

Masterarbeit

zum Erwerb des akademischen Grades
Diplomingenieur
der Studienrichtung Rohstoffgeologie

ausgeführt am
Lehrstuhl Subsurface Engineering
an der Montanuniversität Leoben

von Berthold Mayr

Leoben, im April 2014

Basisdatenerhebung zur Früherkennung der Verwendbarkeit von Tunnelausbruchmaterial

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angeführten Quellen verwendet und die wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Affidavit

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Leoben, April 2014

(Unterschrift)

Berthold Mayr

Kurzfassung

Beim Bau von Untertagebauwerken fallen große Mengen an Tunnelausbruchmaterial an, die bis heute hauptsächlich deponiert oder als Schüttmaterial verwendet werden, obwohl dieses Material ein großes Potential als mineralischer Rohstoff aufweist. Die Verwertung des Gesteins als mineralischer Rohstoff bietet die Möglichkeit einer Schonung der natürlichen Ressourcen mit positiver Auswirkung auf die Umwelt.

Die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial ist im Wesentlichen von den Gesteinseigenschaften und dem Bedarf an mineralischen Rohstoffen abhängig. Oftmals sind im Nahbereich von Tunnelprojekten Betriebe angesiedelt, welche mineralische Rohstoffe produzieren bzw. verarbeiten die lithologisch betrachtet mit dem Ausbruchmaterial im Tunnelvortrieb übereinstimmen. In dieser Arbeit wird die Vorgangsweise am Beispiel des Infrastrukturprojektes Semmering Basistunnel „Neu“ mit Fokus auf die chemischen Gesteinseigenschaften dargelegt. Beim ca. 27 km langen, zweiröhrigen Tunnel wird ein Ausbruchsvolumen von rund 5 Mio. m³ Gesteinsmaterial prognostiziert, welches auf eine nahegelegene Deponie verführt werden soll. Um das enorme Rohstoffpotential dieses Projektes ausschöpfen zu können, werden in dieser Arbeit höherwertige Verwendungsmöglichkeiten für die Lithologien im Projektraum aufgezeigt. Im Detail werden die chemischen Zusammensetzungen der betreffenden Gesteine mit den chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie verglichen. Bei entsprechender Übereinstimmung werden mögliche industrielle Verwendungszwecke angegeben.

Ziel der Arbeit ist die Verwendung des Materials durch Betriebe, die im Umkreis des Projektraums das Tunnelausbruchmaterial abnehmen. Entspricht das Ausbruchmaterial den chemischen Anforderungen der Industrie, kann es direkt rohstoffverarbeitenden Betrieben zugeführt werden.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde auch eine bereits bestehende Klassifizierungsmatrix für Tunnelausbruchmaterial weiter entwickelt, welche der Entscheidungsfindung bzgl. der Verwertbarkeit dient. Diese wurde um die chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie erweitert, was die Möglichkeit bietet, das Verwendungspotential von analysiertem Gestein online zu bestimmen.

Abstract

Building underground constructions results in huge amounts of excavation material, which is usually dumped or used as bulk material. But this material is a potential substitute for mineral resources. The intended purpose results in saving resources of mineral raw materials and has a positive effect on the environment.

The usage of excavation material depends on petrological properties and the industrial demand for raw materials. Companies that process mineral raw materials are often situated close to a tunnel-project. The requirements for raw materials by those companies often correlate with the mineralogy of tunnel excavation material. For example, for the presented infrastructure project within this thesis the focus is on the chemical properties of mineral raw materials. If the excavation material correlates to the chemical requirements of the industry, it can be used directly by these industries. The excavation volume of the 27 km long Semmering Base tunnel with two tubes will be about 5 Million m³ which are planned to be dumped on a disposal site. To tap the full potential of raw materials, ranges of higher valued applications are shown for the lithologies in the project-area. In detail, the chemical compositions of the relevant rocks are compared with the requirements of the product processing industry. If the excavation material correlates to chemical requirements of the product processing industry, they can be supplied with tunnel excavation material. The goal is to provide the industry in the project-area with the usable tunnel excavation material.

As part of this thesis, an existing evaluation matrix for tunnel excavation material was improved. The evaluation matrix was extended with the requirements of the raw material industry and demonstrates the potential for application of excavation material.

Danksagung

Großer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr. mont. Robert Galler und Herrn Univ.-Prof. Dr. phil. Walter Prochaska, unter deren Leitung diese Diplomarbeit verfasst wurde.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Hartmut Erben, der ein kompetenter und engagierter Ansprechpartner war und die Betreuung dieser Diplomarbeit übernommen hat.

Ein herzliches Dankeschön gebührt meiner Familie und meinen Freunden, welche mich auf unterschiedlichste Weise über Jahre hinweg unterstützt haben.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Kollegen vom Lehrstuhl für Subsurface Engineering für die tolle Zusammenarbeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Geologische Grundlagen und mineralische Rohstoffe in Österreich	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Geologie von Österreich	3
2.2.1 Böhmisches Massiv	3
2.2.2 Molassezone und inneralpine Tertiärbecken	3
2.2.3 Helvetikum	4
2.2.4 Flyschzone	4
2.2.5 Penninikum	4
2.2.6 Ostalpin	4
2.2.7 Periadriatische Naht.....	5
2.2.8 Südalpen (Karnische Alpen, S-Karawanken)	5
2.3 Industrielle Verwendung mineralischer Rohstoffe	6
2.3.1 Einteilung mineralischer Rohstoffe.....	6
2.3.2 Physikalische Eigenschaften von Mineralen	7
2.3.3 Chemische Zusammensetzung von Mineralen	10
2.3.4 Übersicht der Industriemineralien.....	12
2.3.5 Industrielle Anforderungen an Industriemineralien.....	15
3 Darlegung der Vorgangsweise am Beispiel eines Infrastrukturprojektes mit Planungstiefe "Einreichprojekt"	41
3. 1 Infrastrukturprojekt „Semmering Basis Tunnel Neu“	41
3. 1. 1 Allgemeine Informationen	41
3. 1. 2 Baukonzept.....	41
3. 1. 3 Generelle Baudurchführung.....	42
3. 1. 4 Vortriebskonzepte.....	43
3. 1. 5 Massenanfall und Transportwege.....	44
3. 1. 6 Deponierung.....	45
3. 2 Herangehensweise an die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial	45
3. 1. 2 Rechtliche Grundlagen in Österreich	47
3.2 Geologische Situation entlang der Tunneltrasse.....	48
3.2.1 Angetroffene Einheiten entlang der Trasse.....	48
3.2.2 Geologie des Trassenverlaufs - Überblick.....	49
3.2.3 Geologie des Trassenverlaufs - Lithologische Abschnitte.....	51
3.3 Mineralrohstoffverarbeitende Industriebetriebe im Umkreis des Trassenkorridors	57

3.4 Evaluations Matrix – Bewertung der Verwendbarkeit von Tunnelausbruchmaterial ...	59
3.4.1 Funktionsweise der Bewertungsmatrix	59
3.4.2 Eingabeblatt – Technische Parameter	60
3.4.3 Eingabeblatt – Chemische Parameter.....	60
3.4.4 Eingabeblatt – Mineralogische Parameter	61
3.4.5 Eingabeblatt – Sieblinie.....	62
3.4.6 Ergebnisblatt – BAWP/DepVO	62
3.4.7 Anforderungen an industrielle Rohstoffe	64
3.5 Verwendung der erwartbaren Lithologien.....	67
3.5.1 Mengenmäßige Abschätzung der erwartbaren Lithologien.....	67
3.5.2 Darstellung der Verwendbarkeit der erwartbaren Lithologien.....	69
4 Diskussion und Ausblick	73
5 Literaturnachweis	75
6 Abbildungsverzeichnis.....	78
7 Tabellenverzeichnis.....	79
8 Anhang	81
8.1 Darstellung des Firmeneinzugsgebiets im Projektgebiet Semmering anhand von geografischen Karten.....	81
8.1.1 Gesamtes Firmeneinzugsgebiet.....	81
8.1.2 Betriebe der Stahlindustrie	81
8.1.3 Betriebe des Straßenbaus	82
8.1.4 Betriebe der Kunststoffindustrie	82
8.1.5 Betriebe des Steinbruchgewerbes.....	83
8.1.6 Betriebe der Betonindustrie	83
8.1.7 Betriebe der Ziegelindustrie	84
8.1.8 Betriebe der Zellulose-Industrie	84
8.1.9 Details zu den Betrieben im Projektgebiet Semmering.....	85

1 Einleitung

Bei der Errichtung von Untertagebauwerken fallen große Mengen von Erdaushub bzw. Tunnelausbruchmaterial an, welche bisher meistens verführt und deponiert worden sind. Aus wirtschaftlicher, technischer sowie aus ökologischer Sicht ist eine Verwertung dieses Ausbruchmaterials von Vorteil. Die Verwendung als Betonzuschlagstoff auf der Tunnelbaustelle selbst, für z. B. Spritzbeton wird bereits praktiziert. Entsprechend der Lithologie kann das Gesteinsmaterial aber auch der rohstoffverarbeitenden Industrie zugeführt werden.

