des Freifallklassiertanks sorgt für eine kontrollierte Dosierung der einzelnen Fraktionen. Das Produkt und der Ausschuss werden auf Entwässerungssiebmaschinen entwässert. Ein Hydrozyklon macht eine Rückgewinnung von Feinsand im Überlauf des Sandklassierers und im Durchschlag der Entwässerungssiebe möglich. Der Produktsand wird nach dem Entwässerungssieb zusätzlich mit einer Schwingzentrifuge entwässert um eine maximale Reduktion der Restfeuchte sicher zu stellen.

Siloanlage

Der Sand 0/3 mm wird in drei großen Stahlsilos mit je 1.000 t Kapazität gelagert. Ein Silo wird dabei mit aufbereitetem Sand beschickt, in einem Silo wird der Sand statisch nachentwässert und ein Silo ist zum Abzug freigegeben und beliefert die Betonzentrale. Die Körnungen 3/8, 8/16 und 16/32 mm werden in Siloboxen gelagert. Die Lagerung der Gesteinskörnungen muss eine Vermeidung von wechselnden Kernfeuchten, zu hohen und zu tiefen Temperaturen, unregelmäßigem Austrocknen und starkem Aufheizen durch Sonne und Wind bzw. unzulässigem Abkühlen durch Frost gewährleisten.

Verladung der aufbereiteten Körnungen / Rückführung der Überschusskörnungen

Unter den Stahlsilos und den Siloboxen befindet sich ein Sammelband, worauf die Komponenten mittels Dosierförderbänder gefördert werden. Die Abzugsleistung pro Komponente beträgt rund 450 t/h. Es werden Einzelkomponenten abgezogen und an das Streckenband zur Betonzentrale übergeben. Unter den Siloboxen sind jeweils ein zweites Dosierförderband sowie ein weiteres Sammelband installiert. Bei einem Überschuss von Körnungen grösser 3 mm kann über dieses Band die Brecherei mit Endkomponenten beschickt werden. Diese Rückführung ermöglicht einen wesentlich höheren Sandertrag.

Nachwaschsieb

Die Körnungen 3/8, 8/16 und 16/32 mm werden beim Verladevorgang über ein Nachwaschsieb gefahren. Bei der Verladung von Sand wird das Nachwaschsieb mittels einer Klappe umfahren.

Wasser- und Schlammaufbereitung

Die Kiesaufbereitungsanlage ist von einem geschlossenen Wasserkreislauf durchzogen. Das Waschwasser wird mit Flockungsmittel versetzt und die Feststoffe werden in einem Klärbehälter durch Sedimentation von Waschwasser separiert. Weiters wird der Kieswasserschamm auf zwei Kammerfilterpressen entwässert. Der stichfeste Schlammfilterkuchen wird per LKW oder Bahn entsorgt und dem entsprechenden Deponietyp zugeführt. Für die Zuordnung zum jeweiligen Deponietyp ist eine laufende Beprobung und abfallchemische Beurteilung notwendig. Unverschmutzter Schlamm, der die Grenzwerte der Bodenaushubdeponie einhält, darf in den Deponien Hollenegg 1 und 2 abgelagert werden.

Im Aufbereitungsprozess geht durch den Schlammfilterkuchen und dem Haftwasser an den Gesteinskörnungen eine gewisse Restfeuchte verloren, die mit rund 30 m³/h Ergänzungswasser ausgeglichen werden muss.

4.2 Aufstellen einer Entscheidungsmatrix

Das Ziel der Arbeit ist die Darstellung des zu erwarteten und geplanten Stoffflusses von Ausbruchmaterial im kontinuierlichen Vortrieb. Dabei werden unter Berücksichtigung einer Entscheidungsmatrix, auf deren Grundlage über Verwertung, Bahnverfuhr oder Deponierung entschieden wird, Szenarien des Materialanfalls der einzelnen Materialklassen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zeitperioden betrachtet. Es wurden folgende Szenarien definiert:

- Stofffluss innerhalb einer Woche
- Stofffluss innerhalb eines Monats
- Stofffluss innerhalb der gesamten Bauzeit

Bei letzterem Szenario wird von einer maximalen Auffüllung der Eigendeponien und einer maximalen Wiederverwertbarkeit des Ausbruchmaterials ausgegangen. Die Stoffflüsse mit der Software STAN 2.5 werden in einem späteren Kapitel dargestellt und beschrieben.

4.2.1 Verwertungsziele

Es werden ausreichende Mengen an Ausbruchmaterial der Materialklasse 1 zur Deckung des Bedarfs an baustellenintern benötigter Gesteinskörnung erwartet. In der Planungsphase des Bauloses KAT 2 wurden Massenbilanzen für den zyklischen sowie für den kontinuierlichen Vortrieb unter Berücksichtigung geologischer und geotechnischer Voruntersuchungen des Bauabschnittes ausgearbeitet (Abbildung 4-2).

Auf Grundlage dieser Massenbilanzen (Schipfinger & Partner, 2010) konnten folgende Aussagen getroffen werden: Im gesamten Tunnelabschnitt werden rund 2 980 477 m³ (fest) an Ausbruchmaterial erwartet, davon ca. 78 % Materialklasse 1, 7 % Materialklasse 2, 9 % Materialklasse 3, 6 % Materialklasse 4 und jeweils 0 % Materialklasse 5 und 6. Wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben, ist bereits im zyklischen

Vortrieb Material der Klasse 6 in Form von Dichtschichtmaterial und Steinsatz verwendet worden. Das anfallende Material der Freistrecke entspricht der Materialklasse 4 und wird bis auf einem wiederum auf der Freistrecke einzubauenden Anteil von rund 30 % deponiert. Ausbruchmaterial im Tunnelabschnitt der Klassen 1, 2 und 4 wird zu einem bestimmten Anteil ebenso auf der freien Strecke eingebaut. In dieser Massenbilanz wird jedoch Ausbruchmaterial der Klasse 3 ausschließlich der Deposition zugewiesen. Aufbereitungsverluste (vorwiegend 0/16) werden zum Großteil (rund 80 %) deponiert. Rund 17 % der Aufbereitungsverluste werden auf der Freistrecke wiederverwendet und rund 3 % kommen im Tunnel zum Einsatz. Der Bedarf an Fremdmaterial in Form von Perlkies zur Hinterfüllung der Tübbinge, Gesteinskörnungen für Sonderbetone und Mörtel (siehe Kapitel 4.1.3.1) und mineralischer Dichtschicht für die freie Strecke sind in der Massenbilanz ebenso angeführt.

Diese Massenbilanz ist ein Versuch aus dem Jahre 2010, den Stofffluss in ausreichender Genauigkeit und Nachvollziehbarkeit darzustellen. Mit den Brechversuchen von Ausbruchmaterial und Versuchen zur Betonherstellung mit aufbereiteter Gesteinskörnung aus den Jahren 2007 und 2012 konnte eine weitere wichtige Aussage zur Tauglichkeit des Materials für die Aufbereitung getroffen werden. Details zur Eignung des Ausbruchmaterials zur Aufbereitung werden in Kapitel 4.2.2 angeführt.

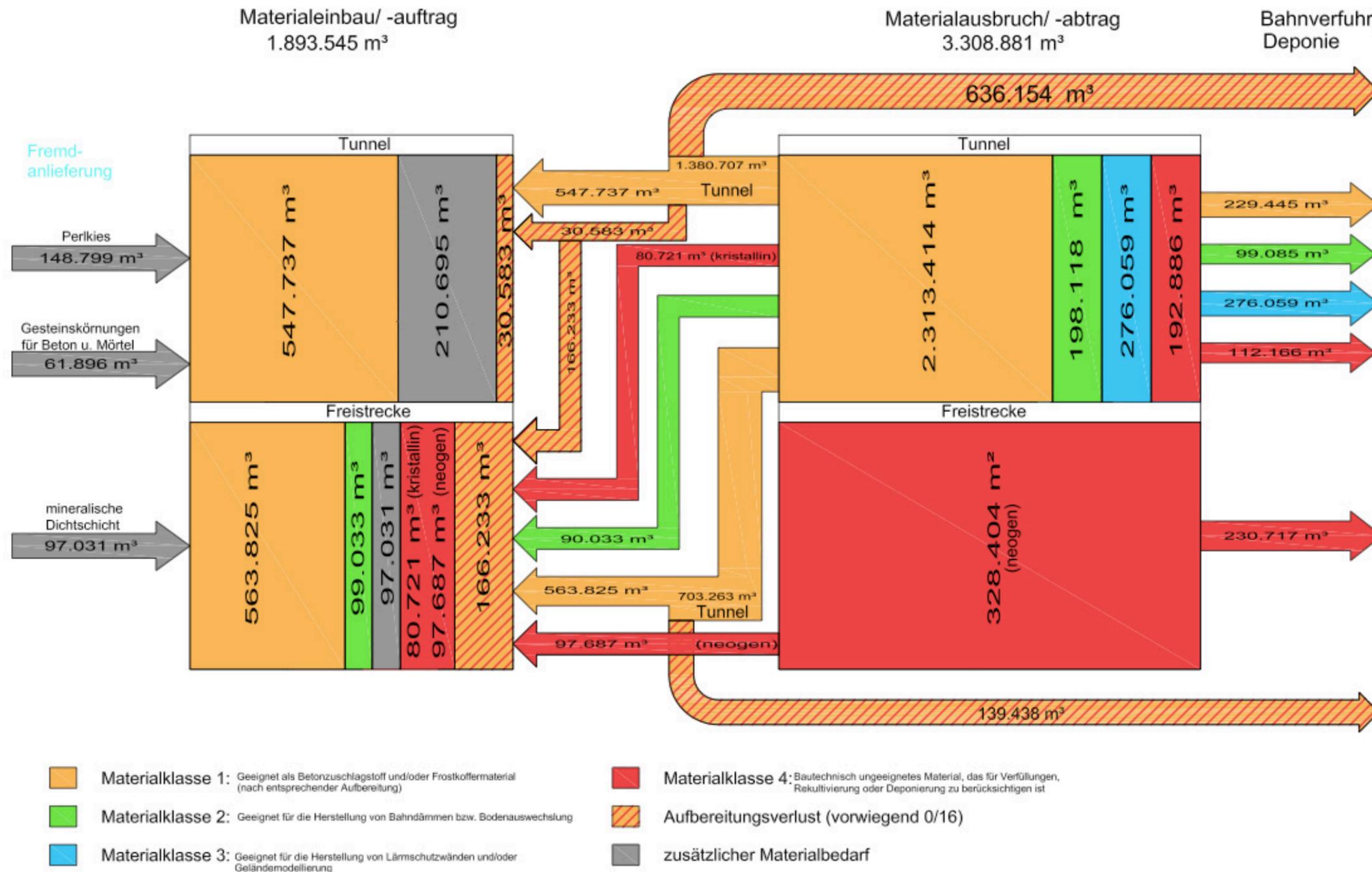


Abbildung 4-2: Massenbilanz KAT 2 – Planungsphase (Schipinger, 2010)

4.2.2 Einsatz eines Bewertungstools

Dr. Daniel Resch hat mit Univ.-Prof. Dr. Robert Galler (siehe Kapitel 2.2), Lehrstuhl für „Subsurface Engineering“, Montanuniversität Leoben, im Zuge seiner Dissertation ein Excel-Programm erstellt, das durch Eingabe diverser Parameter eine Auswertung bezüglich Verwertbarkeit von Tunnelausbruchmaterial ermöglicht. Die Bewertungsmatrix wurde in dieser Arbeit mit Daten des Bauloses KAT 2 eingesetzt. Technische, chemische und mineralogische Parameter sowie die Sieblinie wurden an gebrochenem, kristallinem Ausbruchmaterial des bereits abgeschlossenen zyklischen Vortriebs untersucht und für die oben genannte Auswertung verwendet. Die Brechversuche wurden im Frühjahr 2012 bei der Firma Tieber (8131 Röthelstein 46) durchgeführt. TPA, Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH (Polgarstraße 30, 1220 Wien), führte gesteinskundliche Prüfungen am Tunnelausbruchmaterial aus den Brechversuchen in Röthelstein im März 2012 durch. Pöyry Infra GmbH, Materialversuchsanstalt Strass (6261 Strass im Zillertal 103), wurde mit der Durchführung von Versuchen an Gesteinskörnungen aus dem in Röthelstein gebrochenen Material und darauf folgenden Betonversuchen für Tübbing- und Innenschalenbeton beauftragt. Das Technische Büro Bauer GmbH führte die abfallchemische Analyse durch.

Das untersuchte und geprüfte Ausbruchmaterial ist den Gebirgsarten K9, K10 und K11 zuzuordnen. Diese drei Gebirgsarten haben als Hauptgesteinsart Glimmerschiefer, Schiefergneis, Plattengneis, Feinkorngneis, Grobkorngneis und Amphibolit. (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b)

4.2.2.1 Eingangsparameter

Generell ist anzumerken, dass nicht alle Parameter, die in der Bewertungsmatrix vorhanden sind, am Ausbruchmaterial des KAT 2 gemessen wurden. Die *technischen Parameter* wurden laut Tabelle 4-8 in das Programm eingegeben:

Die Druckfestigkeit und der E-Modul des Gesteins wurden dem geologischen Gutachten entnommen (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b).

Ein Frostwiderstand der Kategorie F2 bedeutet, dass ein Masseverlust der Gesteinskörnung von $\leq 2\%$ bei Frost auftritt (ÖNORM EN 933-1, 2012). Die Absplitterungen betragen für die Probe 1,3 M-% (TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, 2012).

Die Durchführung des LosAngeles-Tests wird im Anhang A.1.7 beschrieben. Hier haben 27 % der geprüften Gesteinskörnung nach dem Versuch einen Durchmesser kleiner als 1,6 mm (TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, 2012).

Die Kornformkennzahl gibt den Prozentsatz an nicht kubischen Körnern (Verhältnis Länge : Dicke $> 3 : 1$) an und beträgt 20,4 M-%. Die Wasseraufnahme wurde mit 1,4 M-% gemessen. (Pöyry Infra GmbH - Materialversuchsanstalt Strass, 2012)

Tabelle 4-8: Technische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Norm/Richtlinie	Messwert	
Druckfestigkeit	ON EN 1926:2007	129,0	N/mm ²
E-Modul	ON B 3124-9:1986	56.000	N/mm ²
Widerstand gegen Zertümmung			
LCPC-Test: Brechbarkeitsindex [B _R]	AFNOR P 18-579:1990		-
Frost-(Tau)-Widerstand	ON EN 1367-1:2007	F2	◄
Korngrößenverteilung	ON EN 933-1:2012	siehe eigenes Tabellenblatt	

Kornform (Anteil der nicht kubischen Körner)	ON EN 933-4	20,4	M.-%
Widerstand gegen Zertümmung			
LA-Wert [LA]	ON EN 1097-2:2010	27	-
Wasseraufnahme ¹⁾	ON EN 1097-6:2006	1,4	M.-%
Schlagzertrümmerung ¹⁾ [SZ _{RB}]	ON EN 1097-2:2010		-
Widerstand gegen Verschleiß ¹⁾ [M _{DE} RB]	ON EN 1097-2:2010		-
Widerstand gegen Polieren ²⁾ [PSV]	ON EN 1097-8:2011		-

¹⁾ Parameter für Bahnschotter gem. ÖBB BH 700

²⁾ Parameter für Asphaltmischgut

Die *chemischen Parameter* wurden aus dem Beurteilungsnachweis (Bauer, 2012c) entnommen und wie folgt in das Programm eingeben:

Tabelle 4-9: Abfallchemische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

Festgehalt		
Anorganische Stoffe		
Arsen (als As)	[mg/kg TM]	3,2
Blei (als Pb)	[mg/kg TM]	4,3
Cadmium (Cd)	[mg/kg TM]	0,3
Chrom gesamt (als Cr)	[mg/kg TM]	11
Cobalt (als Co)	[mg/kg TM]	5,6
Kupfer (als Cu)	[mg/kg TM]	18
Nickel (als Ni)	[mg/kg TM]	18
Quecksilber (als Hg)	[mg/kg TM]	0,1
Zink (als Zn)	[mg/kg TM]	38
Organische Summenparameter		
TOC (als C)	[mg/kg TM]	1200
Kohlenwasserstoff-Index	[mg/kg TM]	20
PAK (16 Verbindungen)	[mg/kg TM]	
davon Benzo(a)pyren	[mg/kg TM]	
PCB (7 Verbindungen)	[mg/kg TM]	0,01
BTEX	[mg/kg TM]	

Eluat	Einheit	Messwert
pH-Wert	[-]	9,7
elektrische Leitfähigkeit [ms/m]	[mS/m]	6,5
Abdampffrückstände	[mg/kg TM]	200
Anorganische Stoffe		
Aluminium (als Al)	[mg/kg TM]	3,9
Antimon (als Sb)	[mg/kg TM]	0,01
Arsen (als As)	[mg/kg TM]	0,03
Barium (als Ba)	[mg/kg TM]	0,25
Beryllium (als Be)	[mg/kg TM]	0,001
Blei (als Pb)	[mg/kg TM]	0,01
Bor (als B)	[mg/kg TM]	0,12
Cadmium (Cd)	[mg/kg TM]	0,002
Chrom gesamt (als Cr)	[mg/kg TM]	0,01
Chrom sechswertig (als Cr)	[mg/kg TM]	0,05
Cobalt (als Co)	[mg/kg TM]	0,03
Eisen (als Fe)	[mg/kg TM]	0,28
Kupfer (als Cu)	[mg/kg TM]	0,01
Molybdän (als Mo)	[mg/kg TM]	0,01
Nickel (als Ni)	[mg/kg TM]	0,01
Quecksilber (als Hg)	[mg/kg TM]	0,002
Selen (als Se)	[mg/kg TM]	0,11
Silber (als Ag)	[mg/kg TM]	0,01
Zink (als Zn)	[mg/kg TM]	0,01
Zinn (als Sn)	[mg/kg TM]	0,01
Ammonium (als N)	[mg/kg TM]	0,41
Chlorid (als Cl)	[mg/kg TM]	2
Cyanide gesamt (als CN)	[mg/kg TM]	0,05
Cyanide, leicht freisetzbar (als CN)	[mg/kg TM]	0,05
Fluorid (als F)	[mg/kg TM]	1
Mangan (als Mn)	[mg/kg TM]	0,01
Nitrat (als N)	[mg/kg TM]	0,5
Nitrit (als N)	[mg/kg TM]	0,068
Phosphat (als P)	[mg/kg TM]	0,1
Sulfat (als SO ₄)	[mg/kg TM]	4,9
Thallium (als Tl)	[mg/kg TM]	0,01
Vanadium (als V)	[mg/kg TM]	0,01
Phenolindex	[mg/kg TM]	
DOC	[mg/kg TM]	
TDS	[mg/kg TM]	
Organische Summenparameter		
TOC (als C)	[mg/kg TM]	5,2
Kohlenwasserstoff-Index	[mg/kg TM]	0,5
EOX (als Cl)	[mg/kg TM]	0,2
AOX (als Cl)	[mg/kg TM]	0,1
anionenaktive Tenside (als MBAS)	[mg/kg TM]	0,5
Phenolindex	[mg/kg TM]	
PAK (16 Verbindungen)	[mg/kg TM]	
PCP (7 Verbindungen)	[mg/kg TM]	

Die Analyse der *Oxide* sowie des *säurelöslichen Sulfats* wurde durch TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH (2012) durchgeführt. Die chemische Analyse wurde an der Probe < 0,063 mm aus der Fraktion 0/4 ermittelt. Der Wert des säurelöslichen Sulfats ist ein Mittelwert der gemessenen Werte in den Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16 und 16/22. Die Werte wurden wie folgt in das Programm eingegeben:

Tabelle 4-10: Chemische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

Siliciumdioxid - SiO ₂	[M.-%]	45,77
Aluminiumoxid - Al ₂ O ₃	[M.-%]	17,27
Eisen(III)-oxid - Fe ₂ O ₃	[M.-%]	6,95
Titan(IV)-oxid - TiO ₂	[M.-%]	1,09
CaO - Calciumoxid	[M.-%]	10,34
Magnesiumoxid - MgO	[M.-%]	2,76
Kaliumoxid - K ₂ O	[M.-%]	3,24
Natriumoxid - Na ₂ O	[M.-%]	1,21
Calciumcarbonat - CaCO ₃	[M.-%]	
C _{org}	[M.-%]	
Gesamt-Schwefel	[M.-%]	
Glühverlust - GV	[M.-%]	10,49
Magnesiumcarbonat - MgCO ₃	[M.-%]	
Schwefeltrioxid - SO ₃	[M.-%]	0,57
Phosphorpentoxid - P ₂ O ₅	[M.-%]	0,24
<i>Alkali-Kieselsäure-Reaktivität (Dehnung)</i>	<i>[‰]</i>	<i>1</i>
<i>Wasserlösliches Chlorid</i>	<i>[M.-%]</i>	
<i>Säurelösliches Sulfat</i>	<i>[M.-%]</i>	<i>0,2</i>

Die *mineralogischen Parameter* wurden gemäß Tabelle 4-11 in das Programm eingegeben. Der Glimmergehalt wurde in der Fraktion 0,125 – 0,25 mm mittels Röntgendiffraktometeranalyse festgestellt. (TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, 2012)

Tabelle 4-11: Mineralogische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Massen-%	
Glimmer	25,0 %	Ausbruchmaterial
Kaolinit (fire clay-Mineral)	-	
Sericit + Illit	-	
Smektit	-	
Chlorit	2,0 %	
Quarz	40,0 %	
Feldspat	13,0 %	
Calcit	14,0 %	
Dolomit + Ankerit	3,0 %	
Goethit	-	
Hämatit	-	
Siderit	-	
Pyrit	-	
Gips	-	
Hornblende	3,0 %	
Röntgenamorpher Rest	-	

Die *Gesamtsieblinie* (Aufsummierung von Einzelsieblinien) des untersuchten Ausbruchmaterials (Pöyry Infra GmbH - Materialversuchsanstalt Strass, 2012) wurde wie folgt in das Programm eingegeben:

Tabelle 4-12: Gesamtsieblinie – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Siebdurchgang in Massen-%
0,063 mm	2,6 %
0,125 mm	5,6 %
0,25 mm	11,2 %
0,5 mm	17,8 %
1 mm	25,1 %
2 mm	35,2 %
4 mm	47,5 %
5,6 mm	
8 mm	72,8 %
11,2 (11) mm	86,6 %
16 mm	89,3 %
22 mm	100,0 %
31,5 (32) mm	
40 mm	
45 mm	
50 mm	
63 mm	
80 mm	

4.2.2.2 Ergebnisse

Folgend sind die Ergebnisse zur Eignung des Ausbruchmaterials als Gesteinskörnung für Beton der Betondruckfestigkeit C25/30 dargestellt:

Die *technischen Parameter* erfüllen die Anforderungen an Gesteinskörnung zur Herstellung von Beton.

Tabelle 4-13: Einhaltung der technischen Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Norm	Einheit	Messwert	Grenzwert
Druckfestigkeit	ON EN 1926:2007	N/mm ²	129,0	60,0
E-Modul	ON B 3124-9:1986	N/mm ²	56000,0	30.000
Widerstand gegen Zertrümmerung				
LCPC-Test: Brechbarkeitsindex [B _n]	AFNOR P 18-579:1990	-	0,0	75
Frost-(Tau)-Widerstand	ON EN 1367-1:2007	-	F2	Frostbeständig
Kornform (Anteil der nicht kubischen Körner)	ON EN 933-4	M.-%	20,4	40
Widerstand gegen Zertümmern				
LA-Wert [LA]	ON EN 1097-2:2010	-	27	40

²¹ Für die Korngruppe 8/16 und 16/32 wurde für das Projekt Koralmtunnel S₁₅ empfohlen

²² Zur Beschreibung des Nachbrechverhaltens der Gesteinskörnung wird der modifizierte LA-Test empfohlen.

Die folgenden Tabellen zeigen die *Grenzwerteinhaltung bzw. –überschreitung der Parameter gemäß Deponieverordnung 2008 und Bundesabfallwirtschaftsplan 2011*. Der Parameter Selen wird bei der Inertabfalldeponie (Deponieverordnung, 2008) sowie bei allen Qualitätsklassen (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011) überschritten. Ebenso wird der Grenzwert des pH-Wertes für die Qualitätsklassen A1, A2, A2-G und BA (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011) nicht eingehalten. Somit ist ausschließlich ein Einbau auf einer Bodenaushub-, Baurestmassen- und Reststoffdeponie (Deponieverordnung, 2008) zulässig.