In dieser Diplomarbeit wird die Vorgehensweise und die dafür nötige Datenerhebung der Verwendung von Ausbruchmaterial am Infrastrukturprojekt „Semmering-Basistunnel Neu“ gezeigt. Der Semmering-Basistunnel Neu ist eines der wichtigsten Infrastruktur-Großprojekte im Herzen Europas. Der zweiröhrige Eisenbahntunnel stellt für Österreich eine nachhaltige Investition in die Eisenbahn-Infrastruktur dar und dient der Sicherung des Wirtschaftsstandortes. Aus verkehrstechnischer Sicht wird der Semmering-Basistunnel neu die bestehende Bergstrecke von Gloggnitz bis Mürzzuschlag, das Weltkulturerbe Ghega Bahn, zukünftig entlasten.

Im Gegensatz zur Bergstrecke wird der Tunnel dank seiner geringen Neigung selbst für schwere Güterzüge uneingeschränkt befahrbar sein. Die Südbahn ist das zentrale Verbindungsglied auf der transeuropäischen Route von der Ostsee bis zur Adria, die Bergstrecke über den Semmering ihr Nadelöhr. Durch den Ausbau dieser Baltisch-Adriatischen Achse über Warschau und Wien erschließen sich für Österreich neue Märkte und Wirtschaftsräume. Gemeinsam mit dem Koralmtunnel gewährleistet der Semmering-Basistunnel neu, dass die Südbahn sowohl im Güterverkehr als auch im individuellen Reiseverkehr attraktiv und zukunftssicher bleibt. [43]

Der Semmering Basistunnel Neu verbindet mit seiner Länge von 27,3 km die beiden Bundesländer Niederösterreich (Gloggnitz) und Steiermark (Mürzzuschlag). Das Ausbruchsvolumen des Tunnelprojekts wird mit ca. 5 Millionen m³ prognostiziert. Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung von Tunnelausbruchmaterial hinsichtlich der Verwendung als mineralischer Rohstoff in Industriebetrieben. Bei der in Frage kommenden Industrie handelt es sich um Betriebe die mineralische Rohstoffe verarbeiten und fertige Produkte herstellen. Die Qualität von mineralischen Rohstoffen ist abhängig von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Rohstoffs. Der Fokus dieser Arbeit liegt in der Beurteilung des Ausbruchmaterials hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung als Grundlage für die Verwendung als Produkt eines Aufbereitungsprozesses. Die Anforderungen der Branchen sind teilweise recht unterschiedlich, so benötigt z. B. die Glasindustrie einen qualitativ sehr hochwertigen Rohstoff mit SiO₂-Gehalten von mindestens 99 %. Mineralische Rohstoffe werden basierend auf deren unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften von einer großen Anzahl an Endverbrauchern konsumiert. Der Jahresverbrauch an Bau- und Energierohstoffen beträgt in Österreich 15 Tonnen pro Kopf. Um die Rohstoffversorgung auch für zukünftige Generationen zu sichern, ist es sinnvoll Tunnelausbruchmaterial der Mineralrohstoffindustrie zuzuführen und somit natürliche Ressourcen zu schonen.

Die Herangehensweise an die Verwertung von Tunnelausbruchmaterial setzt sich aus wirtschaftlichen, geologischen und rohstoff-kundlichen Aspekten zusammen. Wesentlich ist die geologische Vorerkundung sowie die Recherche von Betrieben innerhalb der rohstoffverarbeitenden Industrie. Um den chemischen Anforderungen der Industrie gerecht

zu werden, wird in dieser Arbeit eine Bewertungsmatrix für Tunnelausbruchmaterial entwickelt, welche als Entscheidungsgrundlage bei der Verwendung von Ausbruchmaterial dient. Die Bewertungsmatrix beurteilt auf Basis des Datensatzes in Kapitel 2.3.5, chemisch analysiertes Gesteinsmaterial nach dessen industrieller Verwendungsmöglichkeit. Da die österreichische Gesetzeslage die Verwertung von Tunnelausbruchmaterial zusätzlich erschwert, sollte diese Arbeit einen Denkanstoß in Richtung Überarbeitung der Gesetzgebung geben. Wünschenswert ist eine Definition des Tunnelausbruchs als Primärrohstoff anstatt wie derzeit üblich als Abfall.

2 Geologische Grundlagen und mineralische Rohstoffe in Österreich

2.1 Einleitung

Das folgende Kapitel ist in drei Teile gegliedert. Kapitel 2.2 soll einen kurzen Überblick über die Geologie Österreichs bzw. dessen Rohstoffpotential geben. Kapitel 2.3 stellt eine Einführung in die mögliche Verwendung der, unter Umständen im Ausbruchmaterial vorhandenen Industriemineralien dar.

Die Geologie von Österreich stützt sich auf das Vorlesungsskriptum „Regionale Geologie“ und soll einen kurzen Überblick über die geologische Großeinheiten geben, aus denen während der möglichen Errichtung eines Untertagebauwerks mineralische Rohstoffe zu erwarten sind. Auf spezielle geologische Aspekte (Tektonik, Geodynamik, etc.) wird nur dann eingegangen, wenn sie für das erwartete Vorkommen relevant sind.

Die Verwendung der unterschiedlichen Industriemineralien wird aus Gründen der Übersicht vor allem tabellarisch aufgearbeitet.

2.2 Geologie von Österreich

Die Geologie von Österreich wird in folgende Großeinheiten gegliedert:

2.2.1 Böhmisches Massiv

Das Böhmisches Massiv (Mühl- und Waldviertel nördlich der Donau, Dunkelsteiner- und Saualpe südlich der Donau) gehört dem, bis bereits in tiefe Krustenniveaus erodierten, Variszischen Gebirge Mitteleuropas an. [1]

Das Böhmisches Massiv besteht aus hochgradig metamorphen Gesteinen wie Gneise, Granulite, Glimmerschiefer, Amphibolite, Marmor, Serpentinite in die bei der variszischen Orogenese (Karbon) gewaltige Granitplutone intrudierten. Molassesedimente (Konglomerate, Ton-, Silt-, Sandsteine) des variszischen Orogens finden sich nur in einigen Kleinvorkommen nordöstlich von Krems, im Perm von Zöbing. [1]

Das Böhmisches Massiv wird in das Moldanubikum und das Moravikum gegliedert. Darin befindet sich die Intrusion des Südböhmischen Plutons (Karbon). [2]

Tektonische Einheiten:

Das Moravikum besteht aus Thaya Batholith, Pleissing Decke und Bittescher Decke. Das Moldanubikum besteht aus der Drosendorfer Decke (Ostrong Einheit, Mühlendorfer Einheit, Raabs-Meislinger Einheit) und der Gföhler Decke (Gföhler Gneis und Granulitdecke). Der Südböhmische Pluton beinhaltet Perlgneise, Körnergneise und Schlierengranite mit Vorkommen im westlichen Mühlviertel und im Saualpe. [1]

2.2.2 Molassezone und inneralpine Tertiärbecken

Das Böhmisches Massiv sinkt nach Süden unter den Alpenkörper ab, wobei die Mächtigkeit der auflagernden Molasse von Norden nach Süden zunimmt [3]. Alpidische paläo- und neogene Molassesedimente begrenzen den Ostalpenkörper im Norden und entlang des Alpenostrandes (Alpenostrandenbecken: Wiener Becken, Eisenstädter- und Oberpullendorfer Becken, Steirisches Becken), oder finden sich in isolierten Kleinvorkommen innerhalb des Alpenkörpers wieder (inneralpine Becken: Unterinntal, Ennstal, Mur/Mürztal, Lavanttal, Klagenfurter Becken). Dem Ablagerungsraum entsprechend (marin, limnisch, fluviatil) handelt es sich bei den Molassesedimenten um Schlier, Mergel, Tone, Sande, Kiese, Konglomerate und Kohlen. Im Steirischen- und Oberpullendorfer Becken auch Vulkanische Gesteine wie Basalte und Trachyandesite. [1]

2.2.3 Helvetikum

Das Helvetikum befindet sich geografisch am Nordrand des alpinen Deckenstapels, vom Bregenzer Wald im Westen als schmaler Saum bis Salzburg und weiter nach Osten als Einschaltungen in der Flyschzone (Wiener Wald, Ybbsitz, Gresten, St. Veit) und beinhaltet marine Mergel und Kalke (Oberjura, Kreide – Paläogen). [1]

2.2.4 Flyschzone

Die überschobenen Teile der Molassezone von Helvetikum und Flyschzone werden als subalpine Einheiten zusammengefasst, da sie vom eigentlichen Ostalpenkörper tektonisch überschoben werden. Die Flyschzone hat ihre größte Verbreitung im Bregenzer- und Wiener Wald, dazwischen als schmaler Streifen am Ostalpenrand. Die Flyschzone beinhaltet vorwiegend marine Sandsteine, Tonschiefer und Mergel (Kreide – Paläogen). [1]

2.2.5 Penninikum

Die Westalpen sinken im Bereich des Rheintales unter den Deckenstapel der Ostalpen. Im Engadin, den Hohen Tauern und dem Raum Rechnitz treten diese penninischen Einheiten unter dem Ostalpin in tektonischen Fenstern durch Erosion und Uplift-Bewegungen wieder zu Tage. Vormesozoische Einheiten beinhalten Metamorphite wie Gneise (Zentralgneise), Amphibolite, Phyllite. Mesozoische Einheiten Quarzite, Karbonate, Schiefer (Bündner Schiefer), Metabasite, Serpentine. [1]

2.2.6 Ostalpin

Über den Penninischen Einheiten (Engadiner-, Tauern- und Rechnitzer Fenster) liegt das Ostalpine Deckensystem welches der klassischen Gliederung nach in Unter-, Mittel- und Oberostalpin unterteilt ist [4]. Nach neueren Erkenntnissen wird aufgrund unterschiedlicher alpidischer Metamorphoseprägung und geodynamischer Entwicklung das Ostalpin nur noch in Unter- und Oberostalpin gegliedert [5].

2.2.6.1 Oberostalpine Einheiten

Grauwackenzone:

Phyllite, Sandsteine, Kalke, Dolomite, Magnesite, Siderite, Konglomerate, Amphibolite, Glimmerschiefer, Gneise, Diabase;

Nördliche Kalkalpen:

Evaporite, Sandsteine, Mergel, Rauhwacke, Kalke, Dolomite;

Silvretta-Seckau-Deckensystem:

Biotit-Plagioklasgneise, Hornblendegneise, Bänderamphibolite, Augengneise, Orthogneise, Migmatite; Untergeordnet: Glimmerschiefer, Ultramafite, variszische Eklogite;

Koralpen-Wölz-Deckensystem:

Pegmatite, Granite, Gneise, Glimmerschiefer, Phyllite, Quarzite, Gabbros, Marmore, Amphibolite, Eklogite, Eisenglimmer, Talk, Magnesit;

Ötztal-Bundschuh-Deckensystem:

Biotit-Plagioklasgneise, Glimmerschiefer, Amphibolite, Eklogite, Orthogneise, variszische und pre-variszische Migmatite;

Drauzug-Gurktal-Deckensystem:

Phyllite, Phyllonite, Staurolithgranatglimmerschiefer, Amphibolite, Kalke, Magnesite, Mergel, Konglomerate, Sandsteine; [1]

2.2.6.2 Unterostalpine Einheiten

Radstädter Tauern:

Paragneise, Glimmerschiefer, Amphibolite, Orthogneise, Phyllite, Quarzitschiefer;

Katschbergzone:

Phyllite, Glimmerschiefer;

Wechseldecke:

Gneise, Grünschiefer, Schwarzschiefer, Phyllite, Karbonate, Quarzite, Arkosen, Porphyroide, Dolomite;

Tarntaler Alpen:

Quarzphyllite, Serpentine; [1]

2.2.7 Periadriatische Naht

Die Periadriatische Naht trennt die Südalpen von den West- und Ostalpen. Sie ist eine neogene, mit dextralem Versatz, operierende Seitenverschiebung welche durch magmatische Intrusivgesteine wie Granite und Tonalite charakterisiert ist. Die noch heute aktive Seitenverschiebung verläuft in Österreich von Silian ostwärts über das Lessachtal nach Villach, Klagenfurt und bei Bad Eisenkappel über die Landesgrenze. Entlang dieser Zone intrudierten im Jungpaläozoikum granitische (Nötsch, Eisenkappel) und im Paläogen tonalitische Gesteine (Rieserferner, Eisenkappel, Bachern/Slovenien). [1]

2.2.8 Südalpen (Karnische Alpen, S-Karawanken)

Bei der südlichsten geologischen Großeinheit handelt es sich um den Grenzkamm zwischen Periadriatischer Naht und Italien, Slowenien. Die variszischen- und alpidischen nicht-metamorphen Gesteinsserien umfassen fossilreiche, marine Schiefer, Sandsteine, Konglomerate und Karbonate. [1]

Die nun erwähnten geologischen Einheiten beinhalten Gesteine welche ein Verwendungspotential als Baurohstoffe und Rohstoffe in Österreich haben. Einen Überblick diesbezüglich gibt Abbildung 2.

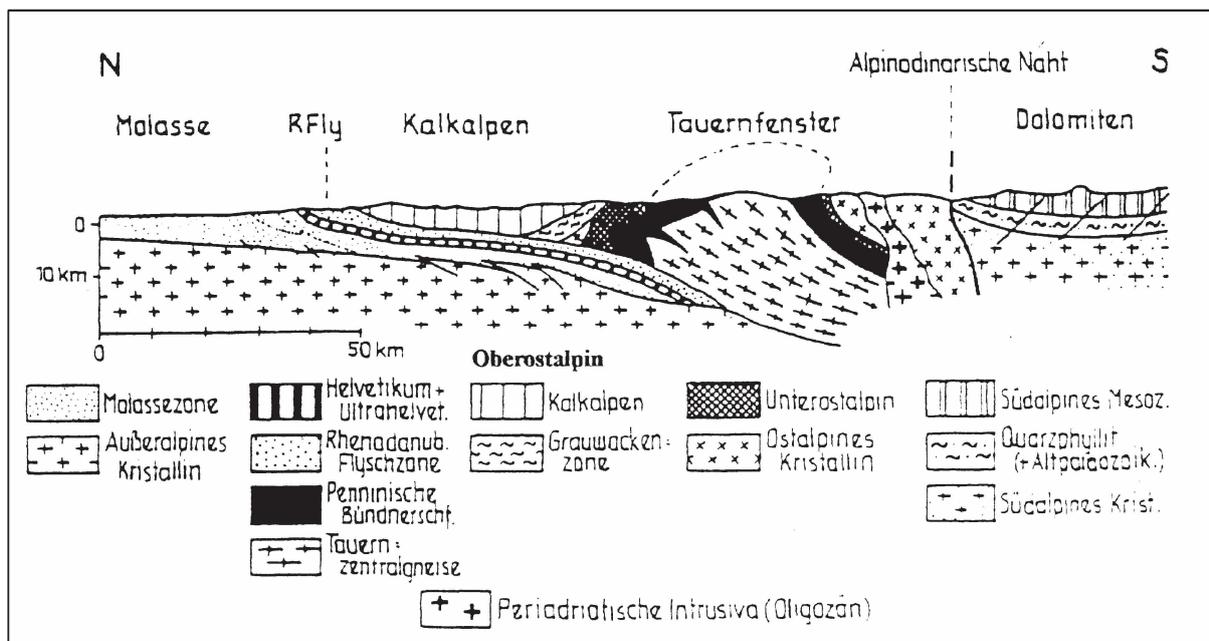


Abbildung 1: Nord-Südprofil durch die Ostalpen [1]

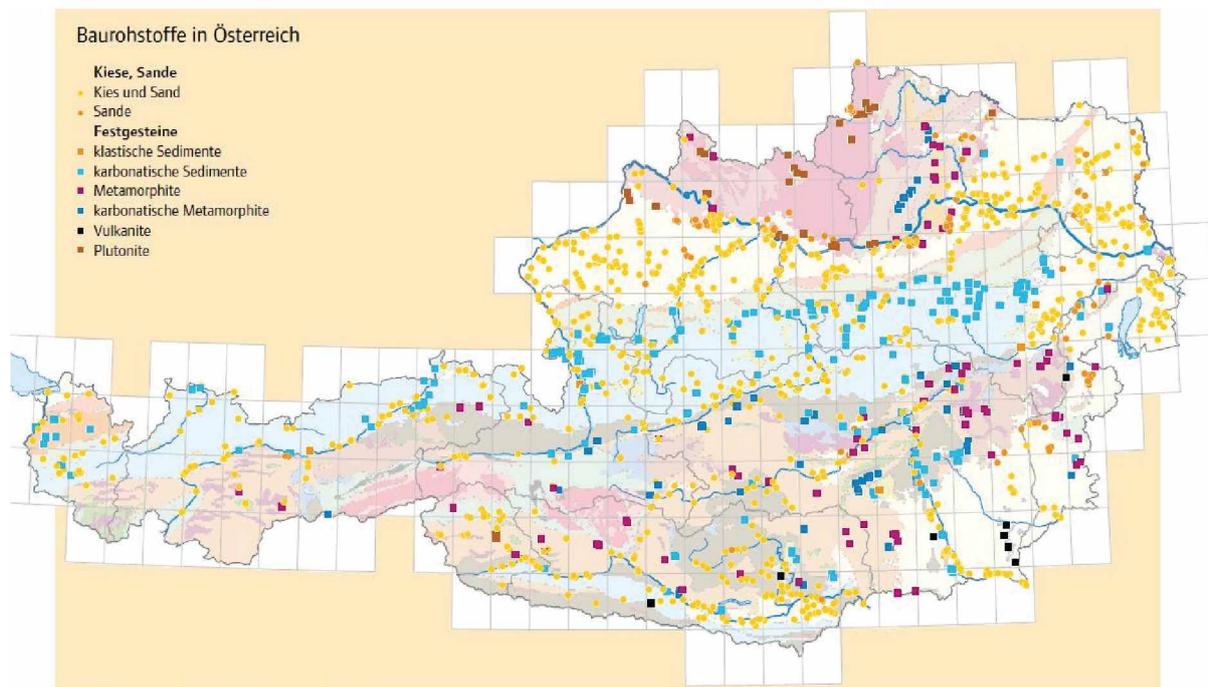


Abbildung 2: Baurohstoffe in Österreich [25]