Tabelle 4-14: Zulässigkeit gemäß DepVO und BAWP – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Geeignet
Bodenaushubdeponie	JA
Inertabfalldeponie	NEIN
Baurestmassendeponie	JA
Reststoffdeponie	JA
Qualitätsklasse A+	NEIN
Qualitätsklasse A	NEIN
Qualitätsklasse B	NEIN
Qualitätsklasse A1	NEIN
Qualitätsklasse A2-G	NEIN
Qualitätsklasse A2	NEIN
Qualitätsklasse BA	NEIN

Tabelle 4-15: Grenzwerte gemäß DepVO und BAWP – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

Eluat	Messwert	Einheit	Bodenaushubdeponie			Inertabfalldeponie			Baurestmassendeponie			Reststoffdeponie			Recycling-Baustoffe gem. BAWP 2011			Aushubmaterialien gem. BAWP 2011													
			Grenzwert	150	150	Grenzwert	6,5-12 ¹⁰⁾	150	150	Grenzwert	6,5-13 ¹⁸⁾	350	25.000	Grenzwert	6-12 ²²⁽²⁸⁾	150	150	Grenzwert	6,5-9,5 ¹⁸⁾	50	5.000	Grenzwert	4,5-8 ¹⁰⁽¹¹⁾	40	40	Grenzwert	4,5-8 ¹⁰⁽¹¹⁾	40	40		
Anorganische Stoffe																															
Aluminium (als Al)	3,9	[mg/kg TM]	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Antimon (als Sb)	0,01	[mg/kg TM]	-	-	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Arsen (als As)	0,03	[mg/kg TM]	0,5	0,5	0,75	2	2	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
Barium (als Ba)	0,25	[mg/kg TM]	10	10	20	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Beryllium (als Be)	0,001	[mg/kg TM]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Blei (als Pb)	0,01	[mg/kg TM]	1	1	2	10	10	2	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
Bor (als B)	0,12	[mg/kg TM]	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cadmium (Cd)	0,002	[mg/kg TM]	0,05	0,04	0,5	1	10	0,5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		
Chrom gesamt (als Cr)	0,01	[mg/kg TM]	1	1	2	10	10	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
Chrom sechswertig (als Cr)	0,05	[mg/kg TM]	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cobalt (als Co)	0,03	[mg/kg TM]	1	1	2	5	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Eisen (als Fe)	0,28	[mg/kg TM]	-	-	-	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kupfer (als Cu)	0,01	[mg/kg TM]	2	2	10	50	50	10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Molybdän (als Mo)	0,01	[mg/kg TM]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nickel (als Ni)	0,01	[mg/kg TM]	1	1	2	10	10	2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Quecksilber (als Hg)	0,002	[mg/kg TM]	0,01	0,01	0,05	0,1	0,1	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Selen (als Se)	0,11	[mg/kg TM]	-	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zink (als Zn)	0,01	[mg/kg TM]	0,2	0,2	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinn (als Sn)	0,01	[mg/kg TM]	2	2	10	20	20	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Ammonium (als N)	0,41	[mg/kg TM]	8	8	40	300	300	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Chlorid (als Cl)	2	[mg/kg TM]	-	-	5.000	-	-	-	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Cyanide gesamt (als CN)	0,05	[mg/kg TM]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanide, leicht freisetzbar (als CN)	0,05	[mg/kg TM]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorid (als F)	1	[mg/kg TM]	20	20	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mangan (als Mn)	0,01	[mg/kg TM]	-	-	-	150	150	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Nitrat (als N)	0,5	[mg/kg TM]	100	100	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrit (als N)	0,068	[mg/kg TM]	2	2	10	15	15	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Phosphat (als P)	0,1	[mg/kg TM]	5	5	50	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfat (als SO4)	4,9	[mg/kg TM]	-	-	6.000	-	-	-	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500

Der Grenzwert des *säurelöslichen Sulfates* wird eingehalten. Die Untersuchung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität ist laut dem Materialsachverständigen am Baulos KAT 2 nicht erforderlich.

Tabelle 4-17: Grenzwert Säurelösliches Sulfat – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Norm	Einheit	Messwert	Grenzwert
Alkali-Kieselsäure-Reaktivität (Dehnung)	ON B 3100:2008	‰		1
Wasserlösliches Chlorid	ON EN 1744-1:2010	M.-%		0,01
Säurelösliches Sulfat	ON EN 1744-1:2010	M.-%	0,2	0,8

Laut Resch (2012) ist der *Glimmergehalt* mit 30 M-% begrenzt, womit der Grenzwert eingehalten wird. Der Grenzwert von Resch (2012) kann erfahrungsgemäß unter der Zugabe von Zusatzmitteln durchaus erhöht werden.

Tabelle 4-18: Grenzwert Glimmergehalt – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

	Methode	Einheit	Messwert	Grenzwert
Glimmergehalt (anfallendes Ausbruchm.)	Formtrenntisch	M.-%	25	30
Glimmergehalt (aufbereitete Gesteinskörnung)	Formtrenntisch	M.-%		25

Folgend ist ein Vergleich der analysierten *Gesamtsieblinie* für Innenschalenbeton (Pöyry Infra GmbH - Materialversuchsanstalt Strass, 2012) mit der nach der ÖBV-Richtlinie Innenschalenbeton (2003) empfohlenen Sieblinie mit Größtkorn 22 mm (GK 22) dargestellt. Die Gesamtsieblinie des untersuchten Ausbruchmaterials hat ebenso ein Größtkorn von 22 mm. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der Korngruppen zwischen 0,25 mm und 1 mm die empfohlene Sieblinie gering überschreitet. Der Anteil der Korngruppe mit einer Nennweite von 4 mm liegt unter dem empfohlenen Anteil. Die gewonnen Sieblinie entspricht zu beinahe 100 % der empfohlenen Sieblinie. Es ist davon auszugehen, dass die zukünftige Aufbereitungsanlage das empfohlene Sieblinienband zu 100 % erreichen kann.

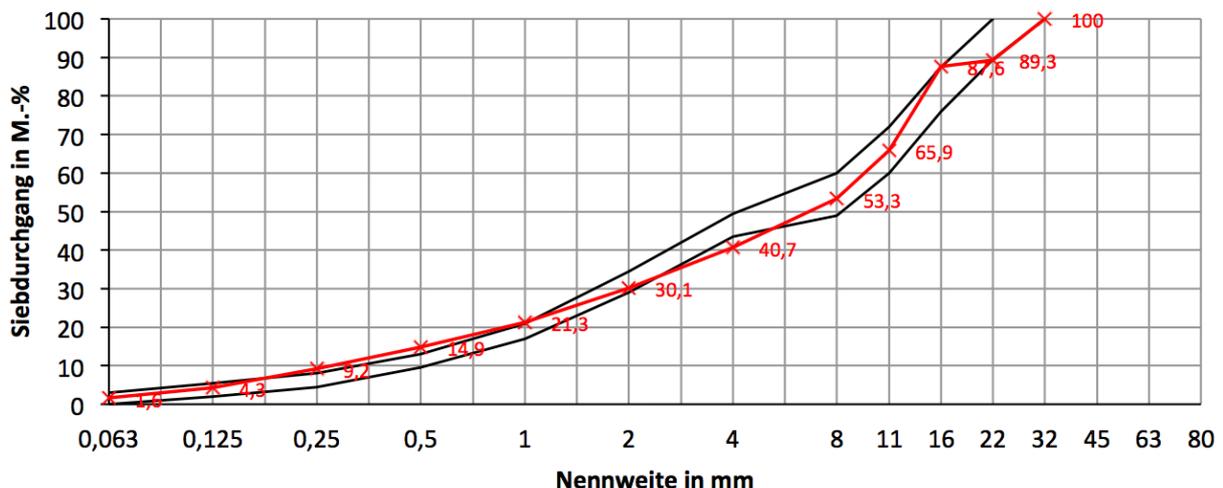


Abbildung 4-3: Analyse Sieblinie für Innenschalenbeton GK 22 – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)

Die Kernaussage der Aufbereitungsversuche ist, dass das Ausbruchmaterial für die Betonherstellung geeignet ist, sofern alle abfallchemischen Parameter für die Verwertung nach BAWP 2011 eingehalten werden. Bei dem untersuchten Ausbruchmaterial wird Selen um 0,01 mg/kg TM aus unerklärlichen Gründen überschritten.

Abschließend ist festzuhalten, dass dieses Programm in Form einer Bewertungsmatrix ein sinnvolles und effizientes Tool darstellt. Es liefert auf einer Tunnelbaustelle rasch Ergebnisse bezüglich Eignung zur Verwertung. Resch (2012) untersucht mit dem Programm auch die Eignung von Tunnelausbruchmaterial als Gesteinskörnung für Tragschichten, Bahnschotter und Asphaltmischgut sowie als Ziegelton und Kalk im Sinne eines industriellen Rohstoffes.

4.2.3 Geplante Beprobung von Tunnelausbruchmaterial

Das technische Büro Bauer GmbH wurde beauftragt, ein Untersuchungskonzept zur Charakterisierung von Tunnelausbruchmaterial im kontinuierlichen Vortrieb zu erstellen (Bauer, et al., 2012). Dieses Konzept befindet sich aufgrund der Novelle der Deponieverordnung zurzeit in Abstimmung. Die Ergebnisse der Untersuchungen dienen einer fachgerechten Entsorgung als auch einer angestrebten Verwertung. Für folgendes Abfallaufkommen ist eine grundlegende Charakterisierung in Beurteilungsnachweisen (BNW) nach DepVO (2008) zu dokumentieren:

- Tunnelausbruchmaterial (1. BNW Tunnelausbruch)
- Tunnelausbruch nach der Aufbereitung mittels Vorsiebung (2. BNW Wiederkehrend anfallender Abfall)
- Schlamm aus bautechnischer Aufbereitung (3. BNW Abfallstrom)

Definitionen laut DepVO (2008):

„Ein wiederkehrend anfallender Abfall ist ein Abfall eines Abfallerzeugers, der in einigen, aber nicht in allen Parametern die Charakteristika eines Abfallstroms aufweist. Er fällt zB in einem definierten Prozess in nicht gleichbleibender Qualität an oder weist bei bestimmten Parametern zu große Schwankungen auf, dh. die Schwankungen liegen außerhalb der von der befugten Fachperson oder Fachanstalt begründet definierten Schwankungsbreiten.“

„Ein Abfallstrom ist ein bestimmter Abfall, welcher aus einem definierten Prozess (gleichbleibendes Verfahren, gleichbleibende Prozessbedingungen und gleichbleibende Einsatzstoffe) in gleich bleibender Qualität regelmäßig bei einem Abfallerzeuger anfällt; dies ist im Hinblick auf die Grenzwertrelevanz und die Annahmekriterien des zu deponierenden Abfalls zu beurteilen.“

Der Vorteil des Ansatzes „wiederkehrend anfallende Abfälle“ liegt gegenüber den Untersuchungsmodellen mit „Abfallströmen“ in der Möglichkeit der wöchentlichen Anpassung der Abfallerbringung im Sinne einer Stoffflusssteuerung.

Generell sind unterschiedliche Untersuchungsziele in Abhängigkeit von den Materialströmen zu definieren:

- Untersuchungen zur Feststellung der Deponieklasse und zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen von Tunnelausbruchmaterial nach Deponieverordnung
- Untersuchungen zur Feststellung der Deponieklasse nach einer Abfallbehandlung, wie sie durch Siebung (Klassierung) von Tunnelausbruchmaterial durchgeführt wird
- Untersuchungen zur Verwertung von Tunnelausbruchmaterial, wobei hierzu die oben genannten Untersuchungen nach Deponieverordnung herangezogen und die Ergebnisse nach den Beurteilungsnachweisen des BAWP (2011) beurteilt werden
- Schnelluntersuchungen vor Ort zur Klassifizierung von geologisch bedingten Auffälligkeiten sowie zur Verdichtung der abfallchemischen Information zwischen den, nach gesetzlichem Mindestanforderungserfordernis erfolgenden, Laboruntersuchungen

Wie bereits im zyklischen Vortrieb erfolgreich durchgeführt, können im Baustellenlabor durch *Schnelluntersuchungen* von ausgewählten, kritischen Parametern rasch Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt werden. Diese Messergebnisse ersetzen jedoch nicht die Befunde eines akkreditierten Analytikinstitutes zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen. Die Messergebnisse dienen ausschließlich der vorausschauenden Steuerung und schnellen Kontrolle der Stoffflüsse. Vor Untersuchungsbeginn ist die Erstellung eines Probenahmeplanes je Anfallsort wie im zyklischen Vortrieb erforderlich. Der Probenahmeplan enthält die detaillierte Beschreibung des Probenahmeprozesses sowie die sicherheits- und umwelttechnischen Vorgaben für das Probenahmepersonal.

Bauer et al. (2012) empfiehlt die *Probenahme* des zyklischen Vortriebs direkt an der Ortsbrust oder aus Sicherheitsgründen im Zuge der Schutterung des Ausbruchmaterials (z. B. auf dem Zwischenlager) durchzuführen. Beim kontinuierlichen Vortrieb werden die Proben vom Förderband (oder ebenfalls vom zwischengelagerten Material) entnommen. Die erforderlichen, repräsentativen Proben setzen sich als „qualifizierte Stichproben“ aus einer bestimmten Anzahl an Stichproben zusammen, welche aus einer „Beurteilungsmenge“ stammen. Diese Beurteilungsmenge (beprobte Menge an Ausbruchmaterial) sollte zumindest 200 Tonnen und nicht mehr als 500 Tonnen betragen (Festlegung in der bevorstehenden Änderung von Anhang 4 der Deponieverordnung). Grundsätzlich gelten die Vorschriften der DepVO (2008), Anhang 4, wie bereits in Kapitel 2.1.3.4 beschrieben.

In der etwa (aus derzeitiger Sicht) dreijährigen Bauzeit bis Ende des kontinuierlichen Vortriebs ist entlang der beiden Streckenröhren die Entnahme von zumindest 59 Haupt- und 116 Nebenproben geplant. Weiteres sind rund 32 Proben aus den Quer-

schlägen zu analysieren. Auf Basis dieser Probennahmen erfolgt die Erstellung des *1. Beurteilungsnachweises* nach DepVO (2008).

Der *Parameterumfang* der Hauptproben entspricht jenem der Vollanalyse nach DepVO (2008), die Parameter der Nebenproben sind neben dem pH-Wert und der Leitfähigkeit der wässrigen Eluate die Stickstoffparameter Nitrat-, Nitrit- und Ammonium-Stickstoff im Eluat sowie die Gesamtgehalte KW-Index und TOC im Feststoff. Die Proben der Querschläge werden in Anlehnung an die Analytik der Nebenproben auf einen reduzierten Parameterumfang analysiert. Bauer et al. (2012) erwähnt als Begründung, dass bereits Vorkenntnisse aus den Vollanalysen von Ausbruchmaterial der beiden Tunnelröhren vorhanden sind.

Derzeit wird im BMLFUW an einer Novellierung der DepVO 2008 gearbeitet, insbesondere des Anhanges 4. Eine Verminderung des Parameterumfangs wäre erstrebenswert, da die Vollanalyse auch Parameter enthält, die im natürlichen Gestein wie Tunnelausbruch mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können (z. B. AOX, PCB, PAK, Phenolindex).

Die *Qualitätssicherungen* jener Abfallaufkommen, die einer Verwertung unterzogen werden, sind nach BAWP (2011), dem auch die Grenzwerte der Richtlinien des Österreichischen Baustoffrecyclingverbandes (BRV) entsprechen, durchzuführen. Die Ergebnisse der erforderlichen Untersuchungen sind in Verwertungsgutachten bzw. in Gutachten, welche eine grundsätzliche Eignung zur Verwertung attestieren, zu dokumentieren. Bauer et al. (2012) empfiehlt am jeweiligen Ort der Abfallentstehung die Einrichtung von mechanisch unterstützten Probenahmestellen, an denen eine periodische Entnahme von Materialproben mit vermindertem Personaleinsatz erfolgen kann.

Insbesondere wird auf die *Vermeidung einer Vermischung* von TBM-Ausbruchmaterial und Ausbruchmaterial der Querschläge, hergestellt im zyklischen Vortrieb, im Bereich des Ostportals hingewiesen. Aufgrund zu erwartender unterschiedlicher Materialqualitäten ist eine Vermischung nach dem AWG zu unterlassen. Um unterschiedlichen Materialqualitäten entgegenzuwirken, ist eine kontrollierte Anwendung der Sprengmittel in Verbindung mit abfallchemischen Kontrollen anzustreben, wodurch sicherzustellen ist, dass die Grenzwerte für die Verwertung oder Deponierung eingehalten werden.

Bauer et al. (2012) empfiehlt, die Proben vom *Siebdurchgang auf der Erstabwurfstelle* direkt vom Förderband zu entnehmen, idealerweise mittels automatisiertem Probennahmegerät. Das Probennahmegerät befördert das Stichprobenmaterial in einen Zwischenbunker, aus welchem durch einen qualifizierten Probennehmer (durch qualifizierte Verjüngung) die Proben für die Untersuchungen entnommen werden. Die Beprobung von Siebdurchgang ist vom BMLFUW vorgeschrieben, da es sich bei der Vorsiebung um eine Abfallbehandlung handelt und nicht ausgeschlossen werden kann, dass in der Feinfraktion durch Anreicherung bestimmter Elemente die Abfalleigenschaften verändert sind. In einem Zeitraum von drei Jahren sollen etwa 406 Pro-

ben analysiert werden (qualifizierte Stichproben, Tages- und Wochensammelproben; 2. *Beurteilungsnachweis*). Die Analytik dieses Modells von „wiederkehrend anfallender Abfall“ beinhaltet voraussichtlich nur vier Vollanalysen. Auf Basis der Vollanalysen werden relevante und grenzwertrelevante Parameter festgestellt (relevant = Konzentrationen größer als 20 % vom jeweiligen Grenzwert; grenzwertrelevant = Konzentrationen größer als 80 % vom jeweiligen Grenzwert). Die Untersuchungen beschränken sich auf die Analyse von relevanten und grenzwertrelevanten Parametern.

Nicht verwertbares Material aus dem Siebdurchgang im Ausmaß von derzeit vorgesehen rund 1,2 Millionen Tonnen soll auf Fremddeponien verbracht werden, da die Eigenkapazitäten der Deponien Hollenegg und Grub zu gering sein werden. Die Untersuchung des Siebdurchganges nach dem Modell für „wiederkehrend anfallende Abfälle“ gemäß DepVO (2008) ist für das Annahmeverfahren auf Eigendeponien und Fremddeponien gleichermaßen durchzuführen. Die Entnahme und Rückstellung qualifizierter Beweissicherungsproben bei der Waggonverladung wird seitens der Projektleitung als erforderlich betrachtet, um möglichen Diskrepanzen zwischen der späteren Identitätskontrolle auf der Fremddeponie und der gegenständlichen Abfallbeurteilung begegnen zu können. Ebenso ist angedacht, eine automatisierte Probenahmeeinrichtung an der Bahnverladungsanlage zu installieren. Die Proben werden auf zwei Behältnisse aufgeteilt, wobei eine Teilprobe mit dem Zug dem Übernehmer zur Verfügung gestellt wird und die andere Teilprobe zur Qualitätssicherung vor Ort im Probenlager verbleibt. Nach derzeitigem Wissensstand ist von insgesamt 1 300 Zügen und damit von 1 300 Proben auszugehen, welche rückgestellt und im Bedarfsfall auch analysiert werden.

Die *Probenahme auf dem Zwischenlager des Ostportals bzw. auf der Bodenaushubdeponie Grub* erfolgt über einen Zeitraum von rund drei Jahren in wöchentlichen Intervallen als Haufenbeprobung. Das Ziel dieser rund 156 Untersuchungen ist die Feststellung der grundsätzlichen Verwertungseignung aus verwertungschemischer Sicht. Die Probenahmen dienen der grundlegenden Charakterisierung sowie der Übereinstimmungsbeurteilung des gegenständlichen wiederkehrenden Abfalls. Aufgrund der Vorinformation des 1. Beurteilungsnachweises kann der Analysenumfang auf die als „relevant“ oder möglicherweise auf die als „grenzwertrelevant“ ermittelten Parameter reduziert werden.

Zum Thema *Aufbereitungsanlage für Gesteinskörnungen* ist festzuhalten, dass die technischen Erfordernisse für die Betonherstellung sowie jene des Österreichischen Baustoff-Recycling Verbandes vom Anlagenbetreiber im Sinne einer Qualitätssicherung einzuhalten sind. Eine chemische Untersuchung von aufbereitetem Material ist deshalb essentiell, weil durch eine Nasssiebung eine Veränderung der Qualität hervorgerufen werden kann. Beispielsweise können allfällige Sprengmittelrückstände im Ausbruchmaterial der Querschläge ausgewaschen werden. Weiteres ist nicht auszuschließen, dass gegebenenfalls im Gestein enthaltene lösliche Anteile durch die Wäsche in Lösung gehen.

Der überwiegend feinkörnige Siebdurchgang der Aufbereitungsanlage in Form von *Schlämmen* wird als kontinuierlicher, sehr großer Abfallstrom (> 50.000 Tonnen) nach DepVO (2008) zu beproben sein. Das Modell eines „Abfallstroms“ ist zutreffend, da über die Abfalleigenschaften des Eingangsmaterials aus den vorangegangenen Untersuchungen (Tunnelausbruch und vorgeseiebtes Material) bereits Vorkenntnisse vorliegen. Die Probenahmen erfolgen wahrscheinlich als Haufenbeprobung, die nach Bauer et al. (2012) wiederum durch eine automatisierte Probenahmeeinrichtung erfolgen sollte. Im Probenahmezeitraum von drei Jahren sind voraussichtlich rund 90 Feldproben zu analysieren (qualifizierte Stichproben, Tages- und Wochensammelproben; 3. *Beurteilungsnachweis*). Die Analytik umfasst rund 4 Vollanalysen, auf denen die Feststellung und im Weiteren die Analyse der relevanten und grenzwertrelevanten Parameter basiert.

In Abbildung 4-4 ist das Probenahmekonzept in Form eines Fließschemas von Bauer et al. (2012) angeführt. Dazu ist anzumerken, dass nur in der Südröhre ein Förderband Richtung Ostportal für den Materialtransport vorhanden sein wird, und nicht wie dargestellt in beiden Röhren. Die Vorbrechung ist im Bereich des TBM-Bohrkopfes vor Aufgabe des Ausbruchmaterials auf das Förderband und nicht am Bauschachtfuß angeordnet. Der Siebrückstand von 20 % wurde von Bauer et al. (2012) angenommen und stellt das Worst-Case-Szenario dar. Der Rückstand 16/X ist im Bauvertrag des Bauloses KAT 2 mit 40 % angegeben. Weiteres wurde der Begriff „Betonzuschlag“ mittlerweile durch den Begriff „Gesteinskörnung“ ersetzt. Ein Irrtum in diesem Sankey-Diagramm ist es, dass Perlkies für die Hinterfüllung der Tübbingung durch Aufbereitung gewonnen wird. Das ausgebrochene Material erfüllt nicht die Anforderungen eines Perlkieses, da dieser zufolge des Einblasvorganges runder Kies sein soll. Stattdessen wird Drainagekies aus Ausbruchmaterial aufbereitet.

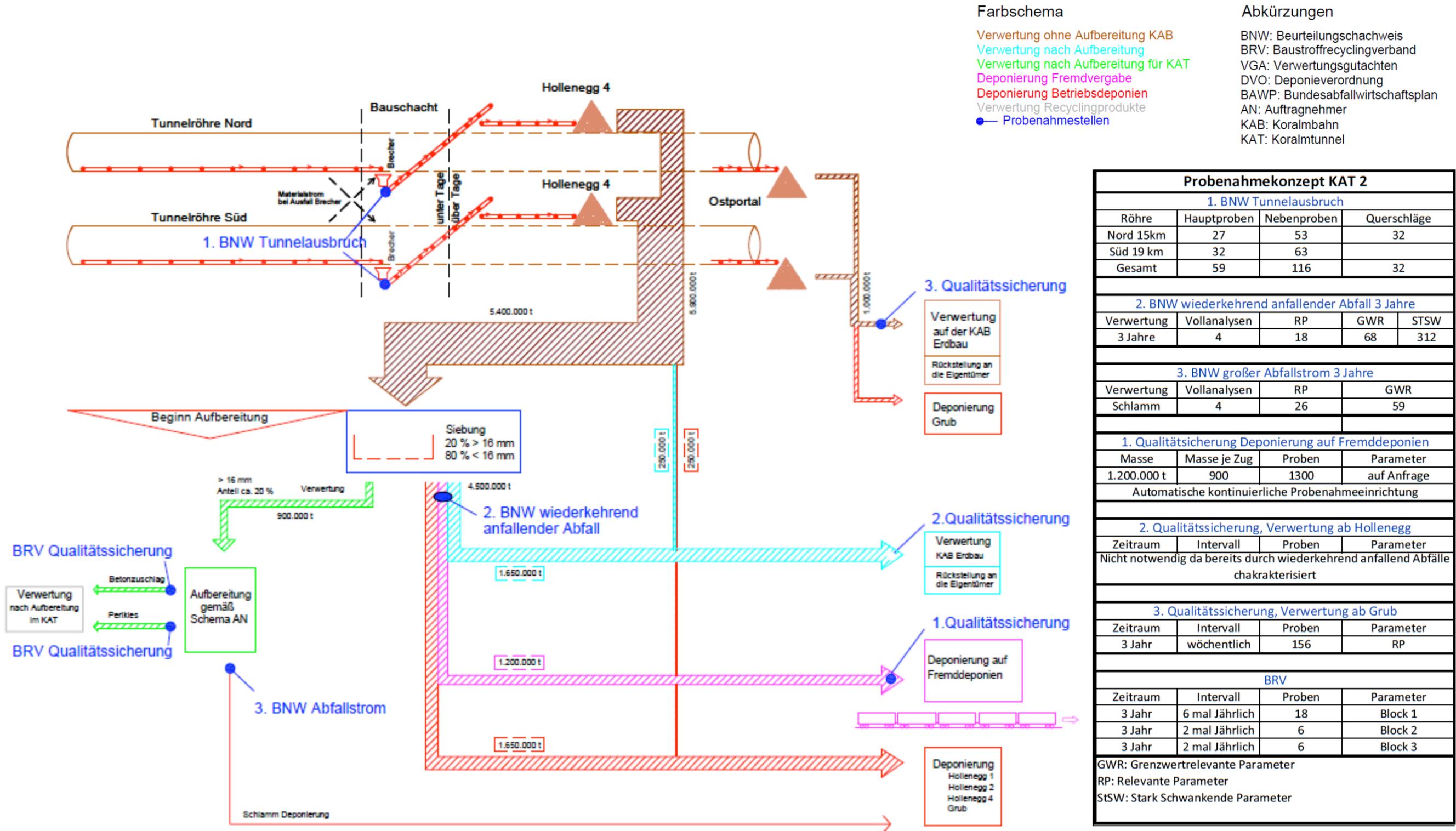


Abbildung 4-4: Fließschema Probenahme im kontinuierlichen Vortrieb (Bauer et al., 2012)

4.2.4 Entscheidungsmatrix unter Berücksichtigung technischer und abfallchemischer Faktoren

Basierend auf die vertraglichen Festlegungen des Bauloses KAT 2 und einer bereits von der Örtlichen Bauaufsicht erstellten Entscheidungsmatrix wurde in dieser Arbeit eine eigene Darstellung des Entscheidungsweges ausgearbeitet. Die Prüfungen zur Einhaltung der Grenzwerte für die Deponierung nach DepVO (2008) als auch zur Verwertung nach BAWP (2011) wurden in die Matrix integriert. Ebenso ist die Prüfung der Gesteinskörnung nach den Richtlinien des österreichischen Baustoff-Recycling Verbandes (ÖBRV) als auch die Prüfung zur Deponierung von Schlamm, der im Aufbereitungsprozess durch Abschwämmen der Feinteile als Rückstand entsteht, Bestandteil des Entscheidungsweges. Die Baustellenlaborprüfungen wie Point-Load-Test, einachsialer Druckversuch sowie Spaltzugversuch sind parallel zu den Schutterarbeiten laufend durchzuführen, um Änderungen der Gesteinsfestigkeit rechtzeitig zu erkennen.

Die Unterteilung in sichere (MK1), beschränkte (MK2) und keine (MK3 bis MK6) Eignung zur Aufbereitung wurde in Anlehnung an den „Prüfplan Zuschlagstoffe aus Tunnelausbruchmaterial - Gotthardbasistunnel“ (Ernst Basler & Partner AG, BIG Büro für Ingenieurgeologie, 2006) durchgeführt. Da MK2 laut Bauvertrag auch zur Aufbereitung von Gesteinskörnung herangezogen werden kann, ist meiner Meinung nach Ausbruchmaterial mit beschränkter Eignung zur Aufbereitung für die Herstellung von minderwertigeren Betonen oder Mörtel einzusetzen. Dies sollte jedoch nur durchgeführt werden, wenn zu wenig Ausbruchmaterial der Klasse MK1 zur Verfügung steht.

Die Wahl der Beförderungswege des Ausbruchmaterials beruht auf den vorangegangenen Kapiteln. Primäres Ziel ist die Aufbereitung von MK1, um den Bedarf an Gesteinskörnungen für das gesamte Tunnelbauwerk zu decken. Sekundär ist die Aufbereitung von MK1 für Frostkoffer und kapillarbrechendes Material zur Verwendung auf der Koralmbahn (KAB) bzw. freien Strecke des Bauloses KAT 2. Eine Wiederverwendung von Material der Klassen MK2 bis MK4 als Dammschüttung (Bahn- und Lärmschutzdämme), Auffüllung oder bautechnisch ähnlichem Material auf der KAB ist einer Auffüllung der betriebseigenen Deponien vorzuziehen. Die vollständige Verfüllung der Eigendeponien ist wiederum einer Fremddeponierung vorrangig. Ausgenommen hiervon ist Material der Klasse MK5, das einer gesonderten Behandlung und dementsprechenden Deponierung bedarf.

Bauer et. al (2012) legt die Durchführung einer grundlegenden Charakterisierung mit Probennahmen im Bereich der Ortsbrust der Vortriebe fest. Der Gedanke in der Arbeit dazu ist, dass der Materialstrom von der Ortsbrust weiterfließt, ohne Berücksichtigung von Laborergebnissen, da das Warten auf diese den Vortrieb ständig unterbrechen würden. Bereits an der Ortsbrust muss bekannt sein, ob das Material auf die Erstabwurfstelle der Deponie H4 oder im Bereich des Ostportals zum ersten Mal zu liegen kommt. Demnach sollte es ausreichend sein, die grundlegende Charakterisie-

rung in Form einer Haufenbeprobung an den Erstabwurfstellen durchzuführen, da das dort anfallende Material in seiner Beschaffenheit einer Verwertung oder Deponierung zugeführt wird. Dagegen spricht jedoch der Anhang 4 der DepVO (2008), in dem - wie bereits beschrieben - Hauptproben alle 600 m und Zusatzproben alle 200 m in jeder Tunnelröhre genommen und analysiert werden müssen, wodurch der Ort der Abfallentstehung (in dem Fall der Tunnelmeter) genau nachvollziehbar ist.

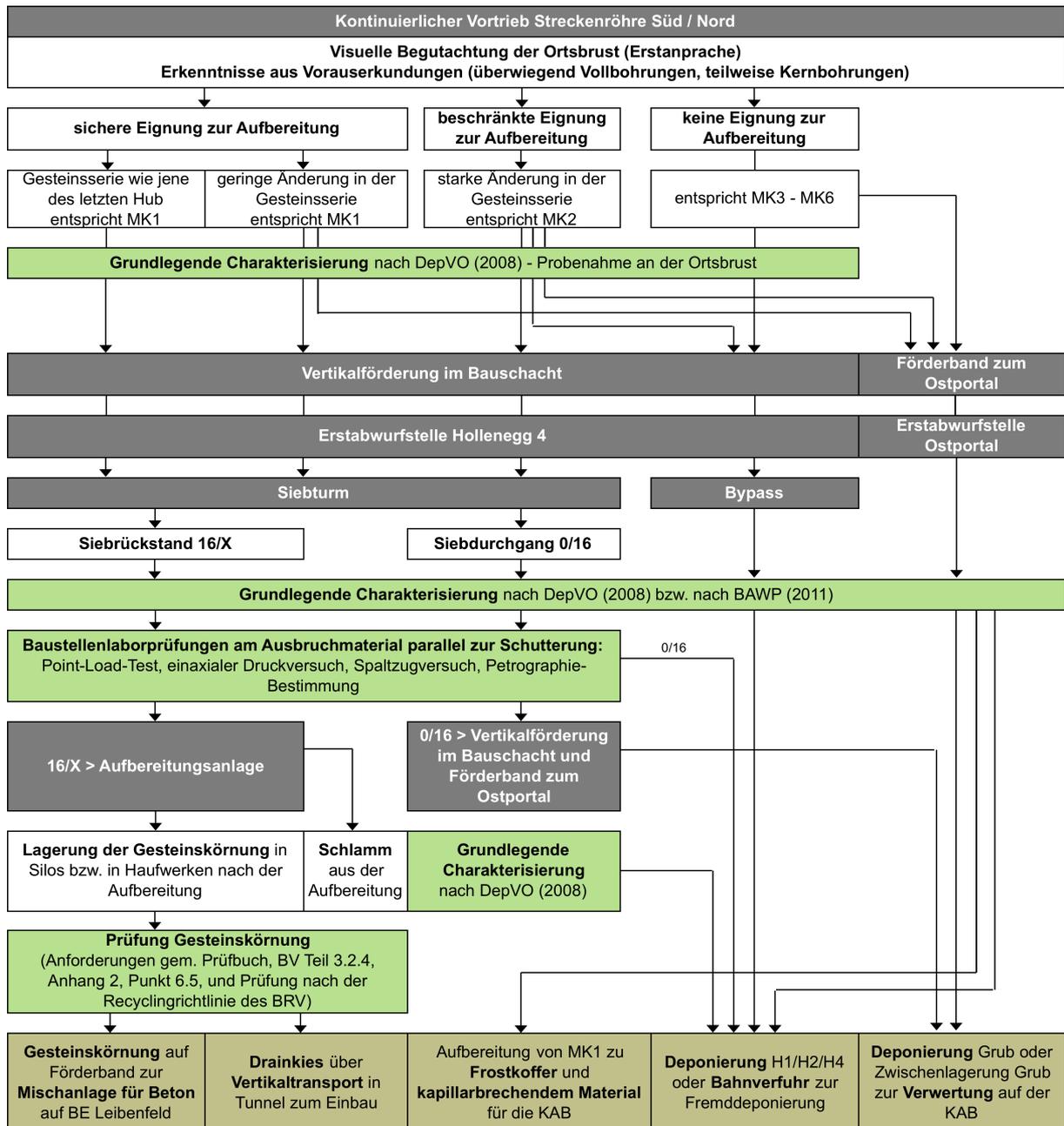


Abbildung 4-5: Entscheidungsmatrix im kontinuierlichen Vortrieb

4.3 Szenario des Stoffflusses unter Berücksichtigung der Entscheidungsmatrix

Wie bereits in Kapitel 4.2 erwähnt, sind folgend die gewählten Stoffflussszenarien mit STAN dargestellt. Die Zeitpunkte bzw. Orte der grundlegenden Charakterisierung zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen sowie die Qualitätssicherungen bei der Aufbereitung zur Gesteinskörnung, sonstiger Verwertung oder Fremddeponierung sind im Stofffluss gekennzeichnet. Die Menge an extern zugelieferter Gesteinskörnung ist ein Input für die Mischanlage jedoch nicht im Output der Gesteinskörnung aus Ausbruchmaterial einberechnet. Folgende Faktoren gemäß Bauvertrag KAT 2 werden in den Stoffflüssen berücksichtigt:

- Maximaler Bedarf an Gesteinskörnung für Beton: 19 000 m³ fest/Monat (54 000 to/Monat)
- Maximaler Bedarf an Beton: 30 000 m³/Monat
- Leistung der beiden Senkrechtförderer im Bauschacht: je 1 500 to/h
- Bahnverladung: mind. drei Züge à 900 to/Tag
- Leistung der Bahnverladestation: 800 to/h
- Fassungsvermögen des Übergabesilos (Bahnverladung): ca. 225 m³
- Laufende Reserve von MK1 auf H4: 100 000 m³ fest

Die Stoffflüsse sind in Abbildung 4-6, Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8 dargestellt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.4 beschrieben.

4 Stofffluss im kontinuierlichen Vortrieb am Baulos KAT 2

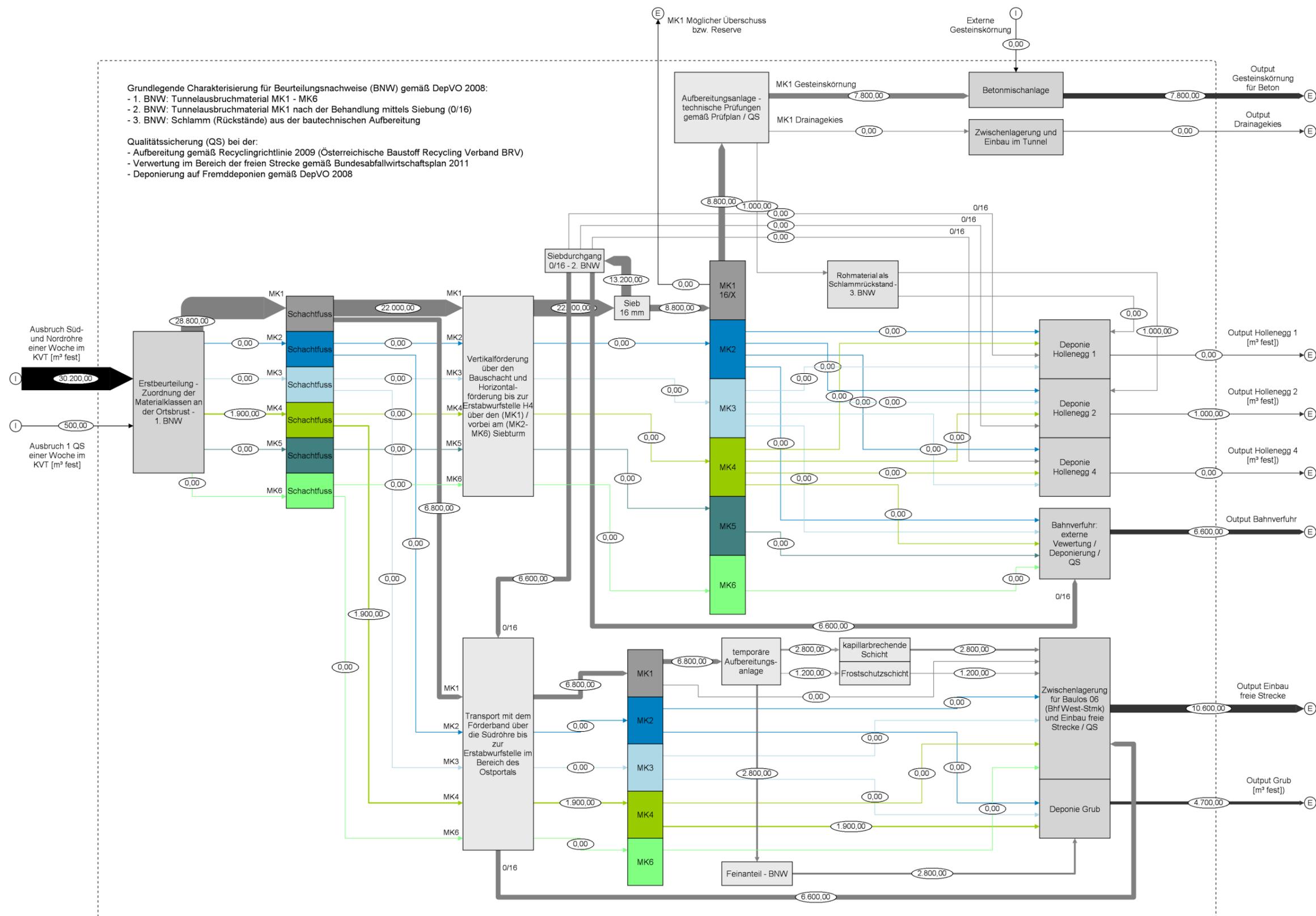


Abbildung 4-6: Stofffluss einer Woche – Kontinuierlicher Vortrieb

4 Stofffluss im kontinuierlichen Vortrieb am Baulos KAT 2

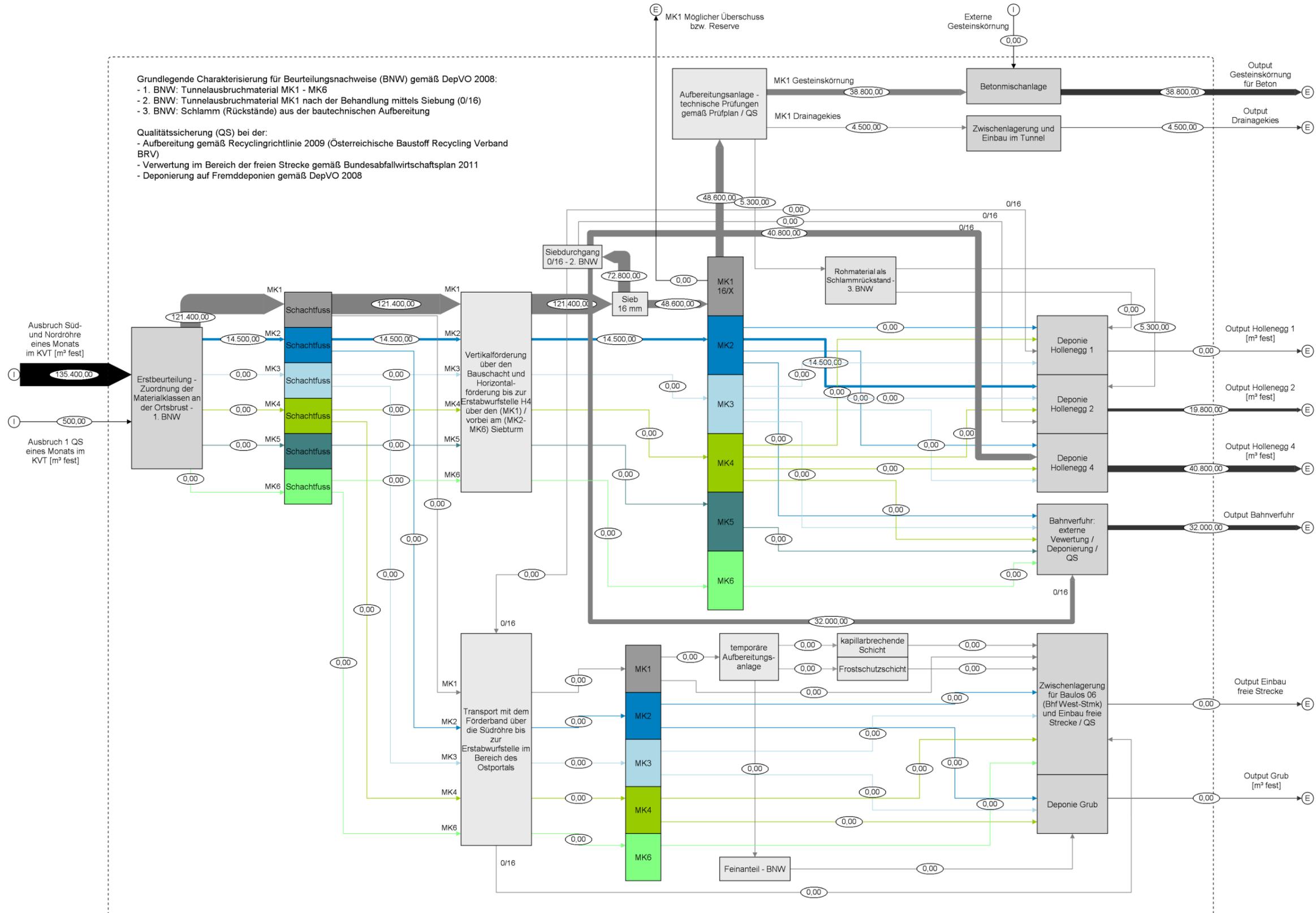


Abbildung 4-7: Stofffluss eines Monats– Kontinuierlicher Vortrieb

4 Stofffluss im kontinuierlichen Vortrieb am Baulos KAT 2

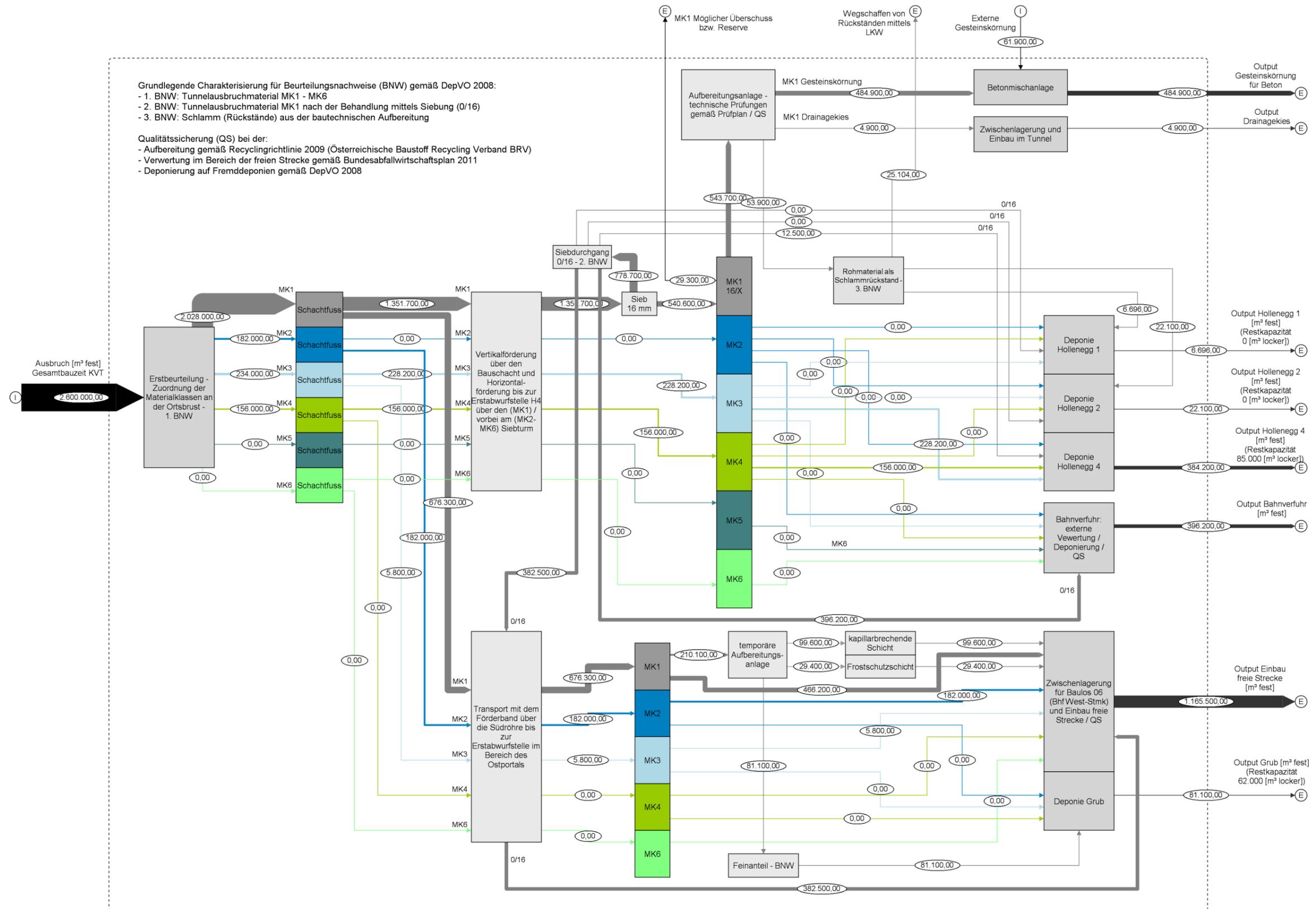


Abbildung 4-8: Stofffluss der Gesamtbauzeit – Kontinuierlicher Vortrieb

4.4 Beschreibung und Vergleich der Ergebnisse der Stoffflussanalyse

4.4.1 Ausbruchkubatur einer Woche

Das Ausbruchmaterial einer Woche (ohne Feiertage oder sonstiger Stillliegezeiten ausgenommen der täglichen Wartungsschicht der TBM) wurde mit einer durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeit von 28 m/Arbeitstag und dem Querschnitt einer Streckenröhre von 77 m² berechnet. In dem Fall wird der Stofffluss des gleichzeitigen Ausbruchs der beiden Streckenröhren sowie eines Querschnitts dargestellt. Das Ausbruchmaterial eines ca. 10 m langen Abschnitts mit durchzogenem Störungsgestein und das Ausbruchmaterial des in dieser Zone befindlichen Querschlags wird auf der Deponie Grub eingebaut. Das Szenario dieses Materialstroms findet in Phase III (siehe Kapitel 4.1.1.1) statt. (Abbildung 4-6)

Tabelle 4-19: Input und Output - Stofffluss einer Woche

	m ³ fest
INPUT	
Ausbruch Süd- und Nordröhre	30 200
Ausbruch 1 Querschlag (QS)	500
OUTPUT	
Deponie Hollenegg 2 (H2)	1 000
Bahnverfuhr	6 600
Deponie Grub	4 700
Gesteinskörnung für Beton	7 800
Einbau freie Strecke	10 600

In dieser fiktiven Woche werden 28 800 m³ der Materialklasse MK1 und 1 900 m³ der Materialklasse MK4 ausgebrochen. MK4 entspricht dem Ausbruchmaterial einer Störzone.

Eine Menge von 22 000 m³ Ausbruchmaterial der Klasse MK1 gelangt zum Siebturn auf der Erstabwurfstelle H4. Der Siebdurchgang (kleiner 16 mm) der Vorabsiebung auf der Erstabwurfstelle der Deponie H4 ist mit einem Anteil von 60 % prognostiziert und beträgt rund 13 200 m³. Eine Hälfte dieses gesiebten Materials wird über das Förderband in der Südröhre zur Erstabwurfstelle im Bereich des Ostportales transportiert und als Schüttmaterial auf der freien Strecke eingesetzt. Die andere Hälfte der Materialmenge wird per Bahn verführt. Da mindestens drei Züge pro Tag an sechs Tagen die Woche zu je 900 to (ca. 320 m³/Zug) Fassungsvermögen Ausbruchmaterial verführen können, wird mit 6 600 m³ Ausbruchmaterial die Mindestkapazität überschritten. Somit müssten drei bis vier weitere Züge Material verführen.

Von 8 800 m³ Ausbruchmaterial, die in die Aufbereitungsanlage befördert werden, werden ca. 11 % (ca. 1 000 m³) als Schlammrückstand auf der Deponie H2 einge-

baut. Der Einbau ist nur zulässig, wenn die Grenzwerte der Bodenaushubdeponie gemäß Deponieverordnung (2008) eingehalten werden.

Zufolge des maximalen monatlichen Bedarfes an Gesteinskörnung für Beton von 19 000 m³ ergibt sich ein maximaler Bedarf von rund 4 400 m³ Gesteinskörnung für Beton pro Woche. Dieser Bedarf wird in dieser Woche mit 7 800 m³ übertroffen. Überschuss an aufbereitetem Material der Klasse MK1 bleibt in den Siloboxen der einzelnen Kornfraktionen gelagert. In dieser Woche erfolgt keine Zulieferung von externer Gesteinskörnung.

Rund 6 800 m³ der Materialklasse MK1 werden von der Ortsbrust auf direktem Weg über das Förderband in der Südröhre zu der temporären Aufbereitungsanlage im Bereich der freien Strecke befördert. Dort erfolgt die Aufbereitung zu kapillarbrechendem Schicht- und Frostschutzschichtmaterial, wovon 2 800 m³ Feinanteil als Aufbereitungsverlust anfallen und auf der Deponie Grub eingebaut werden. Bei der Aufbereitung von kapillarbrechendem Material sind rund 45 % Aufbereitungsverluste und bei der Aufbereitung von Frostschutzschichtmaterial sind rund 35 % Aufbereitungsverluste festzustellen.

Das Ausbruchmaterial der Klasse MK4 von 1 900 m³ gelangt von der Ausbruchstelle über das Förderband in der Südröhre sowie über weitere Förderbänder auf der freien Strecke auf die Deponie Grub.