2.3 Industrielle Verwendung mineralischer Rohstoffe

2.3.1 Einteilung mineralischer Rohstoffe

„Mineralische Rohstoffe sind feste, flüssige und gasförmige Minerale oder Mineralgemenge, welche in Berg- oder Hüttenwerken abgebaut werden bzw. Materialien, die sich im Laufe der Erdgeschichte durch geologische Prozesse gebildet haben und sich in geologischen Zeiträumen erneuern“. [33]

Mineralische Rohstoffe werden unterteilt in:

- Energierohstoffe
 - Feste Energierohstoffe
 - Torf
 - Braunkohle
 - Steinkohle
 - Brandschiefer
 - Uran
 - Flüssige und gasförmige Energierohstoffe
 - Erdöl
 - Erdgas
 - Wasser
- Metallische Rohstoffe
 - Eisen und Stahlveredler: Fe, Mn, Cr, V, Ni, Wo
 - Buntmetalle: Al, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Sn
 - Edelmetalle: Au, Ag, Pt-Metalle
 - Seltene Erden/Metalle: Ge, Eu, Y, In, Li, Be, Zr
 - Radioaktive Metalle: U, Ra, Th

- Nichtmetallische Rohstoffe
 - Industrieminerale
 - Glimmer, Talk, Quarz, Fluorit, Gips, Baryt, Asbest,...
 - Industriegesteine
 - Bentonit, Ton, Kaolin, Sand, Kies, Quarzit, Kalkstein,... [34]

Mineralische Rohstoffe werden basierend auf deren unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften und chemischen Zusammensetzungen von einer großen Anzahl an Endverbrauchern konsumiert. Im nachfolgenden wird kurz auf die physikalischen Eigenschaften und auf den Chemismus von Mineralen eingegangen, wobei das Hauptaugenmerk auf der chemischen Zusammensetzung der Minerale liegt. Anhand der chemischen Zusammensetzung von Mineralen und Gesteinen aus dem Tunnelvortrieb lässt sich die Konzentration des Materials bestimmen und entsprechend weiterverarbeiten.

2.3.2 Physikalische Eigenschaften von Mineralen

- Härte

Als Härte bezeichnet man den Widerstand, den ein Festkörper mechanischen Eingriffen entgegensetzt. Die Härte ist ein charakteristisches Merkmal von Mineralen und wird als „Härte von Mohs“ (Ritzhärte) auf einer Skala von 1 (sehr weich) bis 10 (sehr hart) angegeben. Zum Vergleich: Mohs´che Härte von Stahl = 5,5. In Tabelle 1 ist die Mohs´che Härte der Mikrohärtigkeit in MPa gegenübergestellt. Die Mikrohärtigkeit gibt die Härte der einzelnen Gefüge-Bestandteile an. [36]

Mineral	Härte nach Mohs	Mikrohärte [MPa]
Talk	1	140
Gips	2	610
Calcit	3	1.490
Fluorit	4	2.000
Apatit	5	5.430
Feldspat	6	6.870
Quarz	7	12.200
Topas	8	17.600
Korund	9	19.600
Diamant	10	115.000

Tabelle 1: Mohs´che Härteskala [36]

- Spaltbarkeit (Bruch)

Die Spaltbarkeit von Mineralen ist abhängig von der Gitterstruktur eines Kristalles. Bestimmte Minerale haben eine charakteristische Spaltbarkeit. Schichtsilikate z. B. zeigen eine perfekte Spaltbarkeit parallel zu einer Gitterebene, da keine Bindungskräfte zwischen den Schichten vorhanden sind. Gerüstsilikate wie Quarz oder Olivin zeigen keine Spaltbarkeit (muscheliger Bruch). Im Unterschied zur Spaltbarkeit werden Bruchflächen nicht durch Kristallgitterebenen verursacht. Dementsprechend sind Bruchflächen weder glatt noch haben sie eine bevorzugte Orientierung im Kristall. Die Brucharten sind nach ihrem Erscheinungsbild zu unterscheiden in: muscheliger, uneben, spröde, splittrig (Abb. 3). [36]



Muscheliger Bruch (Quarz)



Unebener Bruch (Epidot)



Spröder Bruch (Diopsid)



Splittriger Bruch (Granat)

Abbildung 3: Brucharten von Mineralen [46]

- Farbe
Die Farbe von Mineralen ist selten charakteristisch, da die meisten Minerale Mischkristalle sind. Ausnahmen bilden Minerale mit Eigenfärbung wie z. B. Malachit oder die Quarz-Varietät Amethyst, dessen Farbe von Verunreinigungen im Kristallgitter stammt. [36]
- Dichte
Die Dichte der meisten Minerale liegt zwischen 2,5 und 3,3 g/cm³. Eine höhere Dichte haben die meisten Oxide und Sulfide (z. B. Bleiglanz, Pyrit, Sphalerit) sowie die Metalle (Gold=19,3 g/cm³). Einige andere Minerale wie das Sulfat Baryt (4,5 g/cm³) oder das Halogenid Fluorit (3,5 g/cm³) haben ebenfalls eine höhere Dichte. Einige Beispiele sind in Tabelle 2 zu sehen. [36]

Mineral	ρ_{\min} [g/cm ³]	ρ_{\max} [g/cm ³]
Amphibol	3,00	3,40
Biotit	2,80	3,20
Calcit	2,70	2,70
Dolomit	2,90	3,00
Gips	2,30	2,30
Granat	3,50	4,50
Halit	2,10	2,20
Hellglimmer	2,80	2,90
Ilmenit	4,50	5,00
Kalifeldspat	2,56	2,60
Magnetit	5,20	5,20
Olivin	3,20	4,30
Plagioklas	2,62	2,76
Pyroxen	3,20	3,60
Quarz	2,65	2,65

Tabelle 2: Minerale und deren Dichte [36]

- Glanz

Beim Glanz von Mineralen wird unterschieden zwischen Metall-, Diamant-, Fett-, Glas-, Perlmutter-, Seiden-, Wachsglanz und Matt. Die meisten Sulfide und Oxide und natürlich die Metalle besitzen einen metallischen Glanz. Die verschiedenen Glanzarten sind Abb. 4 dargestellt.



Metallglanz
(Hämatit)



Diamantglanz
(Sphalerit)



Fettglanz
(Malachit)



Glasglanz
(Quarz)



Perlmutterglanz
(Prehnit)



Seidenglanz
(Tigerauge)



Wachsglanz
(Stolzit)



Matt
(Aluminit)

Abbildung 4: Glanzarten von Mineralen [46]

- Form

Bei der Form von Kristallen wird unterschieden zwischen Tracht und Habitus. Die Flächenkombinationen eines Kristallpolyeders werden als Kristalltracht bezeichnet, die Größenverhältnisse der einzelnen Flächen als Habitus. Die Form ist abhängig von den Wachstumsbedingungen, insbesondere von Druck, Temperatur und der chemischen Zusammensetzung. Die Wachstumsformen werden in Abb. 5 dargestellt.