4.4.2 Ausbruchkubatur eines Monats

Die anfallende Ausbruchmenge eines Monats wurde mit einer durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeit von 29 m/Arbeitstag und einem Ausbruchquerschnitt je Tunnelröhre von 77 m² berechnet. In diesem Tunnelabschnitt von rund 900 m kommt ebenso die Kubatur von einem Querschlag, der sich in einer Gesteinsfolge der Materialklasse MK2 befindet, zu liegen. Der Vortrieb befindet sich am Beginn der Phase IV, was bedeutet, dass er alsbald endet und die Förderung von Ausbruchmaterial nur mehr über den Bauschacht erfolgt. (Abbildung 4-7)

Tabelle 4-20: Input und Output - Stofffluss eines Monats

	m ³ fest
INPUT	
Ausbruch Süd- und Nordröhre	135 400
Ausbruch 1 Querschlag (QS)	500
OUTPUT	
Deponie Hollenegg 2 (H2)	19 800
Deponie Hollenegg 4 (H4)	40 800
Bahnverfuhr	32 000
Gesteinskörnung für Beton	38 800
Drainagekies	4 500

In diesem fiktiven Zeitraum von einem Monat werden 121 400 m³ der Materialklasse MK1 und 14 500 m³ der Materialklasse MK2 ausgebrochen.

Es wird wiederum davon ausgegangen, dass 60 % des Ausbruchmaterials der Klasse MK1 durch das Sieb auf der Erstabwurfstelle H4 fallen. Dies entspricht einer Menge von 72 800 m³. Davon werden 40 800 m³ auf der Deponie H4 eingebaut und 32 000 m³ mit der Bahn verführt. Bei einem Bahnbetrieb von Montag bis Samstag und drei Zügen zu je ca. 320 m³ pro Tag können rund 24 940 m³ pro Monat abtransportiert werden. Somit ist die Kapazität der Bahnverfuhr mehr als ausgeschöpft. Es müssten 22 weitere Züge in diesem Monat beladen werden um Material zu verführen.

Zu Aufbereitung gelangen 48 600 m³, wovon 5 300 m³ nach dem Aufbereitungsprozess als Schlammrückstand auf der Deponie H2 unter Einhaltung der Grenzwerte für eine Bodenaushubdeponie eingebaut werden.

Der maximale monatliche Bedarf an Gesteinskörnungen für Beton von 19 000 m³ wird mit einer aufbereiteten Materialmenge von 38 800 m³ zweifach gedeckt. Die in diesem Monat nicht benötigte Gesteinskörnung wird als Reservematerial der Klasse MK1 in den Siloboxen der Aufbereitungsanlage zwischengelagert.

Das Ausbruchmaterial der Klasse MK2 in einer Menge von 14 500 m³ wird von der Erstabwurfstelle H4 mittels LKWs auf die Deponie H2 gefördert.

In diesem Monat werden 4 500 m³ Ausbruchmaterial als Drainagekies aufbereitet und für den Einbau im Tunnel zwischengelagert.

4.4.3 Ausbruchkubatur der Gesamtbauzeit

Die Aufteilung der Gesamtkubatur in die einzelnen Materialklassen erfolgte durch Anlehnung an „Massenbilanz bei Wiederverwertung“ (Schippinger & Partner, 2010). Die Massen je Verwendungszweck sind dem Leistungsverzeichnis (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010d) des Bauloses KAT 2 entnommen und wenn erforderlich in m³ (fest) Ausbruchmaterial umgerechnet. Der nicht zur Verwendung vorgesehene Anteil an Material der Klasse MK1 wird als Überschuss bzw. Reserve dargestellt. Falls dieses Szenario zutrifft, dass am Ende der Bauzeit zu viel MK1 vorhanden ist, sollte dieses Überschussmaterial einer sinnvollen Verwertung zugeführt werden. Da dies ungewiss ist, wird der Überschuss als Output ohne weiteren Zielort dargestellt. (Abbildung 4-8)

Tabelle 4-21: Input und Output - Stofffluss des gesamten kontinuierlichem Vortriebes

	m ³ fest
INPUT	
Ausbruch Gesamt	2 600 000
Externe Gesteinskörnung	61 900
OUTPUT	
Deponie Hollenegg 1 (H1)	6 696
Deponie Hollenegg 2 (H2)	22 100
Deponie Hollenegg 4 (H4)	384 200
Bahnverfuhr	396 200
Deponie Grub	81 100
Gesteinskörnung für Beton	484 900
Drainagekies	4 900
MK1 Überschuss / Reserve	29 300
Einbau freie Strecke	1 165 500

In diesem Stoffflussszenario, das sich über die gesamte Bauzeit des kontinuierlichen Vortriebes des Bauloses KAT 2 erstreckt, fließen die geschätzten bzw. erwarteten Massen jeder Materialklasse ein. Es wird weder Material der Klasse MK5 noch der Klasse MK6 erwartet. Es wird davon ausgegangen, dass 2 028 000 m³ MK1, 182 000 m³ MK2, 234 000 m³ MK3 und 156 000 m³ MK4 ausgebrochen werden.

Bei der Vorsiebung von 1 351 700 m³ Material der Klasse MK1 fallen 778 700 m³ durch das Sieb durch, was einem Anteil von 60 % entspricht. Davon gelangen 382 500 m³ auf dem Förderband in der Südröhre Richtung Ostportal und werden auf der freien Strecke als Schüttmaterial eingebaut. Ein Anteil von 396 200 m³ wird mit der Bahn verführt. Eine weitere Menge des Siebdurchganges von 12 500 m³ wird auf der Deponie H4 eingebaut.

Ausbruchmaterial im Ausmaß von 543 700 m³ wird aufbereitet, wovon 484 900 m³ als Gesteinskörnung für Beton und 4 900 m³ als Drainagekies wiederverwendet werden. Der bei der Aufbereitung anfallende Schlammrückstand von 53 900 m³ wird auf H1 (6 696 m³) und auf H2 (22 100 m³) deponiert, sofern die Grenzwerte für Bodenaushubdeponien gemäß Deponieverordnung (2008) nicht überschritten werden. Eine Masse von 25 104 m³ Schlammrückstand wird mittels LKW weggeschafft. Es wird mit einem Überschuss an Material der Klasse MK1 von 29 300 m³ gerechnet. Extern werden 61 900 m³ an Gesteinskörnung für die Betonherstellung zugeführt.

Von Material der Klasse MK3 werden 228 200 m³ auf die Deponie H4 verbracht. Ausbruchmaterial MK4 wird im Ausmaß von 156 000 m³ auf der Deponie H4 eingebaut.

Eine Menge von 676 300 m³ des Materials MK1 wird direkt von der Ortsbrust über die Südröhre zum Ostportal gefördert. Es werden 210 100 m³ zur Aufbereitung von kapillarbrechendem Schicht- und Frostschutzschichtmaterial verwendet. Davon kommen 99 600 m³ als kapillarbrechendes Schichtmaterial und 29 400 m³ als Frostschutzschichtmaterial zum Einsatz. Aufbereitungsverluste von 81 100 m³ fallen dabei an und werden auf der Deponie Grub eingebaut. Weiters können 466 200 m³ der Klasse MK1 ohne Aufbereitung diversen Verwendungszwecken auf der freien Strecke zugeführt werden.

Ebenso gelangen 182 000 m³ Ausbruchmaterial der Klasse MK2 und 5 800 m³ der Klasse MK3 über die Südröhre zur Erstabwurfstelle im Bereich des Ostportales. Diese Massen werden auf der freien Strecke für die Herstellung von Bahn- und Lärmschutzdämmen, in der Geländemodellierung oder bei Bodenauswechslungen verwendet.

4.5 Alternative Verwertungsmöglichkeiten

Die geplanten und durchzuführenden Verwertungsziele des kontinuierlichen Vortriebes des Bauloses KAT2 wurden bereits in den vorherigen Kapiteln ausführlich beschrieben. Im Zusammenhang mit dem österreichischen Forschungsprojekt „Recycling von Tunnelausbruchmaterial“ und mit einem mittlerweile gestarteten EU-Projekt „DRAGON - Development of Resource-efficient and Advanced underGround technologies“ (Galler, 2012) unter der Projektkoordination von Univ.-Prof. Dr. Robert Galler vom Lehrstuhl für Subsurface Engineering, stellt sich die Frage nach einer umfangreicheren Rohstoffverwertung des Ausbruchmaterials am Koralmtunnel. Rohstoffe wie Glimmer, Quarz, Pyrit oder Lithium werden weltweit abgebaut, um neue oder bisher bestehende Technologien in der Wissenschaft und Industrie weiterentwickeln bzw. umsetzen zu können. Da am Koralmtunnel zur Gewinnung von etwaigen Rohstoffen kein separater Bergbau zu betreiben ist, sollte die Untersuchung von alternativen Verwertungsmöglichkeiten bereits in der Planung im Zuge von geologischen Erkundungsarbeiten durchgeführt werden. Die Projektleitung und deren Vertreter auf der Baustelle analysierten Verwertungsmöglichkeiten wie den Einsatz von Ton aus dem neogenen Abschnitt in der Ziegelindustrie oder den Einsatz von diversen Materialien in der Zementherstellung. Durch Kontaktaufnahme mit der Industrie wurde jedoch bald festgestellt, dass sich weder die eine noch die andere Verwertungsvariante wirtschaftlich rentieren würde. Bei der Ausarbeitung von folgenden Rohstoffverwendungen (Tabelle 4-22) zeigt sich, dass die Menge bzw. Konzentration des abgebauten Rohstoffes eine entscheidende Rolle spielt und vereinzelt vorkommende „Rohstoffadern“ im Ausbruchmaterial keine wirtschaftlich effiziente Aufbereitung sicher stellen können.

Tabelle 4-22: Alternative Verwertungsmöglichkeiten

Rohstoff	Ausgewertete Eigenschaften des Rohstoffes am KAT2	Art der Rohstoffbestimmung am KAT2	Möglicher Bestandteil folgender Gesteinsarten am KAT2	Verwertungsmöglichkeiten	Aufbereitungs-/ Gewinnungsmöglichkeiten	in Österreich tätiges Unternehmen	grundsätzliche Anforderungen	
							geometrisch / physikalisch	chemisch
Glimmer Muskovit Biotit	Freie Schichtsilikate (Biotit und Heliglimmer) in verschiedenen Korngruppen Gesamtmineralbestand	Röntgendiffraktometeranalyse TU Graz Auszahlverfahren AlpTransit	Glimmerschiefer, Schiefergneis Plattengneis Feinkorngneis Grobkorngneis Kalzit-, Dolomit-, Silikat-, Glimmermarmor Amphibolit, Eklogitamphibolit, Eklogit, Hornblendegneise	Farben, Lacke Korrosionsschutz Metallbeschichtungen Füllstoffe in Kunststoffen ¹⁾	Zerkleinerung > Separation > Flotation > Vermahlung > Trocknung ⁵⁾	Bergbau Waldenstein - Kärntner Montanindustrie Steirischer Erzberg der VA Erzberg GmbH	Dichte 2,85 g/cm ³ Härte 2-3 Mohs plättchenförmige Partikel hohes aspect ratio 1:30 hohe Temperaturbeständigkeit niedrige Wärmeausdehnung geringe Ölabsorption ¹⁾	unlöslich in Wasser pH-Wert: 9 bei 100 g/l H ₂ O bei 20°C Glühverlust bei 1.000°C: < 2% ¹⁾
Quarz(gestein)	Gesamtmineralbestand	Röntgendiffraktometeranalyse TU Graz	vereinzelt in Glimmerschiefer/Schiefergneis Feinkorngneisfolge Grobkorngneisfolge Störungsgestein	Gabione Dekorsteine ¹⁾	brechen > sieben > waschen	Quarzwerte Österreich GmbH	Richtwerte: Schüttgewicht 1,5 t/m ³ Dichte 2,65 t/m ³ Härte 7 Mohs ¹⁾	Außenraum: frostsicher
Quarz(gestein)	Gesamtmineralbestand	Röntgendiffraktometeranalyse TU Graz	vereinzelt in Glimmerschiefer/Schiefergneis Feinkorngneisfolge Grobkorngneisfolge Störungsgestein	Gesteinskörnung für Deckschichten, bituminöse Tragschichten und ländlichen Wegebau ²⁾	brechen > sieben > waschen	Quarzwerte Österreich GmbH Güteschutzverband der österreichischen Kies-, Splitt- und Schotterwerke	Klassen G1 - G9: Definition und Anforderungen gem. ÖN B 3580 (2011) ²⁾	Klassen G1 - G9: Definition und Anforderungen gem. ÖN B 3580 (2011) ²⁾
Quarzsand	Quarz- und Karbonatkörner in verschiedenen Korngruppen	Petrographische Beschreibung der TransGeo AG	neogener Sand mit Quarzgehalt bis zu 90 % neogener Kies Sandstein, überwiegend gering verfestigt	Bausand: Basisrohstoff für Klebe- und Estrichsysteme, Nivellier- und Spachtelmassen, Fugen- und Spezialmörtel, zement- und kunstharzgebundene Putze und Beschichtungen ¹⁾	sieben > waschen > klassieren > sortieren > flotieren > trocknen ¹⁾	Quarzwerte Österreich GmbH	Korngröße 0,063 - 2 mm Richtwerte: Schüttgewicht 1,5 t/m ³ Dichte 2,65 t/m ³ Härte 7 Mohs ¹⁾	pH-Wert: ca. 7 Quarz SiO ₂ : 92-98 [Gew.-%] Aluminiumoxid Al ₂ O ₃ : 2-4 [Gew.-%] Eisen(III)-oxid Fe ₂ O ₃ : 0,1-0,5 [Gew.-%] ¹⁾ weniger als 1 % Quarz (alveolengängig) der Gefahrenklasse STOT RE1 ³⁾
Quarzsand	Quarz- und Karbonatkörner in verschiedenen Korngruppen	Petrographische Beschreibung der TransGeo AG	neogener Sand mit Quarzgehalt bis zu 90 % neogener Kies Sandstein, überwiegend gering verfestigt	Rasenquarzsand ¹⁾	sieben > waschen > klassieren > sortieren > flotieren > trocknen ¹⁾	Quarzwerte Österreich GmbH	gerundetes Kantkorn ohne Feinkörner und Staubanteile Korngröße 0,063 - 2 mm Richtwerte: Schüttgewicht 1,5 t/m ³ Dichte 2,65 t/m ³ Härte 7 Mohs ¹⁾	pH-Wert: ca. 7 Quarz SiO ₂ : 96-98 [Gew.-%] Aluminiumoxid Al ₂ O ₃ : max. 2 [Gew.-%] Eisen(III)-oxid Fe ₂ O ₃ : max. 0,25 [Gew.-%] ¹⁾ weniger als 1 % Quarz (alveolengängig) der Gefahrenklasse STOT RE1 ³⁾
Quarzsand	Quarz- und Karbonatkörner in verschiedenen Korngruppen	Petrographische Beschreibung der TransGeo AG	neogener Sand mit Quarzgehalt bis zu 90 % neogener Kies Sandstein, überwiegend gering verfestigt	Spiel- und Sportsand ¹⁾	sieben > waschen > klassieren > sortieren > flotieren > trocknen ¹⁾	Quarzwerte Österreich GmbH www.quarzwerte.at	feiner Sand, rundkörnig Korngröße 0,063 - 2 mm Richtwerte: Schüttgewicht 1,5 t/m ³ Dichte 2,65 t/m ³ Härte 7 Mohs ¹⁾	pH-Wert: ca. 7 Quarz SiO ₂ : 92-98 [Gew.-%] Aluminiumoxid Al ₂ O ₃ : 2-4 [Gew.-%] Eisen(III)-oxid Fe ₂ O ₃ : 0,1-0,5 [Gew.-%] ¹⁾ Grenzwerte: Arsen: 10 mg/kg Blei: 20 mg/kg Cadmium: 0,4 mg/kg Chrom: 15 mg/kg ⁴⁾ weniger als 1 % Quarz (alveolengängig) der Gefahrenklasse STOT RE1 ³⁾

4 Stofffluss im kontinuierlichen Vortrieb am Baulos KAT 2

Rohstoff	Ausgewertete Eigenschaften des Rohstoffes am KAT2	Art der Rohstoffbestimmung	Möglicher Bestandteil jener Gesteinsarten am KAT2	Verwertungsmöglichkeiten	Aufbereitungs-/ Gewinnungsmöglichkeiten	Unternehmen	grundsätzliche Anforderungen	
							geometrisch/physikalisch	chemisch
Quarzsand	Quarz- und Karbonatkörner in verschiedenen Korngruppen	Petrographische Beschreibung der TransGeo AG	neogener Sand mit Quarzgehalt bis zu 90 % neogener Kies Sandstein, überwiegend gering verfestigt	Rohstoff in der Glasherstellung ¹⁾	sieben > waschen > klassieren > sortieren > flotieren > trocknen ¹⁾	Quarzwerke Österreich GmbH	Korngröße 0,063 - 2 mm Richtwerte: Schüttgewicht 1,5 t/m ³ Dichte 2,65 t/m ³ Härte 7 Mohs ¹⁾	pH-Wert: ca. 7 Quarz SiO ₂ : 92-98 [Gew.-%] Aluminiumoxid Al ₂ O ₃ : 2-4 [Gew.-%] Eisen(III)-oxid Fe ₂ O ₃ : 0,04-0,4 [Gew.-%] Kaliumoxid K ₂ O: 0,5-3 [Gew.-%] Natriumoxid Na ₂ O: 0,1-1 [Gew.-%] ¹⁾ weniger als 1 % Quarz (alveolengängig) der Gefahrenklasse STOT RE1 ³⁾
Lithium	am KAT 2 nicht durchgeführt	am KAT 2 nicht durchgeführt	Pegmatit in: Glimmerschiefer, Schiefergneis Feinkorngneisfolge Grobkorngneisfolge	Lithium-Ionen-Akkus (Fahrzeuge, Mobiltelefone, Laptops, Kameras u.a.) Glas und Keramik Schmiermittel Klimaanlagen Kunststoffe Pharmaindustrie Legierungsbestandteil in Metall Reduktionsmittel	Calcinierung und Aufschließung von Lithiumerz > Behandlung mit Soda und Überführung in Lithiumcarbonat > weitere Verarbeitung im Handel ⁶⁾	East Coast Minerals (ECM)	Dichte: 0,53 g/cm ³ ⁶⁾	Schmelzpunkt: 179 °C Siedepunkt: 1336 °C ⁶⁾
Braunkohle	Betonangreifende Eigenschaften zufolge Kohlensäure Gesamtmineralbestand - Kohlenstoffanalyse	Erkundungstunnel: Analyse inkohlter Pflanzenreste bzw. Kohleschmitzen Analyse des Wasserchemismus	miozäne Ablagerungen Schluffstein Störungsgestein	Kohlewachs in Schmiermitteln, bitumenverarbeiteten Industrie kosmetische Industrie pharmazeutische Industrie Brennstoff zur Stromerzeugung ⁷⁾	brechen > sieben > mahlen > trocknen > klassieren > extrahieren > Lösen von Wachs brechen > sieben > mahlen > trocknen > Wasserbad (zum Abziehen von mineralischem Ballast) > Festbrennstoffe wie Briketts, Braunkohlenstaub,	Kohlekraftwerke in Österreich (z.B. Mellach in der Steiermark)	Dichte: 0,9 bis 1 t/m ³ braun-schwarz matt glänzend zerfällt leicht ⁷⁾	Kohlenstoffgehalt: 58 bis 73 % Sauerstoffanteil: 21 bis 36 % Wasserstoffanteil: 4,5 bis 8,5 % Schwefelgehalt: max. 3 % ⁸⁾
Pyrit	Gesamtmineralbestand	Röntgendiffraktometeranalyse TU Graz	Glimmerschiefer, Schiefergneis Plattengneis Feinkorngneis Grobkorngneis Kalzit-, Dolomit-, Silikat-, Glimmermarmor Amphibolit, Eklogitamphibolit, Eklogit, Hornblendegneis Störungsgesteine	Schwefelsäure: Oxidationsmittel Kondensationsmittel Sulfate und Sulfonsäuren für Düngemittel-, Waschmittel-, Textil-, Papier-, Glas- und Farbstoffproduktion Säure für Autobatterien ⁹⁾	Rösten mit überschüssigen Sauerstoff > Entstehung von Schwefeldioxid > Oxidation zu Schwefeltrioxid > Entstehung von Schwefelsäure in Verbindung mit Wasser ⁹⁾	Bergbau Waldenstein - Kärntner Montanindustrie	Dichte: 5 g/cm ³ Härte: 6 bis 6,5 Mohs messinggelb, oft bunt anlaufend Metallglanz ⁹⁾	Zersetzung beim Erhitzen auf über 743 °C Freiwerden von Schwefelsäure bei der Zersetzung Löslich in verschiedenen Säuren ⁹⁾
Ton	Analyse diverser Tonmineralbestandteile	Röntgendiffraktometeranalyse TU Graz	Störungsgestein Schluff-/Tonstein Sandstein	Ziegelherstellung Keramikprodukte Zementherstellung	Zerkleinerung > Mischen mit Kohle, Sägespäne u.Ä. zur Porosierung > Formgebung durch Strangpressen > Trocknen und Brennen ¹⁰⁾	Tondach Gleinstätten Wienerberger	Korngruppe < 0,002 mm: 10 - 35 % Korngruppe 0,02 - 0,002 mm: 15 - 35 % Korngruppe > 0,02 mm: 40 - 70 % ¹¹⁾	z.B. Siliciumdioxid SiO ₂ : 49,2 - 68 M-% Aluminiumoxid Al ₂ O ₃ : 10,2 - 19,4 M-% Glühverlust: 4,2 - 9,1 M-% ¹¹⁾
Marmor	Gesamtmineralbestand Abrasivität	Röntgendiffraktometeranalyse TU Graz	Silikatmarmor in: Glimmerschiefer, Schiefergneis Plattengneis Feinkorngneis Grobkorngneis Marmorabfolge	Fassadenverkleidung Bodenverkleidung Treppenbeläge Innenarchitektur Tischplatten Ornamente Bildhauerei Scheuermittel in Zahnpasta Füllstoff in hochwertigen Papieren Weißpigment in Farben und Putzen	Abbau von Marmorblöcken mit Kurzseilsägen (Diamantenseile) oder Schrämen > Formatieren mit Durchluftbohrhämern oder Steinspaltwerkzeugen > Schleifen der Marmorplatten mit Quarzsand und Bimstein ¹²⁾	Steinbruch Krastal (weißer Marmor) - Modre Bergbau GmbH Steinbruch Rauriseral (Dolomitmarmor) - Rauriser Naturstein Zentrum GmbH	körniges Gefüge Porenvolumen unter 1 % lichtdurchscheinend bis 30 cm alle Farbtöne und Nuancierungen möglich ¹²⁾	karbonatisches Gestein Schaumbildung in Kontakt mit Salzsäure ¹²⁾

¹⁾ (Quarzwerke Österreich GmbH)

²⁾ (Güteschutzverband der Österreichischen Kies-, Splitt- und Schotterwerke)

³⁾ (Sicherheitsdatenblatt gem. Verordnung (EG) Nr. 1907, 2006)

⁴⁾ (Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche G.m.b.H.)

⁵⁾ (Quarzwerke GmbH)

⁶⁾ (Karlsruhe Institute of Technology (KIT))

⁷⁾ (PatentDe)

⁸⁾ (Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V.)

⁹⁾ (Schorn, Stefan)

¹⁰⁾ (Verband Österreichischer Ziegelwerke)

¹¹⁾ (Resch, 2012)

¹²⁾ (Naturstein Felber Thomas)

¹³⁾ (Rauriser Natursteinzentrum GmbH)

4.5.1 Einsatzvarianten in der Rohstoffindustrie

In diesem Kapitel werden die zuvor genannten Rohstoffe und deren Analyse am Baulos KAT 2 genauer beschrieben. Die Verwertungsmöglichkeiten der angeführten Rohstoffe sind in Tabelle 4-22 zu finden. Die angeführten Tabellen beruhen auf Daten und Auswertungen von mineralogischen Laboruntersuchungen von Ausbruchmaterial des Bauloses KAT 2. (ÖBB Infrastruktur AG)

4.5.1.1 Glimmer

Versuche mit Probematerial aus dem Erkundungstunnel Leibenfeld

Im Rahmen der Untersuchungen zur Eignung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton wurden im Erkundungstunnel (EKT) Leibenfeld kristalline Proben sichergestellt und in einer mobilen Brechanlage aufbereitet. Parallel zu Analysen und Auswertungen an der Technische Universität Graz (TU Graz, Institut für Angewandte Geowissenschaften und Institut für Bodenmechanik und Grundbau) bestimmte das schweizerische akkreditierte Baustoffprüflabor TransGeo AG (Dorfstraße 10, 3073 Gümligen) in Laborversuchen im Jahr 2006 den freien Schichtsilikatgehalt im Sand der Fraktionen 0,063-0,125 mm, 0,125-0,25 mm, 0,25-0,5 mm, 0,5-1 mm und 1-4 mm des Rohmaterials und der aufbereiteten Gesteinskörnung. Schichtsilikate sind Einzelminerale oder Körner respektive Mineralaggregate, welche mehrheitlich aus Glimmermineralien bestehen. Freie Schichtsilikate sind losgelöste, nicht im Gesteinsverband eingebundene Schichtsilikate, die in Kontakt mit Mischwasser und Zement einen negativen Einfluss auf die Frischbetoneigenschaften als auch auf die Festbetoneigenschaften haben. Die TransGeo AG und im Weiteren auch die TU Graz bestimmten die freien Schichtsilikate Biotit (Dunkelglimmer) und Muskovit (Hellglimmer). Die untersuchten Gesteinsproben bestehen aus granat- und glimmerführendem Kalksilikatgneis, granatführendem Zweiglimmer-Paragneis und granatführendem Zweiglimmer-Gneis.

Das Rohmaterial wurde im Zuge der Analyse der *TransGeo AG* gewaschen und getrocknet. Anschließend wurden die Gesteinsstücke mittlerer Größe (ca. 20 bis 50 mm) auf die entsprechenden Fraktionen für die Schichtsilikatbestimmung herunter gebrochen. Feinanteile kleiner 4 mm wurden bei der Analyse nicht verwendet. Die für die Analyse verwendeten Gesteinskörnungen wurden ebenfalls gewaschen und anschließend getrocknet. Die notwendigen Sandfraktionen für die Schichtsilikatbestimmung mittels Auszählverfahren der AlpTransit Gotthard AG (Tochtergesellschaft der Schweizerischen Bundesbahnen) wurden aus dem Material ausgesiebt.

Die Glimmerbestimmung an der *TU Graz* erfolgte mittels Röntgendiffraktometeranalyse. Diese semiquantitative Analyse wurde aufgrund von Vergleichen von charakteristischen Röntgenreflexionsintensitäten mit Eichaufnahmen durchgeführt. Ein direkter Vergleich zum Auszählverfahren AlpTransit ist jedoch nicht möglich. An den Proben aus aufbereitetem Material wurde der Glimmergehalt in den Fraktionen 0-0,25 mm und 0,25 – 0,5 mm, die vom Institut für Bodenmechanik und Grundbau bei

der Herstellung der Sieblinie gewonnen wurden, bestimmt. Ebenfalls wurden von Proben aus Rohmaterial die Fraktionen 0-0,25 mm und 0,25 – 0,5 mm am Institut für Geowissenschaften durch eine Trockensiebung abgetrennt.



Abbildung 4-9: Haufen der Gesteinsproben

Untersuchungsergebnisse

In Tabelle 4-23, Tabelle 4-24, Tabelle 4-25 und Tabelle 4-26 sind die Ergebnisse des Schichtsilikatgehaltes im Rohmaterial und in der Gesteinskörnung gegenüber gestellt. Die farbigen Zellen stellen den größeren Vergleichswert dar.

Es ist zu erkennen, dass die Bestimmung des Schichtsilikatanteiles mittels Röntgendiffraktometeranalyse an der Gesteinskörnung zu geringeren Werten als am Rohmaterial führt. Die Ergebnisse mittels Auszählung zeigen, dass der Großteil der Vergleichswerte nach der Aufbereitung höher ist. Der Richtwert des Schichtsilikatanteiles für die maßgebende Sand-Fraktion 0,25-0,5 mm beträgt 40 Zahl-% für das Rohmaterial und 35 Zahl-% für den aufbereiteten Sand. Der Richtwert des Rohsandes liegt deshalb höher, da die Nass-Sandaufbereitung in der Regel zu einer leichten Glimmerreduktion führt. Im Aufbereitungsversuch der TransGeo AG wurde keine Nasssiebung durchgeführt, weshalb keine Glimmerreduktion stattfinden konnte. In den Feinstfraktionen kleiner 0,25 mm werden die Glimmeranteile zum Teil überdurchschnittlich angereichert. Auch die restlichen Fraktionen weisen eine ersichtliche Anreicherung der Glimmergehalte auf.

Tabelle 4-23: TransGeo AG – Freie Schichtsilikate im Rohmaterial

Versuche TransGeo AG	Freie Schichtsilikate (Biotit und Hellglimmer) je Korngruppe [Zahl-%]				
	0,063-0,125 [mm]	0,125-0,25 [mm]	0,25-0,5 [mm]	0,5-1 [mm]	1-4 [mm]
Granat- und glimmerführender Kalksilikatgneis	16,9	20,5	18,5	2,6	0,0
Granatführender Zweiglimmer-Paragneis	20,8	28,8	18,2	3,6	0,0
Granatführender Zweiglimmer-Gneis	30,7	29,6	23,5	14,7	0,8

Tabelle 4-24: TransGeo AG - Freie Schichtsilikate in der Gesteinskörnung

Versuche TransGeo AG	Freie Schichtsilikate (Biotit und Hellglimmer) je Korngruppe [Zahl-%]				
	0,063-0,125 [mm]	0,125-0,25 [mm]	0,25-0,5 [mm]	0,5-1 [mm]	1-4 [mm]
Gesteinsart der Probe					
Granat- und glimmerführender Kalksilikatgneis	25,2	32,1	21,9	5,0	0,0
Granatführender Zweiglimmer-Paragneis	43,5	38,5	27,5	5,0	0,0
Granatführender Zweiglimmer-Gneis	44,0	28,7	26,9	12,5	1,5

Tabelle 4-25: TU Graz - Freie Schichtsilikate im Rohmaterial

Versuche TU Graz	Freie Schichtsilikate (Biotit und Hellglimmer) je Korngruppe [Volums-%]	
	0-0,25 [mm]	0,25-0,5 [mm]
Gesteinsart der Probe		
Granat- und glimmerführender Kalksilikatgneis	38,0	31,0
Granatführender Zweiglimmer-Paragneis	50,0	49,0
Granatführender Zweiglimmer-Gneis	37,0	28,0

Tabelle 4-26: TU Graz - Freie Schichtsilikate in der Gesteinskörnung

Versuche TU Graz	Freie Schichtsilikate (Biotit und Hellglimmer) je Korngruppe [Volums-%]	
	0-0,25 [mm]	0,25-0,5 [mm]
Gesteinsart der Probe		
Granat- und glimmerführender Kalksilikatgneis	33,0	27,5
Granatführender Zweiglimmer-Paragneis	35,0	35,0
Granatführender Zweiglimmer-Gneis	31,0	14,0

Weiteres wurde von der TransGeo AG die prozentuale Verteilung der Schichtsilikate untersucht. Es geht hervor, dass die Schichtsilikate im Roh- und aufbereiteten Material im Bereich kleiner 0,5 mm mehrheitlich aus Hellglimmer bestehen. Der Hellglimmer tendiert dazu, dünnere Mineralaggregate als der Biotit zu bilden. Die Hellglimmer-Mineralerale setzen sich aus einzelnen Plättchen zusammen, die bereits bei gerin-

ger Beanspruchung zur Aufspaltung führen können. Die Plättchen der Biotit-Mineralen weisen eine bessere Haftung untereinander auf und spalten sich daher weniger leicht. Der Hellglimmer bildet eine größere Kornoberfläche als der Biotit, was sich insbesondere auf einen erhöhten Wasseranspruch im Frischbeton auswirkt.

Eine weitere Analyse ist der Gesamtmineralbestand von Glimmer sowie der einzelnen Glimmerarten Muskovit und Biotit in den verschiedenen Gesteinsarten; durchgeführt an der TU Graz, Institut für Angewandte Geowissenschaften. Diese Daten stammen aus den Jahren 1999 bis 2010 und wurden im kristallinen und neogenen Abschnitt erhoben. Bei dieser Art von Untersuchung wird ein Teil der Probe bis zur Röntgenfeinheit gemahlen und auf einen Träger gepresst. Die qualitative und semi-quantitative Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale erfolgte mittels Röntgendiffraktometeranalyse. Die semiquantitativen Bestimmungen erfolgten aufgrund von Vergleichen charakteristischer Röntgenreflexintensitäten mit Eichaufnahmen.

Bei der Beurteilung des Glimmeranteiles im Kristallin (Tabelle 4-27) ist ein Maximum beim Feinkorngneis, gefolgt von Glimmerschiefer, Schiefergneis und Störungsgesteine zu erkennen. Der Muskovitanteil im Kristallin (Tabelle 4-28) ist im Glimmerschiefer und Schiefergneis auffallend. Der Biotitanteil im Kristallin (Tabelle 4-29) ist wiederum im Störungsgestein am höchsten und weist einen ähnlich hohen Anteil im Glimmerschiefer, Schiefergneis und Amphibolit auf. Im Neogen hat der Muskovit (Tabelle 4-30) im Schluff- und Tonstein seinen höchsten Anteil (Ernst Basler & Partner AG, 2006; Technische Universität Graz, 2006).

Tabelle 4-27: TU Graz – Gesamtmineralbestand Glimmer im Kristallin

Kristallin - Glimmer	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Glimmerschiefer – Schiefergneis	34	31	72
Amphibolit	19	3	47
Feinkorngneis	18	19	80
Grobkorngneis	11	27	52
Marmor	12	3	35
Störungsgestein	66	3	70

Tabelle 4-28: TU Graz – Gesamtmineralbestand Muskovit im Kristallin

Kristallin - Muskovit	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Glimmerschiefer – Schiefergneis	16	2	71
Amphibolit	7	3	27
Feinkorngneis	4	13	44
Grobkorngneis	1		16
Marmor	2	11	17
Störungsgestein	2	3	58

Tabelle 4-29: TU Graz - Gesamtmineralbestand Biotit im Kristallin

Kristallin - Biotit	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Glimmerschiefer – Schiefergneis	14	7	46
Amphibolit	11	11	47
Feinkorngneis	4	2	19
Grobkorngneis	1		12
Marmor	2	9	24
Störungsgestein	2	2	54

Tabelle 4-30: TU Graz - Gesamtmineralbestand Muskovit im Neogen

Neogen - Muskovit	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Sand	19	9	41
Kies	17	1	30
Sandstein	12	8	58
Schluff-/Tonstein	85	20	67
Störungsgestein	17	21	52

4.5.1.2 Ton

Ton bezeichnet teilentwässerte, plastische Feinklastite; Tonstein besteht aus ausgetrockneten und verfestigten Feinklastiten. Gemeineteile der Tone und Tonsteine können Quarze, Feldspäte und Glimmer, Reste von kalkigen Organismen und organischer Substanz sowie feinstkörnige, nur röntgenographisch zu erfassende Tonminerale sein. Tonminerale sind überwiegend Neubildungen, die erst bei der Sedimentation entstanden sind (Schumann, 2009).

Zu Erkundungszeiten der Koralpe wurden einige Schluffsteinproben entnommen und es erfolgten u.a. röntgendiffraktometrische Analysen hinsichtlich des qualitativen und quantitativen Tonmineralbestandes (< 2 µm). Mineralogische, tonmineralogische und chemische Analysen wurden am Institut für Technische Geologie und Angewandte Mineralogie bzw. Angewandte Geowissenschaften, TU Graz, durchgeführt.

Neogener Abschnitt des Bauloses KAT 2

Im neogenen Abschnitt wurden in den Jahren 2000 bis 2010 fünf Proben aus Sandstein, 63 Proben aus Schluff-/Tonstein und 17 Proben aus Störungsgestein analysiert. Folgender Tonmineralbestand in der Fraktion < 2 µm konnte festgestellt werden (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a).

Tabelle 4-31: Tonmineralbestand Sandstein

Sandstein (5 Proben)		Tonmineralbestand	
		Maximum [%]	Minimum [%]
Mineralverteilung Fraktion < 2 µm	Muskovit	56	21
	Chlorit	15	8
	Smektit	55	4
	Kaolinit	35	12
	Vermiculit	7	
	Quarz	2	

Tabelle 4-32: Tonmineralbestand Schluff-/Tonstein

Schluff-/Tonstein (63 Proben)		Tonmineralbestand	
		Maximum [%]	Minimum [%]
Mineralverteilung Fraktion < 2 µm	Muskovit	68	6
	Chlorit	15	2
	Smektit	70	8
	Kaolinit	48	5
	Mixed Layer	5	
	Quarz	6	2
	Kalzit	2	

Tabelle 4-33: Tonmineralbestand Störungsgestein

Störungsgestein (17 Proben)		Tonmineralbestand	
		Maximum [%]	Minimum [%]
Mineralverteilung Fraktion < 2 µm	Muskovit	39	8
	Chlorit	17	1
	Smektit	85	15
	Kaolinit	38	7
	Kalzit	1	
	Dolomit	2	

Kristalliner Abschnitt des Bauloses KAT 2

Im kristallinen Abschnitt des Bauloses KAT 2 wurden in den Jahren 1999 bis 2010 74 Proben im Störungsgestein entnommen und analysiert.

Die Ergebnisse der Tonmineraluntersuchungen im Gesamtmineralbestand stellen Smektitgehalte von bis zu 13 % dar. Daraus ergeben sich Hinweise auf ein erhöhtes Quellpotenzial. Die feinkörnigen Materialien der Kataklasite in den Störungen können teilweise hohe Anteile von quellfähigen Tonmineralen enthalten, die zu quellendem Gebirge führen können. Aufgrund hoher Kompetenz und Verspannung des umgebenden Gebirges ist allerdings nur von lokalen Quellerscheinungen im beschränkten Ausmaß auszugehen (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b).

Tabelle 4-34: Tonmineralbestand Störungsgestein

Störungsgestein (74 Proben)		Tonmineralbestand	
		Minimum [%]	Maximum [%]
Mineralverteilung Fraktion < 2 µm	Muskovit	2	92
	Chlorit	2	50
	Smektit	3	99
	Kaolinit	2	72
	Vermiculit	4	32
	Mixed Layer	11	14
	Quarz	1	8
	Talk	4	5

4.5.1.3 Quarzsand

Die TransGeo AG war im Jahr 2006 damit beauftragt, die Petrographiebeschreibung der Proben, an denen auch der Schichtsilikatgehalt (siehe Kapitel 4.5.1.1) bestimmt wurde, durchzuführen. Die TransGeo AG bestimmte die Quarz- und Karbonatkörner oder genauer gesagt die mono- oder polymikten Komponenten aus Quarz- und Karbonatkörnern mit Schichtsilikatgehalten kleiner 10%. Zur Analyse des Quarzgehaltes in den Kornfraktionen des Sandes (0,063 bis 2 mm) führte ich mit den Ergebnissen

der TransGeo AG die folgenden Auswertungen durch. Die TransGeo untersuchte die Korngruppe 0,5 bis 1 mm und 1 bis 4 mm. Da Korngruppen größer 2 mm nicht mehr als Sand zu verstehen sind, habe ich die Gruppe 1 bis 4 mm bei meiner Gegenüberstellung außer Acht gelassen.

Die Maximalwerte je Gesteinsart sind grau hinterlegt. Den höchsten Anteil an Quarz- und Karbonatkörner findet man im Rohmaterial in der Korngruppe 0,063 bis 0,125 mm und bei aufbereitetem Material in der Korngruppe 0,125 bis 0,25 mm.

Tabelle 4-35: Anteil Quarzkörner im Rohmaterial

Rohmaterial	Quarz und Karbonatkörner [Stück-%]			
	0,063-0,125 [mm]	0,125-0,25 [mm]	0,25-0,5 [mm]	0,5-1 [mm]
Gesteinsart				
Granat- und glimmerführender Kalksilikatgneis	67,4	61,2	52,4	35,6
Granatführender Zweiglimmer-Paragneis	57,5	48,0	21,1	9,6
Granatführender Zweiglimmer-Gneis	59,5	50,8	45,7	41,1

Tabelle 4-36: Anteil Quarzkörner im aufbereiteten Material

Aufbereitetes Material	Quarz und Karbonatkörner [Stück-%]			
	0,063-0,125 [mm]	0,125-0,25 [mm]	0,25-0,5 [mm]	0,5-1 [mm]
Gesteinsart				
Granat- und glimmerführender Kalksilikatgneis	60,6	50,9	44,1	34,8
Granatführender Zweiglimmer-Paragneis	43,4	43,7	37,0	25,1
Granatführender Zweiglimmer-Gneis	50,2	59,6	53,7	37,8

4.5.1.4 Quarz

In den Jahren 1999 bis 2010 erfolgte die Auswertung des Gesamtmineralbestandes mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Beschreibung siehe Gesamtmineralbestand, Kapitel 4.5.1.1) von Quarz im neogenen und kristallinen Bereich. Das Ergebnis zeigt, dass der Quarzgehalt im Feinkorngneis gefolgt von Störungsgesteinen am höchsten ist. Ebenso weist Kies im neogenen Abschnitt einen sehr hohen Quarzanteil auf. Im neogenen Sand wurde der zweithöchste Quarzgehalt festgestellt.

Tabelle 4-37: Gesamtmineralbestand Quarz im Kristallin

Kristallin - Quarz	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Glimmerschiefer – Schiefergneis	34	5	43
Amphibolit	14	1	24
Feinkorngneis	18	3	65
Grobkorngneis	11	14	49
Marmor	8	1	21
Störungsgestein	65	2	58

Tabelle 4-38: Gesamtmineralbestand Quarz im Neogen

Neogen - Quarz	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Sand	19	29	74
Kies	17	45	87
Sandstein	12	11	63
Schluff-/Tonstein	85	7	52
Störungsgestein	17	4	33

4.5.1.5 Lithium

Das Lithiumvorkommen in der Koralpe gilt mit rund 18 Millionen Tonnen Erz mit durchschnittlich 1,6 Prozent Lithiumoxid (Li_2O) als eines der größten in Europa. Im Bereich der Weinebene kommen Pegmatite vor, welche das lithiumhaltige Silikat Spodumen führen. Spodumen zählt zu den wichtigsten Lithiummineralien. Mitte der 1980er-Jahre wurde dort an einem Versuchsbergbau gearbeitet, im Zuge dessen 64 Kernbohrungen mit einer Gesamtlänge von 16 Kilometern durchgeführt, 35 Schürfgärten errichtet und Stollen mit einer Länge von 1,4 km gegraben wurden. Damals wollte man Lithium zum Einsatz in der Forschung der Kernfusion gewinnen. 1988 wurden jedoch die Arbeiten zufolge der prognostizierten hohen Aufbereitungskosten eingestellt. Ein wirtschaftlicher Abbau des Vorkommens wäre bis in das 21. Jahrhundert nicht möglich gewesen. Bis ins Jahr 1991 hatte die Republik für die staatliche Industrieholding ÖIAG in die Erschließung eines der größten Lithiumvorkommen in Europa über hundert Millionen Schilling investiert, wonach die Abbaustätte vom Staat für eine Münze an die private Kärntner Montanindustrie (KMI) übertragen wurde.

Das weiche Alkalimetall Lithium wird derzeit in erster Linie in Chile, Argentinien, den USA und China exploriert (vorwiegend in Salzlagerstätten und Solen). Das in Sydney börsennotierte australische Explorations- und Bergbauunternehmen East Coast Minerals NL hat 2011 von der Kärntner Montanindustrie die Schürfrechte am Lithiumvorkommen der Koralpe um 10,25 Millionen Euro erworben. Das Unternehmen be-

schreibt das Abbaugelände als pegmatitführend, in dem 3,7 Millionen Tonnen Erz mit 1,5 Prozent Lithiumoxid gemessen wurden. Weiteres werden 3,2 Millionen Tonnen Erz mit einem Lithiumoxidgehalt von 1,5 Prozent sowie 10 Millionen Tonnen Erz mit einem Gehalt von 1,6 Prozent erwartet. Zukünftige Untersuchungen sollen auf weitere 8 bis 12 Millionen Tonnen Erz mit 1,5 bis 2 Prozent Lithiumoxid stoßen.

Das Unternehmen East Coast Minerals NL beschreibt die Lithologie des zukünftigen Abbaugeländes wie folgt:

- Amphibolitführende Pegmatite mit Lithiumoxidgehalten bis 3,15%
- Glimmerführende Pegmatite mit Lithiumoxidgehalten bis 1,95%

(Eastcoastminerals)

Im Baulos KAT 2 spielt der Gehalt an Lithium für eine etwaige Aufbereitung keine Rolle, da Lithium nur höchst untergeordnet in Mineralien von Pegmatiten vorkommen kann. Da die zukünftige Abbaustätte von Lithium im Massiv der Koralpe liegt, hat es Relevanz, dass größere Vorkommen dieses Leichtmetalls entlang der Trasse des Koralmtunnels ausgeschlossen werden können.

Lithiumcarbonat Li_2CO_3 ist die wichtigste Ausgangsverbindung, die in den Lagerstätten gefördert wird und aus der die anderen Lithiumsalze und -verbindungen hergestellt werden. Folgender Prozess führt zur Lithiumcarbonatgewinnung aus Mineralien: Das Lithiumerz – meist Spodumen – wird calciniert und aufgeschlossen, z. B. mit Schwefelsäure. Es folgen weitere Zwischenschritte, wonach das Lithium durch eine Behandlung mit Soda in Lithiumcarbonat übergeführt wird. Das Lithiumcarbonat kommt in den Handel und wird eventuell zu anderen Salzen weiter verarbeitet. (Klein, 2003) Auf Details in der Aufbereitung wird hier zufolge der Komplexität verzichtet.

4.5.1.6 Braunkohle

In der Steiermark befinden sich teilweise große Ablagerungen des Jungtertiärs, die wegen ihrer Braunkohle an Bedeutung gewinnen. Ab dem Jahr 1826 wurde in St. Stefan (Gemeinde Wolfsberg) Braunkohle abgebaut. Noch im Jahr 1962 wurden im Lavanttal jährlich 822 000 Tonnen Braunkohle gefördert. Im Jahr 1968 wurde der Abbau nach einem Grubenunglück mit fünf Toten bis zum heutigen Tag eingestellt. Generell gab es in der Steiermark im Jahr 1950 34 Braunkohleabbaustätten, hingegen war es 2000 nur mehr eine Abbaustätte. (Ebner, 2008). Die weststeirischen Braunkohlevorkommen hatten in der gesamtösterreichischen Kohlenproduktion für die Wirtschaft eine herausragende Stellung. Im Jahr 1955 wurden hier insgesamt etwa drei Millionen Tonnen Braunkohle gewonnen. Bis zum Jahr 2006 wurde Braunkohle zur Erzeugung von Strom eingesetzt (GKB-Bergbau GmbH).

Kohle entsteht aus Ansammlungen von Pflanzenmassen, die durch Wasserabschluss nicht verfaulen konnten, sondern inkohlt werden. Der Prozess einer Inkohlung kommt unter relativer Kohlenstoffzunahme infolge Sauerstoffverarmung zu Stande. Das zuvor entstandene Torfmoor wurde durch mineralische Schichten

(Sand, Schlamm etc.) überlagert und somit von der Luft abgeschlossen. In der Braunkohle sind Pflanzenreste nur mehr in Teilen zu erkennen. Dieses braunschwarz, matt glänzende Material hat eine Dichte von 0,9 bis 1 to/m³ und zerfällt leicht. In Braunkohleflözen ist der Inkohlungsprozess noch nicht abgeschlossen. Das bedeutet, dass sich bestimmte Flöze noch im Zustand der Kohlensäuregärung befinden und sich dort das Gas Kohlendioxyd bildet. Das in der Braunkohle eingeschlossene Kohlendioxyd wandelt sich durch den hohen Feuchtigkeitsgehalt der Kohle in Kohlensäure um (Schumann, 2009).

Innerhalb des Bauloses KAT 2 wurden im Zuge der Erkundung 2002 bis 2003 sowie im Jahr 2008 Wasserproben zur Abklärung des Wasserchemismus entnommen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die aus dem Miozän stammenden Wasserproben zwischen nicht betonangreifend und sehr stark betonangreifend sind. Die Betonaggressivität der Wässer ist generell auf den erhöhten Gehalt an überschüssiger Kohlensäure zurückzuführen (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b). Im Rahmen der Erkundungsarbeiten wurden ebenfalls Gasmessungen durchgeführt. Im neogenen Bereich, wo vereinzelt Kohleschmitzen bzw. eine Kohlelage entdeckt wurden, konnten keine Methangaszutritte festgestellt werden (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a).

4.5.1.7 Pyrit

Pyrit (FeS₂) ist ein schwefelhaltiges Mineral. Schwefel wird zur Herstellung von Schwefelsäure verwendet, die u.a. in der chemischen und pharmazeutischen Industrie als auch in der Kautschuk- und Papierindustrie eingesetzt wird (Schumann, 2009).

Die oxidative Verwitterung von Pyrit kann zu einer erheblichen Eisenfreisetzung führen. Unter der Einwirkung von Wasser und Sauerstoff oxidiert bzw. rostet das Eisen. Das Gestein verfärbt sich dadurch rötlich, bräunlich oder gelblich und die ursprüngliche Mineralstruktur wird zerstört. (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a). Ein möglicher Betonangriff zufolge Sulfats ist in Erwägung zu ziehen. Im Zuge der mineralogischen Untersuchungen sind insbesondere in Plattengneisen, Amphiboliten, Eklogitamphiboliten, Eklogiten und Hornblendegneisen nennenswerte Gehalte an Pyrit (Eisensulfid) ermittelt worden.

In den Jahren 1999 bis 2010 erfolgte die Auswertung des Gesamtmineralbestandes mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Beschreibung siehe Gesamtmineralbestand, Kapitel 4.5.1.1) von Pyrit im neogenen und kristallinen Bereich. Das Ergebnis zeigt, dass der Pyritgehalt in Störungsgesteinen gefolgt von Amphibolit am höchsten ist. Ebenso weist Schluff-/Tonstein im neogenen Abschnitt einen sehr hohen Pyritgehalt auf. Im neogenen Sandstein wurde der zweithöchste Pyritgehalt festgestellt.

Tabelle 4-39: Gesamtmineralbestand Pyrit im Kristallin

Kristallin - Pyrit	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Gesteinsart			
Glimmerschiefer – Schiefergneis	4	1	3
Amphibolit	1	7	
Feinkorngneis	6	1	4
Grobkorngneis	5	1	5
Marmor	4	1	4
Störungsgestein	29	1	9

Tabelle 4-40: Gesamtmineralbestand Pyrit im Neogen

Neogen - Pyrit	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Gesteinsart			
Sand	4	1	1
Kies	9	1	2
Sandstein	3	2	5
Schluff-/Tonstein	21	1	9
Störungsgestein	3	1	3

4.5.1.8 Marmor

Der Begriff Marmor hat mehrere Bedeutungen. Der „echte“, kristalline Marmor ist in der petrologischen Wissenschaft ein calcitischer Metamorphit. Marmor wird aber gelegentlich auch als Oberbegriff für Kalk- und Dolomitmarmor verstanden. In der Bauwirtschaft, im Handel und im Volksmund wird wiederum jeder feste, polierfähige Kalkstein als Marmor bezeichnet. All diese Gruppen haben als Besonderheit das Marmorierte, eine Zeichnung der Oberfläche (Schumann, 2009).