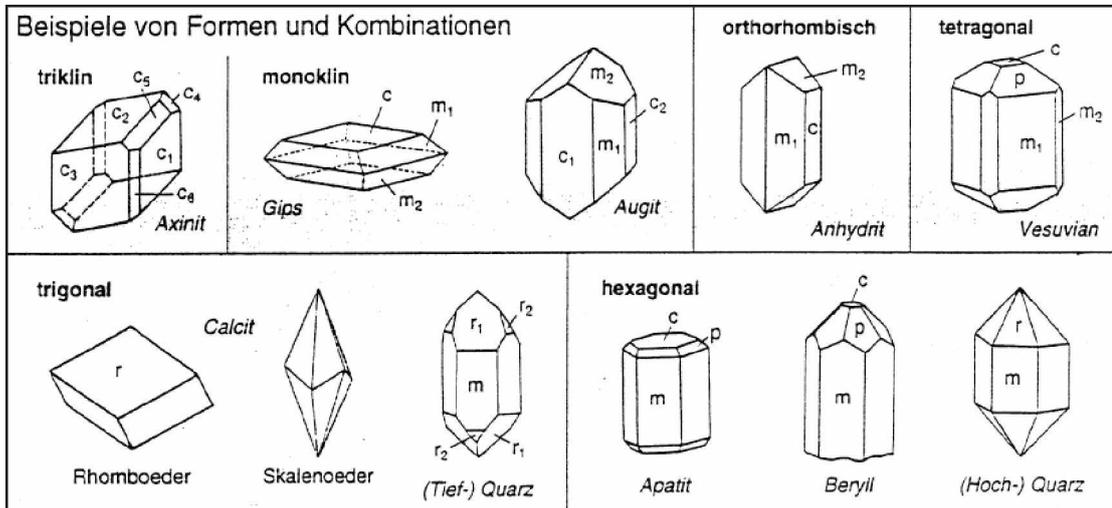


Abbildung 5: Wachstumsformen von Kristallen [45]

- Druckfestigkeit

Als Druckfestigkeit von Mineralen oder Gesteinen wird die Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung von äußeren Druckkräften bezeichnet. Ist die Druckspannung eines Probekörpers größer als die Druckfestigkeit, so bricht er. Die Druckfestigkeit ist der Quotient aus Bruchlast und Querschnitts-Fläche des Probekörpers. Die Druckfestigkeit wird im Labor geprüft. Man unterscheidet drei Arten von Druckversuchen: ein-, zwei- und dreiaxiale Druckfestigkeit. Bei Prüfung der einaxialen Druckfestigkeit kann der Probekörper in beide Richtungen seitlich entweichen. Bei Prüfung der zweiaxialen Druckfestigkeit wird die Verformung in eine der beiden Richtungen seitlich verhindert und bei der dreiaxialen in beide Richtungen. [51]

- Abrasivität

Als Abrasivität bezeichnet man die Gesteinseigenschaft die den Werkzeugverschleiß bestimmt. Die Einflussfaktoren liegen vor allem in der mineralogischen Zusammensetzung des Gesteins. Wesentlich ist der Quarzgehalt, denn mit steigendem Quarzgehalt steigt der Werkzeugverschleiß. Die Abrasivität wird durch Laborversuche wie den Cerchar-versuch oder den LCPC-Versuch ermittelt.

- Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung wird ermittelt durch Siebung bei Korngrößen die größer als 0,063 mm sind und durch Sedimentation bei Korngrößen die kleiner als 0,012 mm sind. Die Darstellung erfolgt in einem Diagramm als Summenkurve auf einfach-logarithmischen Maßstab. [51]

2.3.3 Chemische Zusammensetzung von Mineralen

Jedes Mineral weist eine ganz bestimmte stoffliche Zusammensetzung auf, welche sich mit einer individuellen chemischen Formel ausdrücken lässt. Es gibt ganz einfache chemische

Verbindungen mit bestimmter Zusammensetzung, wie z. B. Quarz SiO_2 . Die meisten Minerale sind aber Mischkristalle bei denen ein Austausch von Kationen und Anionen stattfindet. Als Beispiel sei hier Olivin mit seinen Endgliedern Forsterit $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ und Fayalith $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$ erwähnt. Aufgrund der hohen Anzahl an verschiedenen Mineralen, es gibt rund 4600, ist eine systematische Gliederung bei Kenntnis der chemischen Zusammensetzung sinnvoll. Aus der Kombination aus chemischen und kristallstrukturellen Eigenschaften resultiert die Mineralklassifikation nach Hugo Strunz der die Minerale in zehn verschiedene Klassen einteilte. Die chemische Einteilung der Minerale ist in Tabelle 3 zu sehen. [36]

	Klasse	Abteilung	Beispiele	
1.	Elemente	Gediegene Metalle	Kupfer Cu, Silber Ag, Gold Au	
		Metalloide (Halbmetalle)	Arsen As, Antimon Sb, Bismut Bi	
		Nichtmetalle	Graphit und Diamant C, Schwefel S	
2.	Sulfide		Galenit PbS , Sphalerit ZnS	
		Selenide	Naumannit Ag_2Se	
		Telluride	Ag_2Te	
		Arsenide	Löllingit FeAs_2	
		Antimonide	Aurostibit AuSb_2	
		Bismutide	Froodit PbBi_2	
3.	Halogenide		Halit NaCl , Fluorit CaF_2	
4.	Oxide		Korund Al_2O_3 , Quarz SiO_2	
		Hydroxide	Gibbsit $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$, Goethit FeOOH	
5.	Karbonate		Calcit $\text{Ca}[\text{CO}_3]$	
		Nitrate	Nitratin $\text{Na}[\text{NO}_3]$	
6.	Borate		Sinhalit $\text{MgAl}[\text{BO}_4]$	
7.	Sulfate		Baryt $\text{Ba}[\text{SO}_4]$, Gips $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
		Chromate	Krokoit $\text{Pb}[\text{CrO}_4]$	
		Molybdate	Wulfenit $\text{Pb}[\text{MoO}_4]$	
		Wolframate	Scheelit $\text{Ca}[\text{WO}_4]$	
8.	Phosphate		Apatit $\text{Ca}_5[(\text{F},\text{Cl},\text{OH})/(\text{PO}_4)_3]$	
		Arsenate	Mimetit $\text{Pb}_5[\text{Cl}/(\text{AsO}_4)_3]$	
		Vanadate	Vanadinit $\text{Pb}_5[\text{Cl}/(\text{VO}_4)_3]$	
9.	Silikate	Inselsilikate	Olivin $(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$	
		Gruppensilikate	Thortveitit $\text{Sc}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$	
		Ringsilikate	Dreiering	Benitoid $\text{BaTi}[\text{Si}_3\text{O}_9]$
			Viererring	Papagonit $\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{Al}_2[(\text{OH})_6/\text{Si}_4\text{O}_{12}]$
			Sechsering	Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
		Kettensilikate	Einfachketten	Pyroxene wie Diopsid $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
			Doppelketten	Tremolit $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[(\text{OH})_2/\text{Si}_8\text{O}_{22}]$
		Schichtsilikate		Muscovit $\text{KAl}_2[(\text{OH},\text{F})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
Gerüstsilikate		Kalifeldspat $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$		
10.	Organische Minerale		Whewellit $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

Tabelle 3: Mineralklassifikation nach Strunz [36]

Viele mineralische Rohstoffe dienen als Quelle für bestimmte Elemente oder chemische Verbindungen. Andere Rohstoffe sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften wie

Härte, Dichte, Korngröße, Kornform, Weißegrad, Plastizität oder Viskosität wertvoll und abbauwürdig. In vielen Fällen wird aber eine Kombination aus chemischen und physikalischen Eigenschaften gewünscht. So beruht zum Beispiel der hohe Marktwert von Quarzsand neben seinem hohen Siliziumgehalt und der hohen Reinheit auch auf seiner homogenen Korngrößenverteilung und Kornform. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften werden die Rohstoffe unterschiedlichen Industriesektoren zugeteilt. Üblicherweise findet ein mineralischer Rohstoff in mehreren Branchen Verwendung, wobei auch jede Branche mehrere Rohstoffe benötigt (Abb. 6). [7]