Marmor ist kaum verunreinigter Kalk, der durch Metalloxide eine gelbe, rote oder braune Maserung, durch Chlorit eine Grünliche Maserung und durch Bitumen, Kohle oder Graphit eine schwarz-graue Maserung erhält. Er besteht aus Calcit, Dolomit und Aragonit. Weitere Bestandteile können Glimmer, Phengit, Phlogophit oder Graphit sein (Helmchen, et al.).

In den Jahren 1999 bis 2010 erfolgte am Koralmtunnel Baulos KAT 2 die Auswertung des Gesamtmineralbestandes im Marmor mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Beschreibung siehe Gesamtmineralbestand, Kapitel 4.5.1.1). Das Ergebnis zeigt, dass die Maximalwerte der Einzelminerale im Dolomit gefolgt von Kalzit auftreten.

Tabelle 4-41: Gesamtmineralbestand Marmor im Kristallin

Marmor – Kristallin	Gesamtmineralbestand		
	Anzahl Proben	Minimum [%]	Maximum [%]
Quarz	8	1	21
Glimmer	12	3	35
Chlorit	2		1
Plagioklas	7	2	14
Kalifeldspat	6	2	11
Kalzit	11	4	91
Dolomit	9	1	100
Pyrit	4	1	4
Epidot	1		6
Hornblende	9	4	23

bei 3 Proben wurde Glimmer differenziert in:

Muskovit	2	11	17
Biotit	2	9	24

4.5.2 Auswirkungen der Rohstoffe in der Gesteinskörnung auf Beton

Im Ausbruchmaterial des Bauloses KAT 2 werden laut geologischen Vorerkundungen Gesteinsfolgen mit bedeutsamen Glimmer- und Pyritgehalten auftreten. Mineralogische Auswertungen zeigten ein vereinzelt Auftreten von Glimmergehalten bis zu 80 % in Feinkorngneisen und Pyritgehalten bis zu 5 % in Störungsgesteinen. Durch bisher durchgeführte Brech- und Betonversuche mit Ausbruchmaterial aus Glimmerschiefer/Schiefergneis wurde jedoch eine Eignung zur Aufbereitung für Gesteinskörnungen bestätigt. Im Anhang A sind die Auswirkungen der genannten Mineralien auf die Eigenschaften des Betons beschrieben. (TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, 2012)

4.6 Fazit zum Stofffluss und den Verwertungsmöglichkeiten im kontinuierlichen Vortrieb

In der Planungsphase wurden, basierend auf geologischen Vorerkundungen und dem Bedarf an aufbereitungsfähigem Material für den Einsatz im Koralmtunnel und auf der freien Strecke der Koralmbahn, Massenbilanzen und Verwertungskriterien erstellt. Es wurden Materialklassen definiert sowie die Anforderungen an die Aufbereitung möglichst detailliert vorgegeben. Die Zuordnung des Ausbruchmaterials zu den Materialklassen im kontinuierlichen Vortrieb wurde im Zuge der bisherigen Bauausführung genau behandelt. Der Geologe kann das Gestein anhand von Vorausb Bohrungen petrographisch beschreiben und somit eine grundsätzliche Eignung definieren. Jedoch kann erst durch genauere chemische und technische Untersuchungen die tatsächliche Verwertungseignung aufgezeigt werden.

Da in der Ausschreibung des Bauloses KAT 2 die Lage der Aufbereitungsanlage im Bereich der Baustelleneinrichtungsfläche und nicht wie nun im Aufbau an Deponie Hollenegg 4 angrenzend vorgesehen war, mussten in relativ kurzer Zeit umfangreiche Umplanungen der Materiallogistik durchgeführt werden.

Um eine Stoffflussanalyse von Tunnelausbruchmaterial durchführen zu können, bedarf es den Informationen über die Eingangsparameter und die zu erwartenden Ausgangsparameter. Die Eingangsparameter in Form der Ausbruchkubatur unterteilt in Materialklassen sind geschätzte Werte aus der Planungsphase. Hingegen sind die Ausgangsparameter in Form von benötigten Massen an Gesteinskörnungen, Drainagekies, Frostkoffer etc. berechnete Werte, die jedoch zufolge des geologieabhängigen Einsatzes der Innenschale und von hochfestem Tübbingbeton variieren können. Somit sind in der vorausschauenden Stoffflussanalyse sehr viele Unsicherheiten enthalten. Diesen Unsicherheiten kann durch ein frühzeitiges Anlegen einer Materialreserve der Klasse MK1 sowie durch ein ausreichend großes Deponievermögen in Baustellennähe entgegengewirkt werden.

Um den Rohstoff Tunnelausbruchmaterial in verschiedenen Industriebranchen einsetzen zu können, muss das wirtschaftliche Interesse der Industrie geweckt werden. Ein Anreiz kann nur dann bestehen, wenn einerseits der Rohstoff eine dementsprechende Qualität aufweist und andererseits für das Industrieunternehmen keine Mehrkosten sondern Minderkosten entstehen. Es sollte bereits in der Planungsphase Absprachen und Vereinbarungen mit Industriepartnern zur Abnahme von Ausbruchmaterial gemacht werden, und auch der Fall von Nichteintreffen der erwarteten Materialqualität geregelt sein. Am Baulos KAT 2 wurde bis dato kein konkreter Einsatz von Ausbruchmaterial in der Industrie realisiert.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind die Stoffflussanalyse des bereits abgeschlossenen zyklischen Vortriebes, eine Entscheidungsmatrix für den kontinuierlichen Vortrieb und die darauf basierende Stoffflussanalyse im kontinuierlichen Vortrieb des Bauloses KAT 2 des Koralmtunnels.

Die Stoffflussanalyse im zyklischen Vortrieb wurde mit dem festen Ausbruchmaterial als Input und den deponierten bzw. verwerteten lockeren Ausbruchmassen als Output unter Anwendung der Software STAN durchgeführt. Im zyklischen Vortrieb waren die Förderwege und die Zielorte des Ausbruchmaterials weitaus weniger komplex als sie es im bereits im Jänner 2013 gestarteten kontinuierlichen Vortrieb sein werden.

Die Förderung des Ausbruchmaterials im kontinuierlichen Vortrieb erfolgt derzeit ausschliesslich über einen Bauschacht nach Obertage und wird zukünftig durch die Fördermöglichkeit in der Südröhre des Bauloses KAT 1 zum Ostportal erweitert werden. Die Entscheidungsmatrix für den kontinuierlichen Vortrieb ist ein Hilfsinstrument, das Entscheidungskriterien und Entscheidungspunkte mit rechtlichem, abfallchemischem, technischem oder logistischem Hintergrund frühzeitig erkennen lässt.

Die Stoffflussanalyse im kontinuierlichen Vortrieb wurde durch die Eingabe der verschiedensten Fördermöglichkeiten unter Berücksichtigung der Entscheidungskriterien mit der Software STAN durchgeführt. Es wurden drei Szenarien gewählt: Stoffflussanalyse einer Woche, eines Monats und der Gesamtbauzeit bis Ende des kontinuierlichen Vortriebes. Zukünftig können durch regelmäßige Wochen- und Monatsanalysen Vergleiche und Prognosen erstellt werden.

Zusammenfassend folgen aus den Erläuterungen dieser Arbeit abgeleitete Empfehlungen für Tunnelbauten mit dem Ziel einer maximalen Wiederverwendung von Ausbruchmaterial.

Die effiziente Durchführung der Materialbewirtschaftung und Materiallogistik eines Tunnelbauprojektes hängt maßgeblich von einer in der Ausschreibungsphase stattgefundenen vorausschauenden Planung ab. In dieser Planungsphase sollen möglichst umfangreiche Vorauserkundungen zur Gebirgscharakteristik im Bereich der Trasse, geologische und petrographische Eigenschaften möglichst vollständig feststellen. Zur Vermeidung bzw. Minimierung von Fehleinschätzungen der Beschaffenheit des Ausbruchmaterials und einer daraus resultierenden nicht zufriedenstellenden Aufbereitung während der Bauausführung, sollten Brech- und Aufbereitungsversuche bereits im Zeitraum der Vorauserkundungen stattfinden.

Die Ergebnisse fließen in ein zu erstellendes Materialbewirtschaftungskonzept ein und sind Richtwerte in der Ausführungsplanung. Das Materialbewirtschaftungskonzept sollte auf Basis der zuvor genannten Punkte eine Unterteilung in Materialklassen treffen. Die Definition der Anforderungen an die Materialklassen und deren Zuordnung zu den Tunnelabschnitten, ist auf eine möglichst hochwertige Verwertung auszulegen. Im Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 sind Grenzwerte für die Verwer-

tion von Tunnelausbruchmaterial als Recyclingbaustoff angegeben. Bei Nichteinhaltung der Grenzwerte ist das Tunnelausbruchmaterial nicht aufbereitungsfähig und einer Deponierung zuzuführen. Dahingehend muss - trotz sorgfältiger Planung - auf unvorhergesehene Materialparameterabweichungen wegen geogen bedingter Verunreinigungen im Gebirge jederzeit geachtet werden.

In der Planungsphase sollte weiters festgelegt werden, wie die Materialklassen am Ort des Vortriebs festzustellen sind. Die Zuordnung des Ausbruchmaterials zu einer Materialklasse hat bereits an der Ortsbrust zu erfolgen, da der darauf folgende Förderweg von der Materialklasse abhängt. Am Koralmtunnel Baulos KAT 2 sind im Zeitraum der täglichen Wartungsschicht der Tunnelvortriebsmaschine Vorausbohrungen direkt hinter dem Bohrkopf bzw. im Schildbereich durchzuführen, um geologische Verhältnisse genauer bestimmen zu können. Ebenso wird die abfallchemische Analyse von gezielt gewählten Parametern vor Ort durchgeführt. Durch diese Baustellenuntersuchungen ist eine rasche Lenkung des Materialstroms möglich. Demzufolge kann die Auffüllung der Zwischenlagerflächen niedrig gehalten werden.

Die Qualität des Tunnelausbruchmaterials ist von der Art des Vortriebes abhängig. Im zyklischen Vortrieb kann es durch Sprengmittelrückstände zu einem Eintrag von Nitrit, Nitrat und Ammonium in das Ausbruchmaterial kommen. Durch eine kontrollierte Anwendung von Sprengstoffen, verbunden mit abfallchemischen Untersuchungen, können die Sprengmittelrückstände verringert werden. Im zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb können Spritzbetonrückstände im Ausbruchmaterial eine Erhöhung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit verursachen. Die Spritzbetonrückstände können durch eine rückprallminimierende Arbeitsweise gering gehalten werden, was auch die Wichtigkeit von erfahrenen Ausführenden verdeutlicht.

Der Maschineneinsatz kann zum Eintrag von Ölen, Fetten und Treibstoffen in das Ausbruchmaterial führen. Die Reduzierung anthropogener Verunreinigungen im Ausbruchmaterial kann durch dezidierte Bewusstmachung bei den vor Ort Tätigen erreicht werden. Der Eintrag von Schadstoffen hängt auch von der Arbeitsweise und der Menge des eingesetzten Baustoffes ab. Durch eine regelmäßige Wartung und sofortige Reparatur von Maschinen kann der Verlust von Betriebsmitteln vermieden werden.

Bei der hochwertigen Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial zu Gesteinskörnungen für Beton sind ein möglichst hohes Größtkorn, ein geringer Feinanteil und eine runde Kornform anzustreben. Alle drei Kriterien sind durch einen Vortrieb mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) jedoch nur schwer zu erreichen, weshalb eine spezielle Aufbereitung erforderlich ist. Brechversuche, die vor Beginn des kontinuierlichen Vortriebs stattfinden, können die grundsätzliche Eignung des Materials nachweisen, jedoch entspricht die Kornform und Korngröße nicht jener des TBM-Ausbruchmaterials.

Anhand bisheriger Erfahrungen bei der erfolgreich durchgeführten Aufbereitung von Ausbruchmaterial (z. B. Gotthard-Basis-Tunnel, Schweiz) können zukünftige Tunnel-

projekte profitieren und Techniken weiterentwickeln. Dieser Erfahrungsaustausch ist nur möglich, wenn das Wissen ausreichend detailliert weitergereicht wird. Es stellt sich jedoch die Frage, weshalb bzw. wodurch Unternehmen ihr Wissen zur Verfügung stellen würden? Wissen über die Aufbereitung könnte in Form von Regelblättern oder Arbeitsanweisungen schnell Verbreitung finden und eine hohe Qualität in der Ausführung ermöglichen. Die Ausarbeitung einer Norm würde den erarbeiteten Stand der Technik „bindender“ festhalten und durch Mitarbeit verschiedener Experten auch eine klare sowie praktische Umsetzung der Rechtsgrundlagen aufzeigen.

Abschließend ist damit auf die Gesetzeslage in Österreich zur Thematik „Deponierung und Verwertung von Tunnelausbruchmaterial“ hinzuweisen. In der Deponieverordnung (2008) wird die grundlegende Charakterisierung von Tunnelausbruchmaterial vorgegeben. Demnach ist es ausreichend alle 600 m je Tunnelröhre eine Vollanalyse einer Probe durchzuführen. Am Baulos KAT 2 werden alle 20 bis 25 m Proben entnommen, um die Ausbruchsabschnitte enger abzugrenzen. Im Falle einer Grenzwertüberschreitung muss damit mengenmäßig weniger nachträglich, abfallchemisch untersucht werden. Bei einer Verwertung des Ausbruchmaterials ist eine Analyse gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan (2011) erforderlich. Am Baulos KAT 2 ist die grundlegende Charakterisierung nach Deponieverordnung für das gesamte Ausbruchmaterial geplant. Weiters ist vorgesehen, vorgeseihtes Material sowie Aufbereitungsrückstände in Form von Schlamm zusätzlich grundlegend zu charakterisieren, um der Gesetzeslage gerecht zu werden.

Vorstellbar ist, dass bei angestrebter Verwertung zuerst eine Beprobung nach Bundesabfallwirtschaftsplan (2011) durchgeführt wird. Nur wenn diese Grenzwerte nicht eingehalten werden, wird eine Deponierung - mit entsprechender Beprobung nach Deponieverordnung - nötig.

Darüber hinaus zwingt das Altlastensanierungsgesetz (1989) den Bauherrn zu der Abgabe eines Altlastenbeitrages, wenn Tunnelausbruchmaterial zur Verwertung länger als drei Jahre zwischenlagert wird.

Ein Tunnelbauprojekt in Österreich ist somit an einige Gesetze gebunden. Die Deponieverordnung 2013 wird Änderungen betreffend Tunnelausbruchmaterial mit sich bringen. Da sie derzeit (Stand Februar 2013) noch nicht veröffentlicht ist, können keine Inhalte wiedergegeben werden.

Tunnelausbruchmaterial sollte in Zukunft nicht als Abfall gemäß Abfallwirtschaftsgesetz (2002) definiert sein, denn aus technischer Sicht ist Tunnelausbruchmaterial laut Resch (2012) als Primärrohstoff zu betrachten. Dessen Eigenschaften, Besonderheiten und Verwendungsmöglichkeiten wurden in dieser Masterarbeit ausführlich beschrieben.

„Wissen ist der einzige Rohstoff,
der sich bei Gebrauch vermehrt.“

(Reller, 2012)

Anhang A

A.1 Gesteinskörnungen für die Betonherstellung

Die folgenden Daten und Fakten sind – wenn nicht anders angegeben – aus Resch (2012).

A.1.1 Allgemeines

Der Beton ist ein Zweiphasensystem mit der Unterscheidung zwischen Frischbeton mit den Phasen Zementleim und Gesteinskörnung sowie Festbeton mit den Phasen Zementstein und Gesteinskörnung. Die Gesteinskörnung ist mit ca. 70 Vol.-% neben Wasser, Zement und eventuellen Zusatzmitteln und -stoffen der Hauptbestandteil des Betons. Zusatzmittel können z. B. Betonverflüssiger, Fließmittel, Luftporenbildner, Erhärtungsbeschleuniger, Dichtungsmittel, Stabilisierer oder Verzögerer sein. Die Gesteinskörnung ist mit einer meist wesentlich höheren Druckfestigkeit als die des herzustellenden Betons der tragende Apparat im Beton. Wesentliche Betoneigenschaften wie z. B. E-Modul, Zugbruchdehnung, Temperaturdehnzahl, Beton-Rohdichte oder Verarbeitbarkeit sind wiederum von der Gesteinskörnung abhängig. In Tabelle A-1 sind einige Eigenschaften verschiedener Gesteinsarten aufgelistet.

Die Anforderungen an Gesteinskörnungen für die Betonherstellung werden in Österreich in folgenden Normen und Richtlinien festgelegt:

- ÖNORM EN 12620 (2008): Gesteinskörnungen für Beton
- ÖNORM B 3131 (2010): Gesteinskörnungen für Beton - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620
- ÖNORM B 4710-1 (2007): Beton - Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton)

Als weitere Richtlinien für Tunnelbeton können auch die

- ÖBV-Richtlinie Innenschalenbeton (2012), die
- ÖBV-Richtlinie Spritzbeton (2009) sowie die
- ÖBV-Richtlinie Tübbingsysteme aus Beton (2009)

herangezogen werden. ÖBV steht für Österreichische Bautechnik Vereinigung (ehemals ÖVBB – Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik).

Tabelle A-1: Eigenschaften von Gesteinen (Neroth, et al., 2011)

Gesteinsart	Rohdichte ρ_R t/m ³	Dichte ρ kg/dm ³	Wasseraufnahme M.-%	Druckfestigkeit des trockenen Gesteins N/mm ²	E-Modul ¹⁾ kN/mm ²
Erstarrungsgesteine					
Granit	2,60-2,65	2,62-2,85	0,2-0,5	160-240	38-76
Diorit, Gabbro	2,80-3,00	2,85-3,05	0,2-0,4	170-300	50-60
Quarzporphyr	2,55-2,80	2,58-2,83	0,2-0,7	180-300	25-65
Basalt	2,90-3,05	3,00-3,15	0,1-0,3	250-440	96 ($\rho_R = 3,05$)
Schichtgesteine (Prüfung rechtwinklig zur Schichtung)					
<i>Kieselige Gesteine</i>					
Quarzit, Grauwacke	2,60-2,65	2,64-2,68	0,2-0,5	150-300	60 ($\rho_R = 2,63$)
quarzitischer Sandstein	2,60-2,65	2,64-2,68	0,2-0,5	120-200	10-20
sonstiger Sandstein	2,00-2,65	2,64-2,72	0,2-9,0	30-180	2-15
<i>Kalksteine</i>					
dichte Kalke	2,65-2,85	2,70-2,90	0,1-0,6	80-180	82 ($\rho_R = 2,69$)
sonstige Kalkgesteine	1,70-2,60	2,70-2,74	0,2-10	20-90	-
Metamorphe Gesteine					
Gneise, Granulit	2,65-3,00	2,67-3,05	0,1-0,6	160-280	10-30
Amphibolit	2,70-3,10	2,75-3,15	0,1-0,4	170-280	-
Serpentin	2,50-2,90	2,62-2,78	0,1-0,7	140-250	-

1) Gesteinskörnungen mit hohem E-Modul behindern das Schwinden des Zementsteines besonders stark.

A.1.2 Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen

In der ÖNORM EN 12620 (2008) ist die Druckfestigkeit der Gesteinskörnung nicht definiert. Stattdessen wird das Prüfverfahren zur Druckfestigkeit in einer separaten Norm, der ÖNORM EN 1926 (2007), beschrieben (Resch, 2012). Beim einachsialen Druckversuch wird eine Zylinderprobe in Achsrichtung belastet, wobei die Verschiebungs- bzw. Dehnungszuwächse mit zunehmender Last aufgezeichnet werden (Schubert, 2007).

Es gilt, dass Gesteinskörnungen aus ausgebrochenem Festgestein mit einer Druckfestigkeit von mind. 100 N/mm² als ausreichend fest angenommen werden können. Eine generelle Empfehlung besagt, dass die Druckfestigkeit der Gesteinskörnung mindestens den doppelten Wert der Druckfestigkeit des Betons betragen soll. Thalmann (1996) gibt folgende Empfehlungen für eine minimale Gesteinsfestigkeit (bei anisotropen Gesteinen parallel zur Struktur):

- 60 N/mm² für Beton der Festigkeitsklasse C 20/25
- 75 N/mm² für Beton der Festigkeitsklasse C 30/37

Bei der Verwendung von Gesteinen mit einer geringen Druckfestigkeit besteht das Risiko des Nachbrechens während des Transportes bzw. des Mischens. In diesem Fall ist eine Anpassung der Sieblinie durchaus sinnvoll.

Eine Abschätzung der Druckfestigkeit ist bei spröden und festen Gesteinen in vielen Fällen auch mithilfe des Punktlastversuches möglich. Laut Schubert kann dieser Versuch sowohl an Proben, die man aus Kernbohrungen erhalten hat, als auch an unregelmäßigen Gesteinsproben durchgeführt werden. Die Probe wird zwischen zwei Konussen bis zum Bruch belastet. Das Ergebnis wird als Punktlastindex I_S , der indirekt die Zugfestigkeit beschreibt, angegeben. Der Punktlastindex ist der Quotient aus der Bruchlast P und dem Quadrat des Probendurchmessers D . Aus diesem Index kann über einen Umrechnungsfaktor wieder die einachsiale Druckfestigkeit bestimmt werden. Obwohl der Punktlastversuch aufgrund der Einfachheit auch auf der Baustelle mit beliebig förmigen Probekörpern durchgeführt werden kann, ist der Einfluss der Probekörperform auf das Ergebnis nicht zu unterschätzen. Thalmann (1996) entwickelte für die Anwendung dieses Versuches bei TBM-Chips einen eigenen Korrekturfaktor. Der Punktlastindex wurde bei den Schweizer Projekten AlpTransit Lötschberg und Gotthard zu einem Entscheidungskriterium für die Verwendung des Ausbruchmaterials als Gesteinskörnung für die Betonherstellung. Die folgenden Grenzwerte für die Verwendung wurden dabei festgelegt:

- I_{S50} parallel: $\geq 2,5$ N/mm²
- I_{S50} normal: $\geq 3,5$ N/mm²

I_{S50} ist der auf den Probendurchmesser von 50 mm reduzierte Punktlastindex. Grundsätzlich ist der Punktlastindex von der Probekörperfläche bzw. der entstandenen Bruchfläche abhängig. Um die Vergleichbarkeit der Resultate nicht zu beeinträchtigen, sollten alle Ergebnisse der Einzeltests auf eine Standard-Fläche bezogen werden. Als Bezugsfläche wurde international die Fläche A mit 2 500 mm² (Durchmesser 50 mm) gewählt. Um verlässliche Ergebnisse zu erzielen, dürfte man nur Probekörper mit einer Fläche von 2 500 mm² testen, was in der Praxis jedoch schwer durchführbar ist (Thuro).

A.1.3 E-Modul von Gesteinskörnungen

Ein hoher E-Modul der Gesteinskörnung verringert das Kriechen und Schwinden des Betons und beeinflusst somit den E-Modul des Betons maßgeblich. In ÖNORM EN 12620 ist keine Definition des E-Moduls von Gesteinskörnungen angegeben. In Tabelle A-1 ist eine Bandbreite des E-Moduls von verschiedenen Gesteinsarten angeführt. Der E-Modul der Gesteinskörnung sollte im Falle einer Verwendung für die Betonproduktion einen Wert von mindestens 30 000 N/mm² annehmen.

A.1.4 Kornrohddichte

Die Kornrohddichte stellt einen wesentlichen Parameter in der Betonzusammensetzung dar, weshalb ein Gesteinswechsel während des Tunnelausbruchs bei der Berechnung der Betonrezeptur nie unbeachtet bleiben darf. In Tabelle A-1 sind ebenso die Kornrohddichten unterschiedlicher Gesteine angegeben.

A.1.5 Kornzusammensetzung

Die Korngrößenverteilung wird in Form von Sieblinien dargestellt, wobei die Gesteinskörnung mithilfe von Sieben in Korngruppen unterteilt und der jeweilige Rückstand im Sieb abgewogen wird. Die als Sieblinie bezeichnete Summenlinie wird mit dem kumulierten Siebdurchgang (%) und der dazugehörigen Siebweite (mm) gebildet (ÖNORM EN 933-1, 2012). Die Siebung kann über Maschensiebe mit 0,063 bis 2 mm oder mit Quadratlochsieben mit 4 bis 62,5 mm erfolgen. Die Korngruppen werden mit der unteren (d) und oberen (D) Siebgröße (z. B. 4/8) bezeichnet. In Abhängigkeit vom Größtkorn (GK) dürfen in den Korngruppen auch Anteile an Überkorn (> D) und Unterkorn (< d), deren maximale Werte mittels Kategorisierung in der ÖNORM EN 12620 angegeben sind, enthalten sein. Grobe Gesteinskörnungen zwischen $D \geq 4$ mm und $d \geq 2$ mm werden der Kategorie G_CXX/XX , feine Gesteinskörnungen der Kategorie G_FXX und Korngemische der Kategorie G_AXX zugeordnet.