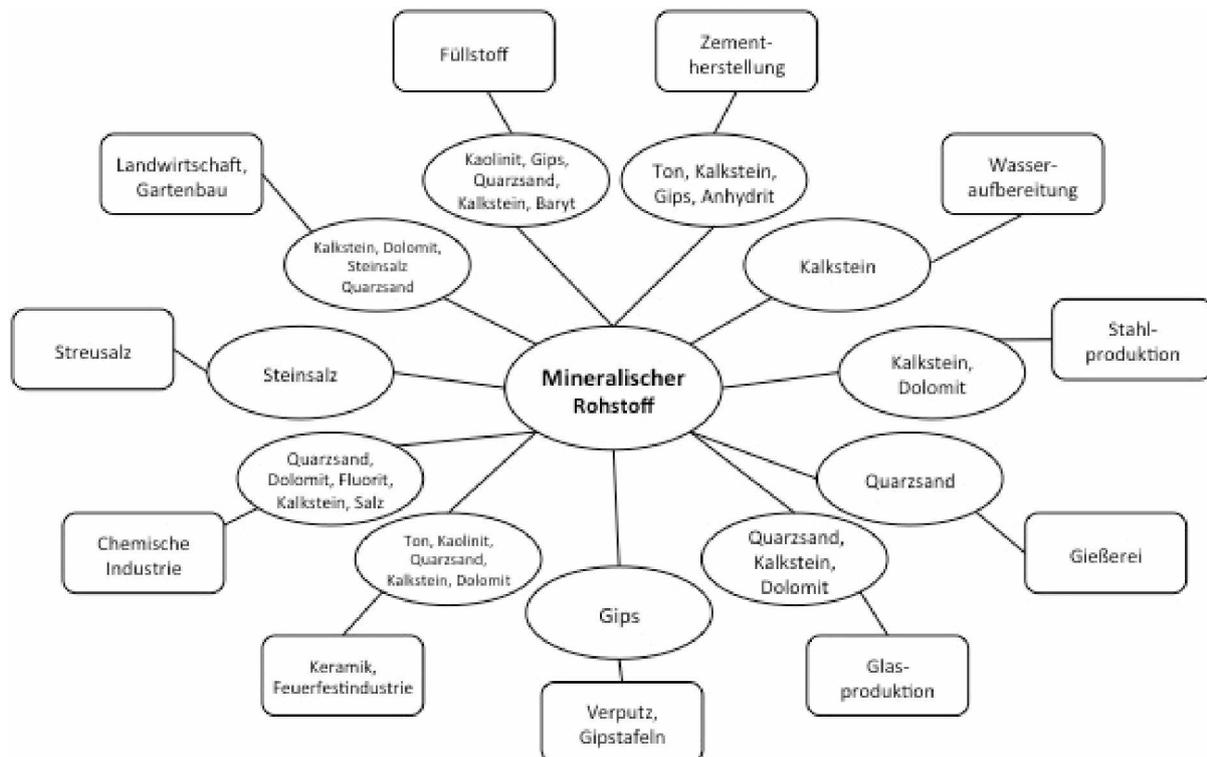


Abbildung 6: Rohstoffe und Industriesektoren [7]

2.3.4 Übersicht der Industriemineralien

Bei der Verwendung von Industriemineralen muss unterschieden werden zwischen den industriellen Mindestanforderungen an das Rohmaterial, welche die Abbauwürdigkeit beurteilen und den industriellen Anforderungen an das aufbereitete Zwischenprodukt das zur Herstellung von Endprodukten benötigt wird (z. B. Talk für die Papierherstellung, Quarz für die Glasherstellung). Hauptaufgabe dieser Diplomarbeit war die Recherche der chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie an Industriemineralien sowie die Erstellung von Mineraltafeln, die sämtliche chemische Grenzwerte für mineralische Endprodukte enthalten. Grundlage dieser Recherche war die Literaturreihe „Bewertungskriterien der Industriemineralien, Steine und Erden, Geologisches Jahrbuch Reihe H“ von Walter Lorenz und Werner Gwosdz, da diese Reihe alle Industriemineralien enthält. Im Folgenden ist eine kurze Beschreibung der Mineralien dargestellt [36], [44].

Dolomit $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$

Dolomit gehört zur Mineralklasse der Karbonate. Das Mineral kristallisiert trigonal und entwickelt vorwiegend rhomboedrische oder prismatische Kristalle von weißer bis gelbbrauner Farbe. Die Mohshärte=3,5 bis 4 und die Dichte=2,9 g/cm³. Die Kristalle zeigen eine perfekte Spaltbarkeit, Glasglanz und einen muscheligen Bruch.

Magnesit $MgCO_3$

Magnesit gehört zur Mineralklasse der Karbonate, besitzt eine Härte nach Mohs von 3,5 bis 4 und eine Dichte von 3 g/cm^3 . Das Kristallsystem ist trigonal. Die Kristalle sind rhomboedrisch oder prismatisch ausgebildet. Das Mineral besitzt eine perfekte Spaltbarkeit, Glasglanz und einen muscheligen Bruch. Die Farbe variiert von farblos, weiß, gelblich, bräunlich bis schwarz.

Calcit $CaCO_3$

Calcit gehört zur Mineralklasse der Karbonate. Charakteristisch für dieses Mineral ist die geringe Härte (Härte nach Mohs=3) und das Aufbrause in kalter Salzsäure. Das Kristallsystem ist trigonal, die Kristalle sind meist rhomboedrisch oder prismatisch. Weitere Eigenschaften sind: Muscheliger Bruch, Dichte von $2,7 \text{ g/cm}^3$, perfekte Spaltbarkeit, Glasglanz. Die Farbe variiert von farblos, weiß, grau bis grau, grün und gelb.

Talk $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$

Talk ist ein sehr häufig vorkommendes Schichtsilikat. Es kristallisiert im triklinen oder monoklinen Kristallsystem und entwickelt vorwiegend blättrige, massige Kristalle. Die Eigenschaften von Talk sind: eine Mohshärte von 1, eine Dichte von $2,8 \text{ g/cm}^3$, vollkommene Spaltbarkeit und Fettglanz. Die Farbe von Talk reicht von weiß, grau bis grünlich, gelblich.

Gips $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$

Gips ist ein Mineral aus der Mineralklasse der Sulfate, kristallisiert im monoklinen Kristallsystem und bildet meist prismatische, tafelige Kristalle. Das Mineral besitzt eine Mohshärte von 2, eine Dichte von $2,3 \text{ g/cm}^3$, muscheligen Bruch, perfekte Spaltbarkeit und Glasglanz. Die Farbe von Gips variiert von farblos, weiß, grau bis gelblich, bräunlich, rötlich.

Baryt $BaSO_4$

Baryt gehört zu der Mineralklasse der Sulfate und ist wegen der hohen Dichte von $4,5 \text{ g/cm}^3$ auch unter dem Synonym „Schwerspat“ bekannt. Das Mineral kristallisiert im orthorombischen Kristallsystem und bildet tafelige, prismatische Kristalle. Baryt zeigt vollkommene Spaltbarkeit, muscheligen Bruch und fettigen, glasigen Glanz. Die Härte nach Mohs beträgt 3 bis 3,5. Die Farbe variiert zwischen weiß, grau, gelblich bis rötlich, bräunlich, schwarz.

Quarz SiO_2

Quarz gehört zur Mineralklasse der Oxide und ist nach Feldspat das zweithäufigste vorkommende Mineral in der Erdkruste. Quarz kristallisiert im trigonalen Kristallsystem und bildet Kristalle von großer Farben- und Formenvielfalt. Charakteristisch für Quarz ist die Mohshärte von 7, eine Dichte von $2,65 \text{ g/cm}^3$, muscheliger Bruch, keine Spaltbarkeit.

Feldspat $(Ba, Ca, Na, K, NH_4)(Al, B, Si)_4O_8$

Feldspat ist ein Mineral aus der Mineralklasse der Gerüstsilikate. Feldspäte kristallisieren im triklinen oder monoklinen Kristallsystem und bilden tafelige, prismatische Kristalle aus. Die Dichte beträgt $2,5$ bis $2,8 \text{ g/cm}^3$, die Mohshärte 6 bis 6,5. Weitere Eigenschaften sind: muscheliger Bruch, vollkommene Spaltbarkeit, Glasglanz. Die Farbe variiert von farblos, weiß bis rosa, grün, blau, braun.

Muskovit $KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$

Muskovit ist ein, zu den Glimmern gehörendes, häufig vorkommendes Mineral aus der Mineralklasse der Schichtsilikate. Es kristallisiert im monoklinen oder triklinen Kristallsystem und bildet tafelige, blättrige Kristalle. Muskovit zeigt vollkommene Spaltbarkeit, unebenen Bruch, Glas- oder Perlmutterglanz. Die Mohshärte beträgt 2,5 und die Dichte 2,8 g/cm³. Die Farbe reicht von farblos bis gelblich, bräunlich. Eine besonders feinschuppige Form des Muskovits wird als Serizit bezeichnet.

Biotit $K(Mg,Fe,Mn)_3[(OH,F)_2/(Al,Fe,Ti)Si_3O_{10}]$

Biotit ist ein, zu den Glimmern gehörendes, sehr weit verbreitetes Mineral aus der Mineralklasse der Schichtsilikate. Es kristallisiert blättchenförmig im monoklinen Kristallsystem und bildet meist durchscheinende tafelige, prismatische Kristalle mit Perlmutterglanz. Das Mineral hat eine Mohshärte von 2 bis 3 und eine Dichte von 2,7 bis 3,3 g/cm³.

Phlogopit $KMg_3[(F,OH)_2/AlSi_3O_{10}]$

Phlogopit ist ein, ebenfalls zu den Glimmern gehörendes, Mineral aus der der Mineralklasse der Schichtsilikate. Es entwickelt tafelige, prismatische Kristalle und kristallisiert im triklinen Kristallsystem. Die Mohshärte beträgt 2 bis 3, die Dichte 2,8 g/cm³. Der Bruch ist uneben, die Spaltbarkeit vollkommen, die Farbe variiert von braun, grau bis grün, gelb.

Glaukonit $(K,Na)(Fe,Al,Mg)_2[(OH)_2/(Si,Al)_4O_{10}]$

Glaukonit, ein Mineral aus der Mineralklasse der Schichtsilikate, kristallisiert im monoklinen Kristallsystem und entwickelt plattige bis erdige Aggregate von grüner bis gelblicher, bläulicher Farbe. Die Mohshärte beträgt 2, die Dichte 2,4 bis 3, die Spaltbarkeit ist vollkommen, der Bruch uneben. Das Mineral besitzt einen glasigen, fettigen Glanz.