Der erforderliche Bindemittelgehalt sowie der Wasseranspruch der Gesteinskörnung stehen in Zusammenhang mit der Korngröße und der Kornverteilung. In Tabelle A-2 ist der Zusammenhang zwischen der Sieblinie und der Kornoberfläche angeführt. Bei einem Größtkorn von 22 mm hat ein Kilogramm eines Korngemisches mit einem hohen Feinanteil eine fast fünf Mal so große Oberfläche wie bei einem Korngemisch mit einem geringen Feinanteil. Die Oberfläche und somit der Bindemittelgehalt fallen mit zunehmendem Korndurchmesser ab. Dabei gelten folgende Bezeichnungen (Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H):

- Sieblinie A: Die feinen Körner reichen als „Schlupfkörner“ gerade aus, um die Kornzwischenräume der großen Körner auszufüllen.
- Sieblinie B: Hier liegt der optimale Bereich für dichtes Gefüge.
- Sieblinie C: Ein hoher Feinanteil führt zu einem hohen Zementleimanspruch

Tabelle A-2: Abhängigkeit der Kornoberfläche von der Sieblinie (Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H)

Sieblinie	Kornoberfläche
A22	1,0 m ²
B22	2,5 m ²
C22	4,5 m ²

Der Wasserbedarf steigt bei einer Verringerung des Größtkorns und einer Erhöhung der Feinanteile an. Die Verknüpfung von Wasseranspruch und Bindemittelverbrauch erfolgt über den W/B-Wert, der sich aus dem wirksamen Wassergehalt (W) und dem anrechenbaren Bindemittelgehalt (B) zusammensetzt. Der wirksame Wassergehalt berechnet sich aus dem Zugabewasser, dem Oberflächenwasser der Gesteinskörnung und den Zusatzmitteln abzüglich der Kernfeuchte. Die Kernfeuchte ist die im Korn der Gesteinskörnung enthaltene Wassermenge, die von einer bis zur Massekonstanz getrockneten Gesteinskörnung nach 30-minütiger Wasserlagerung aufgenommen werden kann. Die Wasseraufnahme der Gesteinskörnung wird auch wesentlich von der Porosität des Gesteins beeinflusst. Da die Gesteinsfestigkeit wiederum von der Porosität abhängt, kann die Wasseraufnahme auch als Indikator für die Gesteinsfestigkeit herangezogen werden.

Wie bereits erwähnt, hängen der Bindemittel- bzw. der Zementgehalt von der Korngröße ab. Bei Tunnelausbruchmaterial eines TBM-Vortriebs fallen größere Mengen an Feinanteilen an, aber nur ein geringer Anteil an groben Gesteinskörnungen. Besteht das Ziel den Eigenbedarf auf der Baustelle mit ausgebrochenem Material zu decken, kann es notwendig sein, das Größtkorn einzelner Betonsorten zu verringern. Der Mehrbedarf an Bindemittel im Vergleich zum Mindestbindemittelgehalt von Betonsorten mit GK 22 kann anhand der Tabelle A-3 abgeschätzt werden. In der ÖNORM B 4710-1 (2007), Tabelle NAD 10, ist der anrechenbare Mindestbindemittelgehalt in kg/m³ von Betonsorten mit GK 22 angegeben.

Tabelle A-3: Korrektur des anrechenbaren Mindestbindemittelgehalt (ÖNORM B 4710-1, 2007)

Korrektur anrechenbarer Mindestbindemittelgehalt (GK 22 = 100%)				
GK 32	GK 16	GK 11	GK 8	GK 4
- 5%	+ 5%	+ 10%	+ 15%	+ 25%

Neben der Kornform spielt auch die Kornoberfläche der Gesteinskörnung eine große Rolle. Tunnelausbruchmaterial setzt sich zu 100 % aus gebrochenen Körnern zusammen. Die Oberfläche eines gebrochenen Kornes ist zu mehr als 50 % gebrochen und ist größer als jene eines runden Kornes. Hier ist wieder der Zusammenhang zum Wasseranspruch und zum erforderlichen Bindemittelgehalt erkennbar. Bei gebrochenen, nicht kubischen Gesteinskörnern sind der Hohlraumgehalt und der Wasserbe-

darf hoch sowie die Verarbeitbarkeit und Verdichtbarkeit erschwert. Um bei Betonen mit gebrochenen Gesteinskörnern die gleiche Konsistenz wie bei Betonen mit runden Gesteinskörnern erzielen zu können, ist entweder die Zugabe von Fließmitteln oder eine Erhöhung des Zementanteiles essentiell (Resch, 2012). Bei der Verwendung von Brechkorn verglichen mit Rundkorn bei der Betonherstellung sind jedoch auch positive Aspekte des Brechkorns festzustellen (Leemann, et al., 1999):

- Erhöhung der Betondruckfestigkeit
- Niedrigerer E-Modul bei der Verwendung von kristallinem Gestein und daraus folgende verminderte Rissneigung

A.1.6 Gehalt an Feinteilen (Abschlämmbares)

Jene Bestandteile der Gesteinskörnung, die einen Durchmesser kleiner als 0,063 mm aufweisen, werden Feinteile (Abschlämmbares) genannt. Die Feinteile werden mittels Nasssiebung gemäß ÖNORM EN 933-1 (2012) bestimmt. Der Anteil an Feinteilen ist ein weiterer Parameter, der den Wasseranspruch der Gesteinskörnung aber auch die Frostbeständigkeit beeinflusst. Feinteile, die an der Oberfläche von Körnern haften, verhindern einen vollständigen Verbund zwischen Zementstein und dem einzelnen Korn und vermindern so die Betonfestigkeit. Wenn die Feinteile gleichmäßig verteilt sind, können sie zu einem dichteren Gefüge der Gesteinskörnung beitragen.

Neben dem Feinteilgehalt gibt es auch einen Anteil an Mehlkorn, der alle Feinkörner im Beton kleiner als 0,125 mm erfasst. Somit zählen zum Mehlkorn neben Gesteinskörnern auch Körner aus Zement und Zusatzstoffen (ÖNORM B 4710-1, 2007). Ein zu hoher Mehlkornanteil führt zu einem erhöhten Wasser- und Zementbedarf, zu einem erhöhten Schwind- und Kriechmaß sowie zu einer Verminderung des Frost- und Tauwiderstandes (Neroth, et al., 2011). Im Falle eines zu geringen Mehlkorngehaltes kann ein Entmischen bzw. ein Bluten des Betons eintreten (ÖNORM B 4710-1, 2007).

A.1.7 Widerstand gegen Zertrümmerung

Der Widerstand gegen Zertrümmerung kann gemäß ÖNORM EN 1097-2 (2010) mit dem *Los-Angeles-Test (LA-Test)* bestimmt werden. Beim LA-Test werden 5 kg einer Gesteinskörnung (10 bis 14 mm) in einer Prüftrommel mit elf Stahlkugeln (500 Umdrehungen) abgerieben und schlagbeansprucht. Nach der Versuchsdurchführung erfolgt die Bestimmung des Siebrückstandes der Probe auf einem 1,6 mm Analysesieb. Der Los-Angeles-Wert (LA-Wert) berechnet sich aus der Formel:

$$LA = (5000 - m) / 50$$

Formel A-1

m ... Siebrückstand der Probe auf einem 1,6 mm Analysesieb

Zufolge der Abhängigkeit des Widerstandes gegen Zertrümmerung von der Gesteinsfestigkeit kann der LA-Wert als auch Parameter für diese heran gezogen werden. Ein LA-Wert von z. B. 25 bedeutet, dass 25 % der geprüften Gesteinskörnung nach dem

Versuch einen Durchmesser kleiner als 1,6 mm haben. Das Testergebnis wird von der Art der Aufbereitung beeinflusst und es wird empfohlen, die zu untersuchende Korngruppe aus der zu untersuchenden Gesteinskörnung auszusieben. Bei Versuchen mit gebrochener Gesteinskörnung konnte festgestellt werden, dass eine Aufbereitung mit Backenbrecher und Kegelmühle zu größeren LA-Werten führt als eine Aufbereitung mit Backenbrecher und Prallmühle. Im Vergleich unterschiedlicher Gesteinsarten zeigt Kalkglimmerschiefer am wenigsten Widerstand gegen Zertrümmerung, gefolgt von Granitgneis, Augengneis, Amphibolit, Dolomit und Plagioklas (Feldspat). Da Straßen aus Asphalt oder Beton Dauerbelastungen ausgesetzt sind, wird der LA-Test vorwiegend in diesem Bereich angewandt. Grundsätzlich eignet sich der Test für die Beschreibung der Gesteinhärte. Um das Nachbrechen der Gesteinskörnung während des Mischens bzw. des Materialtransportes beschreiben zu können, kann ein modifizierter LA-Test, ohne Zugabe der Stahlkugeln, durchgeführt werden (Resch, 2012).

Eine weitere Methode den Widerstand gegen Zertrümmerung zu untersuchen ist die Anwendung des *LCPC-Tests* nach NF P18-579 (1990). Der LCPC-Test, der in Frankreich entwickelt wurde, dient zur Beschreibung der Brechbarkeit als auch der Abrasivität. Beim Test werden 500 g der Korngruppe 4/6,3 mm in einem zylindrischen Behälter durch einen sich drehenden Metallflügel fünf Minuten beansprucht. Der Brechbarkeitsindex ist laut Thalmann (1996) wie der LA-Wert von der Kornform und der Aufbereitungsart abhängig. Resch (2012) konnte beim Vergleich zwischen Versuchsergebnissen des LA- und LCPC-Tests eine Korrelation erkennen. Der LCPC-Test eignet sich zufolge der erforderlichen, vergleichsweise zum LA-Test, geringen Probemenge zum Einsatz in einem Baustellenlabor. Zur Bestimmung der Abrasivität wird die Abnutzung des Metallflügels während der Versuchsdurchführung untersucht. Mit der festgestellten Abrasivität kann das Verschleißpotential einer Gesteinskörnung an Werkzeugen, wie z. B. Bohreinrichtungen, Brecher, beschrieben werden und in die Kalkulation einfließen.

Das Verschleißpotential von Festgestein kann alternativ mit dem *Cercharversuch* gemäß NF P94-430-1 (2000) festgestellt werden. Pro Versuch werden der Reihe nach fünf Prüfstifte aus Stahl über eine raue Gesteinsoberfläche bei konstanter Auflast 10 mm gezogen und anschließend deren Abnutzungen analysiert. Der Cerchar-Abrasivitätsindex (CAI) wird als Ergebnis festgehalten, wobei eine Stiftabnutzung von 0,1 mm einem CAI von 1 entspricht. Festgesteine und Lockergesteine können einem bestimmten CAI zugeordnet werden (Thuro, 2010):

- Schwach abrasiv (0,5 – 1,0 CAI): Sandstein (feinkörnig, schwach tonig gebunden), Kalkstein (rein) und Marmor (rein) etc.
- Abrasiv (1,0 – 2,0 CAI): Sandstein (fest), Kalkstein (sandig) und Marmor (quarzhaltig) etc.
- Stark abrasiv (2,0 – 4,0 CAI): Sandstein (kieselig gebunden), Basalt, Phyllit, Glimmerschiefer etc.

- Extrem abrasiv (4,0 – 6,0 CAI): Quarz, Granit, Eklogit etc.

A.1.8 Frost-Tau-Widerstand

Der Frost-Tau-Widerstand wird an der groben Gesteinskörnung (4 bis 63 mm) mittels Dosenfrostversuch nach ÖNORM EN 1367-1 (2007) und an der feinen Gesteinskörnung (≤ 4 mm) mittels Bestimmung der Oberflächenabwitterung nach ÖNORM 23303 (2010) untersucht. Die grobe Gesteinskörnung wird durch einen mehrmaligen Gefrier- und Auftauvorgang belastet, wonach die dadurch abgeplatzen Körner mittels Siebung bestimmt werden. Gesteinskörnungen von Beton, der Umweltbelastungen ausgesetzt ist, müssen die Grenze der Kategorie F2 (Masselverlust ≤ 2 %) einhalten. Bei feinen Gesteinskörnungen wird die Frostbeständigkeit anhand der Oberflächenabwitterung an einem genormten Betonwürfel analysiert. Die Aufbereitung der Gesteinskörnung beeinflusst den Frost-Tauwiderstand. So kann z. B. die Zerkleinerung der Gesteinskörnung mittels Backenbrecher zu feinen Abrissen in den gebrochenen Körnern führen, wodurch die Frostbeständigkeit herabgesetzt wird. Der Frost-Tauwiderstand ist im Tunnelbau üblicherweise nur bei Betonen im Portalbereich von Bedeutung.

A.1.9 Alkali-Kieselsäure-Reaktivität

Die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) ist ein Reaktionstyp der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR), bei der Bestandteile der Gesteinskörnung mit amorpher und teilkristalliner Kieselsäure mit der alkalischen Porenlösung des Zementsteins im Beton reagieren. Die Bestimmung der AKR erfolgt nach ÖNORM B 3100 (2008). Laut Dressler & Heinz (2010) werden die Alkali- und Hydroxyl-Ionen in der Porenlösung des Betons bei der Reaktion mit Kieselsäure gebunden. Die Beweglichkeit der Ionen spielt für die Reaktionsgeschwindigkeit eine große Rolle, weshalb eine Verdichtung des Zementsteins durch einen verringerten W/B-Wert eine Verlangsamung der Prozesse im Beton und somit eine verminderte AKR auslösen kann. Resch (2012) beschreibt, dass die AKR durch die Verwendung von Zumahlstoffen im Zement und dem Einsatz von alkaliarmen Zusatzmitteln verringert werden kann.

Aus der AKR resultieren Dehnungen im Beton, die bei Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons zu Betonschäden wie Ausplatzungen, Rissen und Ausblühungen an der Oberfläche führen können.

Im Gegensatz zu Teilen Deutschlands und der Schweiz haben aufbereitete Gesteinskörnungen aus österreichischen Abbaugebieten bis heute keine schadensauslösenden Alkali-Kieselsäure-Reaktionen im Beton verursacht.

A.1.10 Wasserlösliches Chlorid

Um einen Schutz der Bewehrung vor Korrosion zu gewährleisten, muss der Chloridgehalt der Gesteinskörnungen $\leq 0,01$ M-% sein (chloridfrei). Erfahrungswerte besagen, dass die Einhaltung dieser Grenze bei Gesteinskörnungen aus binnenländi-

schen Vorkommen üblicherweise gegeben ist. Die Untersuchung des Chloridgehaltes wird in ÖNORM EN 1744-1 (2010) festgehalten.

A.1.11 Säurelösliches Sulfat

Zur Schadensvermeidung des Betons soll der Anteil an säurelöslichen Sulfaten (Alkalisulfate, Gips oder Anhydrit) die Grenze von 0,8 M-% nicht überschreiten. Bei einem höheren Sulfatgehalt kommt es zu Treiberscheinungen, die im erhärteten Beton unter Volumenzunahme ablaufen. Die Bestimmung des säurelöslichen Sulfates erfolgt ebenso gemäß ÖNORM EN 1744-1 (2010).

A.2 Auswirkungen der Rohstoffe in der Gesteinskörnung auf Beton

A.2.1 Glimmer

Die Inhalte aus diesem Kapitel sind – wenn nicht anders angegeben – aus Resch (2012). Der schichtenförmige Aufbau des Glimmers und die damit verbundene leichte Trennung der Schichtenebenen führen zu einer Verminderung der Druck- und Scherfestigkeit des Gesteins. Diese Tatsache ist bei der Aufbereitung als auch beim Transport von glimmerhaltigen Gesteinskörnungen zu berücksichtigen, da ein hoher Anteil an glimmerreichen Abrieb, der an feuchten Grobkörnungen haften bleibt, entsteht. Durch das Anhaften der Glimmerteile an den Körnern mit größerer Oberfläche kann der Verbund zwischen Zementstein und den Körnern negativ beeinflusst werden. Die reduzierte Verbundwirkung kann auch die Biegezugfestigkeit sowie die Wasserdichtheit des Betons beeinträchtigen. Die Schichtsilikate verursachen auch eine Zunahme von Kapillarporen im Beton, wodurch ebenso die Wasserleitfähigkeit des Betons erhöht wird. Ein zusätzliches Waschen von glimmerhaltiger Gesteinskörnung kurz vor dem Betonmischen bewirkt, dass die Feinteile an der Kornoberfläche entfernt werden.

In den Hohlräumen von trockenen Gesteinskörnungen lagert sich Wasser ein, welches für den Erhärtungsprozess (Hydratation) des Betons nicht mehr verfügbar ist. Zwischen den Schichtflächen des Glimmers kann besonders viel Wasser eingelagert werden, was bei der Verwendung von einer trockenen glimmerhaltigen Gesteinskörnung dazu führt, dass ein Teil des Zugabewassers von der Gesteinskörnung aufgenommen wird. Demzufolge muss für die zu erreichende Betonqualität der W/B-Wert (siehe Kapitel A.1) erhöht werden.

Von Beginn des kontinuierlichen Vortriebs am KAT 2 bis zu einem Fortschritt von rund acht Kilometern werden Glimmerschiefer/Schiefergneisfolgen und somit ein hoher Anteil an Schichtsilikaten im Gestein erwartet. Jedoch wird davon ausgegangen, dass rund 90 % vom Ausbruch in diesem Abschnitt zu Gesteinskörnung aufbereitet werden können. Laut Material-Sachverständigen des AGs am Baulos KAT 2 ist eine Betonherstellung mit bis zu 30 % Glimmergehalt möglich. Wie bereits in Kapitel 4.1.3.1 erwähnt, wird die Glimmerbestimmung mit dem Formtrenntisch (Abbildung A-1) durchgeführt. Das zu untersuchende Material im empfohlenen Sieblinienbereich von 0,125 bis 0,250 mm wird auf einen geneigten und vibrierenden Tisch aufgebracht. Die Neigung des schwingenden Tisches bewirkt, dass blättchenförmige Glimmerminerale nach rechts in einen Sammelbehälter wandern, während sich die kugeligen Minerale nach unten in einen weiteren Behälter bewegen. Der Glimmeranteil wird abschließend gewogen und in Massen-% des Mineralgemisches angegeben.

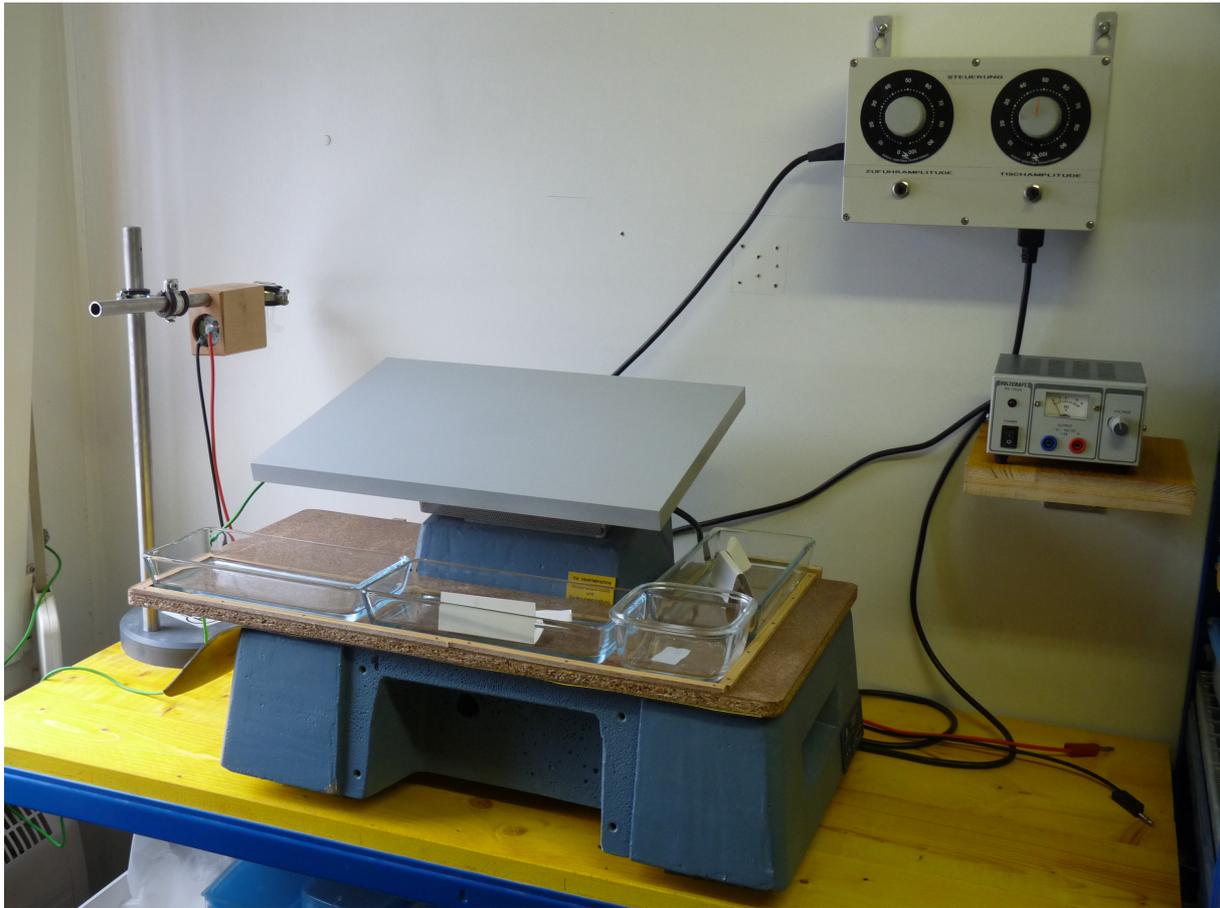


Abbildung A-1: Formtrenntisch zur Glimmerbestimmung (ÖBB Infrastruktur AG)

Bei Feststellung eines erhöhten Glimmergehaltes muss die Betonrezeptur entsprechend angepasst bzw. die Entscheidung zur Aufbereitung neu überdacht werden. Es ist nicht geplant eine „Entglimmerungsanlage“, wie sie zum Beispiel am Gotthard-Basis-Tunnel im Baulos Sedrun zum Einsatz kam, zu verwenden. Diese Anlage wurde der eigentlichen Aufbereitung vorgeschaltet und konnte den Glimmeranteil um mind. 50 % reduzieren (Resch, 2012).

A.2.2 Pyrit

Nach Pöyry Infra GmbH - Materialversuchsanstalt Strass (2012) spielt die Untersuchung von Pyrit in der Gesteinskörnung eine Rolle, da Pyrit in wenig dichtem Beton durch Zutritt von Luft und Feuchtigkeit zur Oxidation führt und infolgedessen Betonabplatzungen verursachen kann. Laut einer Stellungnahme zu den Brechversuchen und Untersuchungen an aufbereiteten Gesteinskörnungen aus dem Jahr 2012 des Material-Sachverständigen sind wegen der schwachen Wasserlöslichkeit von Pyrit und des erwarteten dichten Gefüges des Innenschalen- und Tübbingbetons betonschädliche Reaktionen nicht zu erwarten. Pyritgehalte bis zwei Prozent sind unbedenklich. Am KAT 2 ist in 14 von 234 Probenahmen und –analysen der Pyritgehalt größer als zwei Prozent, wovon der Grenzwert vorwiegend im Glimmerschiefer, Schiefergneis, Amphibolit, Eklogit, Hornblendegneis und Störungsgestein überschritten wird. (Pöyry Infra GmbH - Materialversuchsanstalt Strass, 2012)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Bodenaushubdeponie - Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) (Deponieverordnung, 2008)	16
Tabelle 2-2:	Inertabfalldeponie - Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) (Deponieverordnung, 2008)	17
Tabelle 2-3:	Bodenaushubdeponie - Grenzwerte für Gehalte im Eluat (Deponieverordnung, 2008)	18
Tabelle 2-4:	Inertabfalldeponie - Grenzwerte für Gehalte im Eluat (Deponieverordnung, 2008)	19
Tabelle 2-5:	Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)	24
Tabelle 2-6:	Grenzwerte für Gehalte im Eluat (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)	25
Tabelle 2-7:	Qualitätsklassen: Einsatzbereich für Recycling-Baustoffe (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)	28
Tabelle 2-8:	Qualitätsklassen – Grenzwerte für Recycling-Baustoffe (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)	29
Tabelle 2-9:	Qualitätsklassen – zusätzliche Grenzwerte für Recycling-Baustoffe (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011)	29
Tabelle 3-1:	Bauzeiten der zyklischen Vortriebe	40
Tabelle 3-2:	Daten zum SP- und TBM-Vortrieb	42
Tabelle 3-3:	Kapazitäten Deponie H1	48
Tabelle 3-4:	Kapazitäten Deponie H2	49
Tabelle 3-5:	Kapazitäten Deponie H4	50
Tabelle 3-6:	Kapazitäten Gesamt.....	51
Tabelle 3-7:	Daten der Deponien Hollenegg (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009d)	63
Tabelle 3-8:	Vorabanalyse Nordröhre Ostvortrieb, Station 520 m (Bauer, 2012b)	66
Tabelle 3-9:	Grenzwerte Nitrat (als N) und Nitrit (als N)	72
Tabelle 4-1:	Beurteilungskriterien nach AlpTransit Gotthard AG (Schippinger & Partner, Ernst Basler & Partner, 2007)	87
Tabelle 4-2:	Beurteilungskriterien für Erkundungsarbeiten 1998 – 2001 (Schippinger & Partner, Ernst Basler & Partner, 2007).....	88
Tabelle 4-3:	Eignung nach Lithologie (Schippinger & Partner, 2005)	88
Tabelle 4-4:	Zuordnung der Gesteine zu Materialklassen (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b).....	90
Tabelle 4-5:	Erkundungsziele und Erkundungsmethoden (ÖBB Infrastruktur AG, 2010h)	91

Tabelle 4-6:	Prüfverfahren mit Sand 0/3 (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010f)	94
Tabelle 4-7:	Prüfverfahren mit Korngruppen 3/8, 8/16 und 16/22 (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010f)	94
Tabelle 4-8:	Technische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012).....	103
Tabelle 4-9:	Abfallchemische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012).	103
Tabelle 4-10:	Chemische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)	105
Tabelle 4-11:	Mineralogische Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)...	106
Tabelle 4-12:	Gesamtsieblinie – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)	106
Tabelle 4-13:	Einhaltung der technischen Parameter – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)	107
Tabelle 4-14:	Zulässigkeit gemäß DepVO und BAWP – Bewertungsmatrix (Resch, 2012).....	107
Tabelle 4-15:	Grenzwerte gemäß DepVO und BAWP – Bewertungsmatrix (Resch, 2012).....	108
Tabelle 4-16:	Grenzwerte gemäß DepVO und BAWP – Bewertungsmatrix (Resch, 2012).....	109
Tabelle 4-17:	Grenzwert Säurelösliches Sulfat – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)	110
Tabelle 4-18:	Grenzwert Glimmergehalt – Bewertungsmatrix (Resch, 2012)....	110
Tabelle 4-19:	Input und Output - Stofffluss einer Woche	123
Tabelle 4-20:	Input und Output - Stofffluss eines Monats	124
Tabelle 4-21:	Input und Output - Stofffluss des gesamten kontinuierlichem Vortriebes	126
Tabelle 4-22:	Alternative Verwertungsmöglichkeiten	128
Tabelle 4-23:	TransGeo AG – Freie Schichtsilikate im Rohmaterial	131
Tabelle 4-24:	TransGeo AG - Freie Schichtsilikate in der Gesteinskörnung.....	132
Tabelle 4-25:	TU Graz - Freie Schichtsilikate im Rohmaterial	132
Tabelle 4-26:	TU Graz - Freie Schichtsilikate in der Gesteinskörnung	132
Tabelle 4-27:	TU Graz – Gesamtmineralbestand Glimmer im Kristallin	133
Tabelle 4-28:	TU Graz – Gesamtmineralbestand Muskovit im Kristallin.....	134
Tabelle 4-29:	TU Graz - Gesamtmineralbestand Biotit im Kristallin.....	134
Tabelle 4-30:	TU Graz - Gesamtmineralbestand Muskovit im Neogen.....	134
Tabelle 4-31:	Tonmineralbestand Sandstein	135
Tabelle 4-32:	Tonmineralbestand Schluff-/Tonstein	135
Tabelle 4-33:	Tonmineralbestand Störungsgestein	136
Tabelle 4-34:	Tonmineralbestand Störungsgestein	136
Tabelle 4-35:	Anteil Quarzkörner im Rohmaterial	137
Tabelle 4-36:	Anteil Quarzkörner im aufbereiteten Material.....	137
Tabelle 4-37:	Gesamtmineralbestand Quarz im Kristallin.....	138

Tabelle 4-38:	Gesamtmineralbestand Quarz im Neogen.....	138
Tabelle 4-39:	Gesamtmineralbestand Pyrit im Kristallin	141
Tabelle 4-40:	Gesamtmineralbestand Pyrit im Neogen	141
Tabelle 4-41:	Gesamtmineralbestand Marmor im Kristallin	142
Tabelle A-1:	Eigenschaften von Gesteinen (Neroth, et al., 2011)	II
Tabelle A-2:	Abhängigkeit der Kornoberfläche von der Sieblinie (Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H).....	V
Tabelle A-3:	Korrektur des anrechenbaren Mindestbindemittelgehalt (ÖNORM B 4710-1, 2007).....	V

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Randbedingungen der Verwendung von Tunnelausbruch (Resch, 2012).....	37
Abbildung 2-2:	Verwendungspotentiale verschiedener Festgesteinsgruppen (Resch, 2012).....	37
Abbildung 2-3:	Zusammenhang zwischen Vortriebsart und Korngruppe (Thalmann, 1996).....	38
Abbildung 3-1:	Schematische Darstellung des Bauloses KAT 2.....	41
Abbildung 3-2:	Geologie im Bereich Bauschacht Leibenfeld (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a).....	44
Abbildung 3-3:	Geologischer Längenschnitt des neogenen Abschnittes (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a).....	45
Abbildung 3-4:	Geologischer Längenschnitt des kristallinen Abschnittes (3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b).....	46
Abbildung 3-5:	Lageplan der Deponien Hollenegg (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009c).....	47
Abbildung 3-6:	Deponie Hollenegg 1 (ÖBB Infrastruktur AG).....	48
Abbildung 3-7:	Deponie Hollenegg 2 (ÖBB Infrastruktur AG).....	49
Abbildung 3-8:	Deponie Hollenegg 4 (ÖBB Infrastruktur AG).....	50
Abbildung 3-9:	Lageplan der Deponie Grub (ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010c) ..	50
Abbildung 3-10:	Dichtschicht aus neogenem Material - Deponie H2.....	52
Abbildung 3-11:	Filterschicht aus kristallinem Material - Deponie H2.....	52
Abbildung 3-12:	Steinsatz aus kristallinem Material (ÖBB Infrastruktur AG).....	53
Abbildung 3-13:	Recycling von Betonabbruch EKT-Leibenfeld (ÖBB Infrastruktur AG).....	53
Abbildung 3-14:	Stofffluss im zyklischen Vortrieb.....	57
Abbildung 3-15:	Erkundungstunnel Leibenfeld (Bauer, 2012a).....	61
Abbildung 3-16:	Probenahmevergung.....	62
Abbildung 3-17:	Haufwerk Probe - gering verfestigter Schluffstein im neogenen Abschnitt (sandig 0 – 2 mm, vereinzelt bis 50 mm) (Bauer, 2012a)	63
Abbildung 3-18:	Haufwerk Probe - kristallines Gestein (0 – 120 mm) (Bauer, 2012a)	64
Abbildung 3-19:	Brecher vor Ort zur Zerkleinerung der Proben.....	64
Abbildung 3-20:	Gebrochenes Probematerial.....	65
Abbildung 3-21:	Qualifizierte Stichproben.....	65
Abbildung 3-22:	Lagerung der Rückstellproben.....	65
Abbildung 3-23:	Merck-Spectroquant Nova 60 (Merck Millipore).....	67
Abbildung 3-24:	Horiba-Photometer OCMA 220 (Horiba).....	68

Abbildung 3-25: Magnetrührer IKA RH Basic 2 (IKA-Werke GmbH & Co. KG) und Kaffeefilter	68
Abbildung 3-26: Merck Thermoreaktor TR 200 (Merck Millipore)	69
Abbildung 3-27: Restfeuchtemessgerät Ohaus MB25 (Ohaus Europe GmbH)	69
Abbildung 3-28: Überkopfschüttler Heidolph (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG).....	70
Abbildung 3-29: Entscheidungsfluss der abfallchemischen Untersuchung im zyklischen Vortrieb am KAT 2	71
Abbildung 3-30: Gemessene Konzentrationen von Nitrat (als N).....	73
Abbildung 3-31: Gemessene Konzentrationen von Nitrit (als N).....	73
Abbildung 3-32: Sprengstoffeinsatz in der Nordröhre	74
Abbildung 3-33: Sprengstoffeinsatz in der Südröhre.....	74
Abbildung 3-34: Nitrat (als N) und Nitrit (als N) in g/Tonne Ausbruch.....	75
Abbildung 3-35: Nitrat (als N) und Nitrit (als N) in g/Tonne Ausbruch.....	76
Abbildung 3-36: Geladener Sprengstoff in der Kalotte (Tunnelabschnitt Nord-Ost, Neogen)	77
Abbildung 3-37: Ortsbrust nach der Sprengung (Tunnelabschnitt Nord-Ost, Neogen) 77	
Abbildung 3-38: Aussortierung von Spritzbetonresten im Ausbruchmaterial	80
Abbildung 3-39: Messergebnisse des pH-Wertes	80
Abbildung 3-40: Messergebnisse der elektrischen Leitfähigkeit	81
Abbildung 4-1: Förderbandlogistik im kontinuierlichen Vortrieb	86
Abbildung 4-2: Massenbilanz KAT 2 – Planungsphase (Schippinger, 2010).....	101
Abbildung 4-3: Analyse Sieblinie für Innenschalenbeton GK 22 – Bewertungsmatrix (Resch, 2012).....	110
Abbildung 4-6: Fließschema Probenahme im kontinuierlichen Vortrieb (Bauer et al., 2012)	116
Abbildung 4-7: Entscheidungsmatrix im kontinuierlichen Vortrieb	118
Abbildung 4-8: Stofffluss einer Woche – Kontinuierlicher Vortrieb.....	120
Abbildung 4-9: Stofffluss eines Monats– Kontinuierlicher Vortrieb.....	121
Abbildung 4-10: Stofffluss der Gesamtbauzeit – Kontinuierlicher Vortrieb.....	122
Abbildung 4-11: Haufen der Gesteinsproben	131
Abbildung A-1: Formtrenntisch zur Glimmerbestimmung (ÖBB Infrastruktur AG)...XI	

Literaturverzeichnis

3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009a. *Tunnel Neogen: Gutachten zur Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

3 G Gruppe Geotechnik Graz, BGG Consult, 2009b. *Tunnel Kristallin: Gutachten zur Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Abfallnachweisverordnung, 2003. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Nachweispflicht für Abfälle.* Zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 341/2012.

Abfallverzeichnisverordnung, 2008. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis.* Zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 498/2008.

ALSAG, 2011. *Altlastensanierungsgesetz 1989 BGBl. Nr. 299/1989.* Zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 15/2011.

ALSAG-Merkblatt 2012. Wien: Wirtschaftskammer Österreich - Geschäftsstelle Bau.

Altlastenatlasverordnung, 2012. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Ausweisung von Altlasten und deren Einstufung in Prioritätenklassen.* Zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 360/2012.

Annen, Konrad, 2004. *Einsatz von Emulsionssprengstoffen bei den sprengtechnischen Vortrieben in Faido und Bodio.* Pollegio: Consorzio TAT.

Arge ILF IGT 3G ÖBB Koralmtunnel, 2012. *Koralm-gesamt_MIN-Labor.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

AWG, 2012. *Abfallwirtschaftsgesetz 2002 BGBl. I Nr. 102/2002.* Zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 35/2012.

Bauer, Felix. 2011b. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - 2. Hauptprobe Nordröhre Westvortrieb.*

Bauer, Felix. 2011a. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - 2. Hauptprobe Südröhre Westvortrieb.*

Bauer, Felix. 2012d. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - 3. Hauptprobe Nordröhre Westvortrieb.*

Bauer, Felix. 2012b. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - Hauptprobe Nordröhre Ostvortrieb.*

Bauer, Felix. 2012e. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - Hauptprobe Südröhre Ostvortrieb.*

Bauer, Felix. 2012c. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - Hauptprobe Südröhre Westvortrieb.*

Bauer, Felix. 2012a. *Grundlegender Beurteilungsnachweis: Bauvorhaben Koralm-tunnel (KAT2) - Hauptprobe Südröhre Westvortrieb.*

Bauer, Felix, Nahold, Manfred und Schmitsberger, Peter. 2011. *Arbeitsanweisung zur Beprobung von Tunnelausbruchsmaterial zur Erstellung von Beurteilungsnachweisen nach Deponieverordnung 2008.*

Bauer, Felix, Nahold, Manfred, Schmitsberger, Peter und Unterbrunner. 2012. *Koralmtunnel Baulos KAT 2 - Untersuchungskonzept zur Charakterisierung von Tunnelausbruchsmaterial.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Bundesabfallwirtschaftsplan 2011. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Cencic, Kovacs. 2012. *STAN Stoffflussanalyse.* TU Wien: Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft.

Cicero, Marcus Tullius. [Online] 106-43 v.Chr.. [Zitat vom: 14. 03. 2013.] <http://www.gedichte-danke-sprueche.net/danke-zitate.html>

Deponieverordnung, 2008. 39. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien.* Zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 2/2008.

Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. [Online] [Zitat vom: 21. 08 2012.] <http://www.braunkohle-wissen.de/bwissen03.html>.

DIN EN 13286-47, 2004. *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes.* Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

DIN ISO 9245, 1995. *Erdbaumaschinen - Leistung der Maschinen - Begriffe, Formelzeichen und Einheiten.* Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Dressler, Anne und Heinz, Detlef. 2010. [Online] 2010. [Zitat vom: 21. 01 2013.] http://www.cbm.bv.tum.de/fileadmin/w00bdr/www/pdf/Kurzberichte/KB_17_AD_neu.pdf.

Eastcoastminerals. [Online] [Zitat vom: 12. 08. 2012] www.eastcoastminerals.com/lithium.asp.

Ebner, Fritz. 2008. *Die aktuelle Produktion mineralischer Rohstoffe in der Steiermark.* Leoben: Montanuniversität Leoben - Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre.

Entacher, Martin. 2010. *Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial: Rechtliche Grundlagen in Österreich, der Schweiz und Italien.* [Diplomarbeit]. Wien: Technische Universität Wien.

Entwurf der Deponieverordnung (2013). Änderung der DVO 2008, BGBl. II Nr. 39/2008, zuletzt geändert durch die Verordnung BGBl. II Nr. 455/2011.

Ernst Basler & Partner AG, 2006. *Koralmbasistunnel: Eignung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton.* Graz : ÖBB Infrastruktur AG.

Ernst Basler & Partner AG, BIG Büro für Ingenieurgeologie, 2006. *Materialbewirtschaftung GBT: Prüfplan Zuschlagstoffe aus Tunnelausbruchmaterial.* Bodio: AlpTransit Gotthard AG.

EU-Abfallrahmenrichtlinie, 2008. *Richtlinie 2008/98/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.*

Galler, Robert. 2012. *DRAGON - Development of Resource-efficient and Advanced underground technologies.* Leoben: Montanuniversität Leoben.

Girmscheid, Gerhard. 2008. *Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau.* Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

GKB-Bergbau GmbH. [Online] [Zitat vom: 20. 08. 2012] <http://www.gkb-bergbau.at/index.php/bergbaugeschichte/braunkohle-in-der-weststeiermark>.

Grübl, Peter, Weigler, Helmut und Karl, Sieghart. 2001. *Beton - Arten, Herstellung und Eigenschaften.* [Hrsg.] Herbert Kuper. 2. Auflage. Berlin : Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin.

Güteschutzverband der Österreichischen Kies-, Splitt- und Schotterwerke. [Online] [Zitat vom: 21. 08. 2012] http://www.strassenbaustoffe.at/leistungen_data/Qualitaetskennzeichnung_von_Gesteinskoernungen.pdf.

Heidolph Instruments GmbH & Co. KG. [Online] [Zitat vom: 19. 02 2013.] <http://www.heidolph-instruments.de/produkte/schuettelmischgeraete/ueberkopfschuettler/reax-2/reax-2/>.

Helmchen, Stephanie und Slaby, Peter. [Online] [Zitat vom: 20. 08. 2012] <http://www.chemikus.de/litholexikon/marmor.htm>.

Horiba. [Online] [Zitat vom: 19. 02 2013.] <http://www.horiba.com/at/>.

IKA-Werke GmbH & Co. KG. [Online] [Zitat vom: 19. 02. 2013] http://www.ika.com/owa/ika/catalog.product_downloads?iProduct=3339000&iCS=1&iProductgroup=188&iSubgroup=1.

Karlsruher Institut für Technologie. [Online] [Zitat vom: 21. 08. 2012] <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/Alkali.pdf>.

Karlsruher Institut für Technologie. [Online] [Zitat vom: 15. 12. 2012] <http://psi-physik.kit.edu/246.php>.

Klein, Daniel. [Online] [Zitat vom: 28. 08. 2012] <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/Alkali.pdf>.

Leemann, Andreas, Thalmann, Cedric und Kruse, Matthias. 1999. Gebrochene Zuschlagstoffe. Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen - Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard. *Schweizer Ingenieur und Architekt*.

Merck Millipore. [Online] [Zitat vom: 19. 02 2013.] http://www.merckmillipore.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/Merck-DE-Site/de_DE/-/EUR/ViewPDF-Print.pdf;sid=Kjn-iNdICVjwilZq1xKS33-IrbrseL3vEhfg3mTICE1A61nGBtmdltF2PWJzNfwxqkruINSR1wHXj16BiL1LY3gCC83nzBuYGaNGqW9RrjpLX8dUKeCdlF2?RenderPageType=ProductDeta.

Merck Millipore. [Online] [Zitat vom: 19. 02 2013.] <http://www.merckmillipore.com/>.

Naturstein Felber Thomas. [Online] [Zitat vom: 22. 08. 2012] <http://www.granitundmarmor.at/marmor.pdf>.

Neroth, Günter und Vollenschaar, Dieter. 2011. *Wendehorst Baustoffkunde: Grundlagen - Baustoffe - Oberflächenschutz*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2011. Bd. 27. Auflage.

NF P18-579, 1990. *Granulats: Essai d'abrasivité et de broyabilité*. Paris : AFNOR.

NF P94-430-1, 2000. *Détermination du pouvoir abrasive d'une roche - Partie 1: Essai de rayure avec une point*. Paris: AFNOR.

Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche G.m.b.H. [Online] [Zitat vom: 21. 08 2012.] [http://www.nivelstein.de/img/NIV%2010001%20\(Spielsand\).pdf](http://www.nivelstein.de/img/NIV%2010001%20(Spielsand).pdf).

ÖBB Infrastruktur AG. Geschäftsbereich Neu- und Ausbau. Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

ÖBB Infrastruktur AG, 2010h. *Ausschreibung Teil 3.2.4 - Anhang 6: Technische Vertragsbestimmungen für Tunnel in geschlossener Bauweise mit kontinuierlichem Vortrieb*. Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.

ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009c. *Deponien Katasterplan*. Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.

ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009d. *Ausschreibung Teil 3.2.4 - Anhang 19: Technische Vertragsbestimmungen für Freistrecke und Deponien*. Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.

ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2009e. *Ausschreibung Teil 3.2.4 - Anhang 20: Technische Vertragsbestimmungen für die Materialaufbereitung von kristallinem Ausbruchmaterial zu Gesteinskörnungen*. Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.

ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010a. *Ausschreibung Teil 2: Baubeschreibung*. Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.

ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010b. *Ausschreibung Teil 3.2.4 - Anhang 5: Technische Vertragsbestimmungen für Tunnel und Querschläge in geschlossener Bauweise mit zyklischem Vortrieb und für Tunnel in Offener Bauweise*. Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.

- ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010c.** *Deponie Grub - Übersichtsplan Schüttphasen mit Darstellung der Transportwege.* Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.
- ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010d.** *Ausschreibung Teil 3.3: Geschlossenes Leistungsverzeichnis.* Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.
- ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010e.** *Ausschreibung Teil 3.2.1: Vorbemerkungen zum Leistungsverzeichnis.* Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.
- ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010f.** *Ausschreibung Teil 3.2.4 - Anhang 2: Prüfbuch für Tunnel in geschlossener und offener Bauweise.* Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.
- ÖBB Infrastruktur Bau AG, 2010g.** *Ausschreibung Teil 2 - Anhang 2d: Vorschlag für Grundkonzept Bauleistik.* Graz: ÖBB Infrastruktur Bau AG.
- ÖBV-Richtlinie Innenschalenbeton, 2012.** Wien: ÖBV-Arbeitskreis „Beton im Tunnelbau“.
- ÖBV-Richtlinie Spritzbeton, 2009.** Wien : Österreichische Bautechnik Vereinigung.
- ÖBV-Richtlinie Tübbingsysteme aus Beton, 2009.** Wien: ÖBV-Arbeitsausschuss „Tübbingsysteme aus Beton“.
- Ohaus Europe GmbH.** [Online] [Zitat vom: 19. 02. 2013] <http://europe.ohaus.com/europe/de/home.aspx>.
- ÖNORM 23303, 2010.** *Prüfverfahren Beton (PVB) - Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 3100, 2008.** *Beurteilung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität im Beton.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 3131, 2010.** *Gesteinskörnungen für Beton - Regeln zu Umsetzung der ÖNORM EN 12620.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 4710-1, 2007.** *Beton, Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 1097-2, 2010.** *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2, Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 1097-5, 2008.** *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 5: Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 1097-6, 2001.** *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 12620, 2008.** *Gesteinskörnungen für Beton.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 1367-1, 2007. *Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen - Teil 1: Bestimmung des Widerstands gegen Frost-Tau-Wechsel.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 1744-1, 2010. *Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Chemische Analyse.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 1926, 2007. *Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der einachsigen Druckfestigkeit.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 933-1, 2012. *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 1, Bestimmung der Korngrößenverteilung, Siebverfahren.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 933-4, 2008. *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 4: Bestimmung der Kornform - Kornformkennzahl.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 933-5, 2005. *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 5: Bestimmung des Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen (konsolidierte Fassung).* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2028, 2004. *Biologische Behandlung kontaminierter Böden.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2096, 2005. *Stoffflussanalyse - Anwendung in der Abfallwirtschaft.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2100, 2005. *Abfallverzeichnis.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2113, 1997. *Herstellung eines Schnelleluates zur Untersuchung von Abfällen.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2123-1, 2003. *Probenahmepläne für Abfälle, Teil 1: Beprobung von Haufen.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2127, 2011. *Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

PatentDe. [Online] [Zitat vom: 21. 08. 2012] <http://www.patent-de.com/19950504/-DE4134351C2.html>.

Poscher, Gerhard. 1993. *Zur Umweltverträglichkeit von Spritzbeton im Tunnelbau - Erfahrungen mit Massnahmen zur Verminierung der Spritzbetoneluation.* Innsbruck : ILF Ingenieurgesellschaft Lässer-Feizlmayr.

Pöyry Infra GmbH - Materialversuchsanstalt Strass, 2012. *Untersuchung aufbereiteter Tunnelausbruch - Koralmtunnel Baulos KAT 2 und KAT 3: Entnahme und Aufbereitung vom Feber und April 2012.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Quarzwerke GmbH. [Online] [Zitat vom: 21. 08. 2012] http://www.quarzwerke.com/-home/maerkte_und_produkte/Range%20of%20products/englHigh%20Performance%20Fillers/Mica.

Quarzwerke Österreich GmbH. [Online] [Zitat vom: 21. 08. 2012] http://www.-quarzwerke.at/index.php?option=com_content&view=article&id=163&Itemid=180.

Rauriser Natursteinzentrum GmbH. [Online] [Zitat vom: 22. 08. 2012] <http://www.-rauriser.at/de/main/produkte>.

Reller, Armin. [Online] [Zitat vom: 12. 02. 2013] <http://www.konzept-welt.ch/-business/motivation/zitat-ueber-rohstoff-wissen/>.

Resch, Daniel. 2012. *Verwendung von Tunnelausbruchmaterial - Entscheidungsgrundlagen.* [Dissertation]. Leoben: Montanuniversität Leoben - Lehrstuhl für Subsurface Engineering.

Richtlinie für Recycling-Baustoffe, 2009. Wien: Österreichischer Baustoff-Recycling Verband. 8. Auflage.

Schippinger & Partner, 2005. *Koralmbahn Wettmannstätten - St. Andrä: Bericht Materialbewirtschaftung.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Schippinger & Partner, 2010. *Massenbilanz bei Wiederverwertung: Baulos KAT 2.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Schippinger & Partner, Ernst Basler & Partner, 2007. *Koralmbahn-Basistunnel: Eignung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Schorn, Stefan. [Online] [Zitat vom: 21. 08. 2012] <http://www.mineralienatlas.de/-lexikon/index.php/Mineralienportrait/Pyrit>.

Schubert, Wulf. 2007. *Skriptum Felsmechanik und Tunnelbau.* Graz: TU Graz - Institut für Felsmechanik und Tunnelbau.

Schumann, Walter. 2009. *Der große BLV Steine- und Mineralienführer.* München: BLV.

Sicherheitsdatenblatt gem. Verordnung (EG) Nr. 1907, 2006. *Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 18.12.2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur.*

Staskiewicz, Ludger. [Online] [Zitat vom: 12. 10. 2012] http://www.baumaschine.de/fachtagungen/bautechnik-und-sicherheit/tunnelbau_dateien/2007#thema5.

Steiermärkisches Bauproduktegesetz, 2010. *Gesetz vom 20. März 2001 über das Inverkehrbringen und die Verwendbarkeit von Bauprodukten.* Zuletzt geändert durch LGBl. Nr. 13/2010.

Stein, Volker. 2004. *Untersuchungen zur Optimierung und Bewertung des Auslaugverhaltens versinterungsrelevanter Stoffe aus Spritzbetonen als Beitrag zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit.* [Dissertation]. Bochum: Ruhr-Universität Bochum - Fakultät für Bauingenieurwesen.

Technische Universität Graz, 2006. *Weiterführende Erkundungen Koralmtunnel: Verwendbarkeit des Tunnelausbruchmaterials - Laborberichte.* Graz: ÖBB Infrastruktur AG.

Thalmann, Cédric. 1996. *Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen.* [Dissertation]. Zürich : Eidgenössischen Technische Hochschule.

Thuro, Kuroschi. [Online] [Zitat vom: 18. 01. 2013] http://www.geo.tum.de/people/thuro/pubs/2008_geomechanikkoll_plv.pdf.

Thuro, Kuroschi. 2010. Empfehlung Nr. 5 "Punktlastversuche an Gesteinsproben" des Arbeitskreises 3.3 "Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik. *Bautechnik*. 2010, Heft 6.

TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, 2012. *Gesteinskundliche Prüfungen am Tunnelausbruchmaterial aus den Brechversuchen Röthelstein KAT 2 / KAT 3.* Wien: TPA.

Verband Österreichischer Ziegelwerke. [Online] [Zitat vom: 11. 10. 2012] <http://www.ziegel.at/de/produktion>.

Wyss, Alexander. 2012. *Technische Anlagenbeschreibung Kiesaufbereitungsanlage Koralmtunnel.* Deutschlandsberg: ARGE Koralmtunnel KAT .

Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H. [Online] [Zitat vom: 18. 01. 2013] http://www.zement.at/downloads/fachbuch_beton.pdf.

Zentrum Geotechnik. [Online] [Zitat vom: 12. 10. 2012] <http://www.gb.bv.tum.de/download/tb/sprenge.pdf>.