Kaolinit $Al_4[(OH)_3/Si_4O_{10}]$

Kaolinit gehört zur Mineralklasse der Schichtsilikate. Es kristallisiert im triklinen Kristallsystem und bildet blättrige, schuppige Kristalle von meist weißer Farbe. Das Mineral hat eine Mohshärte von 2 bis 2,5 und eine Dichte von 2,6 g/cm³. Der Bruch ist uneben, die Spaltbarkeit vollkommen.

Olivin $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$

Olivin gehört zur Mineralklasse der Silikate. Das Mineral kristallisiert im orthorhombischen Kristallsystem und entwickelt durchsichtige Kristalle mit Glasglanz und tafeligem bis prismatischem Habitus. Der Bruch ist muscheliger, die Mohshärte beträgt 6,5 bis 7 und die Dichte 3,2 bis 4,4 g/cm³. Die Farbe ist meist hell- bis dunkelgrün.

Nephelin $(Na,K)[AlSiO_4]$

Nephelin ist ein Mineral aus der Mineralklasse der Silikate. Es kristallisiert im hexagonalen Kristallsystem und bildet prismatische Kristalle mit muscheliger Bruch und glasigem Glanz. Nephelin hat eine Mohshärte von 5,5 bis 6 und eine Dichte von 2,6 g/cm³. Die Farbe variiert von farblos, weiß bis grau, grün, gelb, braun.

Augit $(Ca,Fe)(Mg,Fe)[Si_2O_6]$

Augit gehört zur Mineralklasse der Silikate. Es kristallisiert im monoklinen Kristallsystem und bildet prismatische Kristalle von grüner, brauner, schwarzer Farbe mit vollkommener

Spaltbarkeit, muscheligen Bruch und glasigen Glanz. Die Mohshärte beträgt 5 bis 6,5 und die Dichte $3,3 \text{ g/cm}^3$.

Hornblende $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Hornblende ist ein Mineral aus der Mineralklasse der Silikate. Es kristallisiert im monoklinen Kristallsystem und entwickelt prismatische Kristalle von schwarzer, dunkelgrüner Farbe mit sprödem Bruch, perfekter Spaltbarkeit und glasigen Glanz. Die Mohshärte beträgt 5,5 und die Dichte $3,2 \text{ g/cm}^3$.

Fluorit CaF_2

Fluorit, auch unter dem Synonym Flussspat bekannt, gehört zur Mineralklasse der Halogenide. Es kristallisiert im kubischen Kristallsystem und bildet durchsichtige, farblose Kristalle mit Glasglanz, vollkommener Spaltbarkeit und muscheligen Bruch. Verfärbungen des Kristalls stammen von Verunreinigungen im Kristallgitter. Fluorit hat eine Mohshärte von 4 und eine Dichte von $3,5 \text{ g/cm}^3$.

Gibbsit $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$

Gibbsit, ein eher selten vorkommendes Mineral, gehört zur Mineralklasse der Hydroxide. Es kristallisiert im monoklinen Kristallsystem und bildet tafelige Kristalle mit Glasglanz, unebenem Bruch und vollkommener Spaltbarkeit von farblos bis grauer und grüner Farbe. Gibbsit hat eine Mohshärte von 2,5 bis 3,5 und eine Dichte von $2,4 \text{ g/cm}^3$.

Böhmit $\gamma\text{-AlOOH}$

Böhmit ist ein Mineral der Mineralklasse der Hydroxide. Es kristallisiert im orthorhombischen Kristallsystem und entwickelt körnige bis massige Aggregate von weißer, gelber, gelbgrüner, rotbrauner Farbe mit Glas- oder Perlmutterglanz und vollkommener Spaltbarkeit. Die Mohshärte ist 3,5 und die Dichte 3 g/cm^3 .

Diaspor $\text{AlO}(\text{OH})$

Diaspor gehört zur Mineralklasse der Hydroxide. Es kristallisiert im orthorhombischen Kristallsystem und bildet tafelige Kristalle oder körnige, massige Aggregate mit Glas- oder Perlmutterglanz und muscheligen Bruch. Diaspor hat eine Mohshärte von 6,5 bis 7 und eine Dichte von $3,3$ bis $3,5 \text{ g/cm}^3$. Ein reiner Kristall ist farblos. Farben entstehen von Verunreinigungen im Kristallgitter.

2.3.5 Industrielle Anforderungen an Industriemineralien

Im Falle einer Verwendung von Tunnelausbruchsmaterial als mineralischer Rohstoff sind Betriebe des Abbaus und der Aufbereitung die erste Anlaufstelle. Betriebe der Aufbereitung verarbeiten das Tunnelausbruchsmaterial zu Produkten, welche direkt verwendet werden können oder zu Zwischenprodukten, welche für die Herstellung von Endprodukten benötigt werden (Abb. 7). Betriebe der Aufbereitung haben andere Anforderungen an mineralische Rohstoffe, als Betriebe welche Endprodukte erzeugen. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 4 am Beispiel Quarzit dargestellt. Daraus ist ersichtlich dass die Fertigung von Produkten einen reineren Rohstoff verlangt als die Aufbereitung.

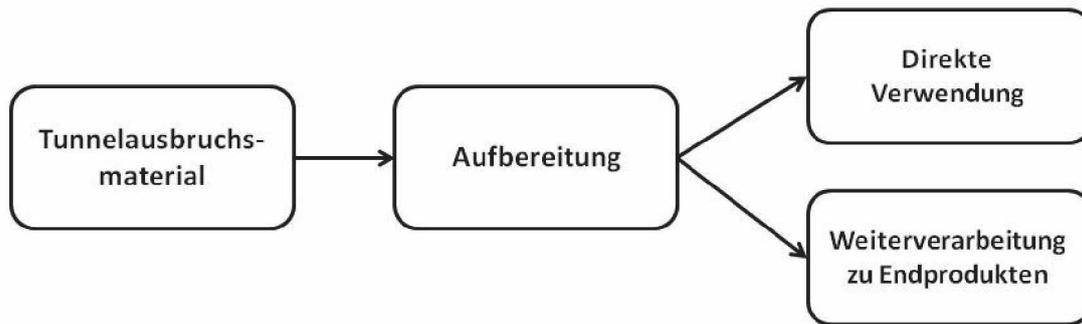


Abbildung 7: Mögliches Ablaufschema für die Verwendung von Tunnelausbruchsmaterial

Chemische Zusammensetzung (M-%)	Typische Zusammensetzung von Quarzit (Rohmaterial)	Anforderung an Quarzit für die Aufbereitung	Anforderung an Quarzit für die Herstellung von Feuerfest-Produkten
SiO ₂	95,00	96,5-100,0	96,0-98,0
TiO ₂	-	-	0,0-0,2
Al ₂ O ₃	2,75	0,3-2,5	0,5-1,0
Fe ₂ O ₃	0,50	0,1-1,0	0,3-1,0
MgO	0,15	-	0,0-0,1
CaO	0,15	0,0-0,2	0,0-0,3
Na ₂ O	-	-	0,0-0,1
K ₂ O	-	-	0,0-0,1
Glühverlust	1,50	-	-

Tabelle 4: Anforderungen an Quarzit für Aufbereitung und Weiterverarbeitung

Endprodukte können dann erzeugt werden, wenn das Ausbruchsmaterial den chemischen Anforderungen der Aufbereitung entspricht und diese wiederum das Material qualitativ so gut aufbereiten kann, dass es letztlich den chemischen Anforderungen der Fertigungsindustrie entspricht. Diese Arbeit konzentriert sich auf die chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie bzw. auf die Weiterverwendung des Rohstoffes nach der Aufbereitung. Die folgenden Tabellen zeigen die chemischen Anforderungen in Form von Grenzwerten an Industriemineralen. Die Tabellen wurden einerseits für die Produktions- und Produktkontrolle von Mineralrohstoffbetrieben erstellt und andererseits zeigen die Tabellen Eingangsparameter für die unterschiedlichen Anschluss- bzw. Fertigungsindustrien. Entspricht die Qualität des Gesteins aus dem Tunnelvortrieb den chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie, kann es dieser auch zugeführt werden. Natürlich vorkommende Gesteine variieren in ihrer chemischen Zusammensetzung. In jeder Lagerstätte herrscht ein anderer Chemismus obwohl die Gesteine und Minerale den gleichen petrographischen Namen haben. Da es eine ideale chemische Zusammensetzung für die Industrie nicht gibt oder besser, weil ein idealer Rohstoff selten zur Verfügung steht, schreibt diese einen Grenzbereich vor um das Gestein bzw. den Rohstoff für industrielle Fertigungsprozesse verwenden zu können. So wird z. B. bei

Kalkstein ein niedriger Kieselsäure-Gehalt (im Durchschnitt weniger als 5 %, je nach Anwendung) und ein hoher Calcium-Oxid-Gehalt (im Durchschnitt mehr als 50 %, je nach Anwendung) gewünscht. Diese Arbeit konzentriert sich auf die chemischen Anforderungen der Fertigprodukt erzeugenden Industrie bzw. auf die Anforderungen/Weiterverwendung nach der Aufbereitung des Rohstoffes.

2.3.5.1 Anforderungen und Verwendungspotential von Kalkstein

Kalkstein ist einer der vielseitigsten Rohstoffe unserer Gesellschaft. Ungefähr 70 % werden in der chemischen und metallurgischen Industrie verbraucht. Große Mengen teilen sich die Rauchgasentschwefelung und die Abwasserbehandlung. Die restlichen 30 % gehen in die Bauwirtschaft und Düngerezeugung. Zunehmend ist die Verwendung als karbonatischer Füllstoff der einen sehr hohen Weißegrad voraussetzt. [31]

Kalkstein	Verwendungszweck					
	Metallurgie	Glasproduktion	Mineralwolle	Zucker Produktion	Filterkies	Anstrich
SiO ₂	< 1.5	< 2		< 1		
FeO						
Fe ₂ O ₃		0.01 - 0.3		< 1.5		
Al ₂ O ₃	< 1	0.3 - 1		< 1.5		
Na ₂ O	< 0.5	< 0.05		< 0.05		
K ₂ O	< 0.5	< 0.05		< 0.05		
CaCO ₃	> 95	> 98	> 85	> 98.5	> 95	> 98.5
CaO	> 95.2	> 55.2	> 47.6	> 55.2	> 53.2	> 55.2
MgO	< 5			< 4		
MgCO ₃	< 10			< 4		
TiO ₂						
P ₂ O ₅	< 0.01	< 0.5				
Cr ₂ O ₃						
SO ₃	< 0.05	< 0.5		< 0.05		< 0.5
Cl						
Cu						
Pb		< 0.5				
MnO						
Unlösliches		0.5 - 1.0		< 4		
Glühverlust						< 2
Korngröße	0-3, 0-8, 8-40, 20-63 mm als Pulver bevorzugt			30-400 mm	38 - 64 mm	< 75 µm

Tabelle 5: Anforderungen an Kalkstein für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Kalkstein	Verwendungszweck					
	Chemische Zusammensetzung (M-%)	Gummi	Kunststoffe	Farben	Lebensmittel, Kosmetika, Pharmazeutika, Zahnpasten	Papier
SiO ₂			< 2		< 2	< 3
FeO						
Fe ₂ O ₃					< 0.01	
Al ₂ O ₃					< 2	
Na ₂ O		< 0.5				
K ₂ O		< 0.5				
CaCO ₃	> 98.5	< 98.5	> 98.5	> 98	> 93	> 95
CaO	> 55.2	< 55.2	> 55.2	> 54.9	> 52.1	> 53.2
MgO			< 3	< 2	< 2	< 2
MgCO ₃				< 4	< 4	< 4
TiO ₂						
P ₂ O ₅						
Cr ₂ O ₃						
SO ₃			< 0.2			
Cl						
Cu	< 0.0003					
Pb						< 0.004
MnO	< 0.03					
Unlösliches				< 5		
Glühverlust						
Korngröße	< 74 µm	100 % < 44 µm	5 - 44 µm	< 74 µm	98 % < 43 µm	95 % < 0.15 mm

Tabelle 6: Anforderungen an Kalkstein für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Kalkstein	Verwendungszweck					
	Düngemittel	Asphalt	Carbid Produktion	Branntkalk	Soda Produktion	Bleichmittel
SiO ₂			< 1.2		< 3	< 1.5
FeO						
Fe ₂ O ₃			< 0.75	< 0.9	< 1.5	< 0.3
Al ₂ O ₃			< 0.75	< 0.9	< 1.5	
Na ₂ O					< 0.05	
K ₂ O					0.05	
CaCO ₃	> 85		> 97	> 95	> 90	> 95
CaO	> 47.6		> 54.4	> 53.2	> 50.4	> 53.2
MgO	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 2
MgCO ₃	< 4	< 4	< 4	< 5	< 3	< 4
TiO ₂						
P ₂ O ₅			< 0.015			
Cr ₂ O ₃						
SO ₃					< 0.05	
Cl						
Cu						
Pb						
MnO						
Unlösliches				< 1		
Glühverlust						
Korngröße	0.18 - 1.25 mm	90 % < 90 µm		Drehofen: 10 - 60 mm	50-125 mm	

Tabelle 7: Anforderungen an Kalkstein für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Kalkstein	Verwendungszweck						
	Chemische Zusammensetzung (M-%)	Keramische Produkte, Qualität I	Keramische Produkte, Qualität II	Zement	Landwirtschaft	Bergwerkskalk	Portland Zement
SiO ₂	< 2	< 2	16 - 35		< 4	< 15	
FeO							
Fe ₂ O ₃	< 0.3	< 0.3	1 - 8	< 1		< 4	
Al ₂ O ₃			2 - 20	< 1		< 5	
Na ₂ O			1 - 7	< 0.05		< 1	
K ₂ O			1 - 7	< 0.05		< 1	
CaCO ₃	> 96	> 89		> 90	> 90	> 75	
CaO	> 53.8	> 49.9	28 - 55	> 50.4	> 50.4	> 42	
MgO	< 0.5	< 4	3 - 32			< 3	
MgCO ₃	< 1	< 8				< 6	
TiO ₂							
P ₂ O ₅						< 0.5	
Cr ₂ O ₃							
SO ₃	< 0.1	< 0.1	0.5 - 3	< 0.05	< 0.05	< 0.5	
Cl						< 0.2	
Cu							
Pb							
MnO							
Unlösliches					< 5		
Glühverlust			22.9 - 41.3				
Korngröße	80 % < 74 µm			< 2 mm	100 % < 0.84 mm	Abhängig vom Drehofen	

Tabelle 8: Anforderungen an Kalkstein für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

2.3.5.2 Anforderungen und Verwendungspotential von Dolomit

Verwendet wird Dolomit als Rohstein in der Eisenverhüttung und in der Landwirtschaft, in gebrannter Form in der Düngererzeugung, Abwasserbehandlung und Glaserzeugung und als Sinter zur Ofenauskleidung in der Eisen-, Stahl-, Zement-, und Kalkproduktion. [31]

Dolomit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Roheisen	Stahlproduktion	Kunststoff/Gummi	Flachglas	Hohlglas	Glasfasern
SiO ₂	< 3	< 3	< 0.6	< 0.6	< 0.5	
Fe ₂ O ₃	< 1.5	< 0.8	< 0.1	< 0.25	< 0.1	< 0.2
Al ₂ O ₃		< 0.8	< 0.1	< 0.4	< 0.5	< 0.2
CaO	31 - 35	< 35		> 29.5	> 29.5	
MgO	16 - 20	> 19	> 21	> 21.4	> 21.4	
SO ₃	< 0.1			< 0.2		
MnO						

Tabelle 9: Anforderungen an Dolomit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Dolomit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Schotter	Gleisschotter	Gesteinsmehl	Landwirtschaft	Mg-Produktion	Feuerfestprodukte
SiO ₂	0.5 - 4.5		< 3		< 1.5	0.2 - 0.5
Fe ₂ O ₃	1 - 2.5			< 0.3	< 1	0.2 - 0.5
Al ₂ O ₃	1 - 2.5				< 1	0.2 - 0.3
CaO		< 40		< 40	< 35	< 35
MgO	15 - 20	> 10		> 10	> 19	> 19
SO ₃						
MnO						

Tabelle 10: Anforderungen an Dolomit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Dolomit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Stahlproduktion	Chemische Industrie	Neutralisation von Abwässern	Baukalk	Landwirtschaft	Bodenverbesserung
SiO ₂	< 0.75	< 8				
Fe ₂ O ₃	< 1.3	< 4				
Al ₂ O ₃	< 0.4	< 4				
CaO	57	> 80	< 35	> 85	70 - 95	> 80
MgO	39	> 30	> 19	> 30	> 10	< 10
SO ₃	< 0.05	< 1		< 2		< 2
MnO	< 0.2					

Tabelle 11: Anforderungen an Dolomit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

2.3.5.3 Anforderungen und Verwendungspotential von Magnesit

Magnesit wird vor allem zur Ofenausmauerung in der Feuerfest- und Stahlindustrie verwendet (ca. 80 %). Untergeordnet wird Magnesit zur Herstellung von Isolierplatten, als Zusatz für Viehfutter und Dünger und als Füllstoff für Papier und Plastik verwendet. [31]

Magnesit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Pharmazeutika	Düngemittel	Stahlindustrie	Tierfutter	Papierindustrie	Wasseraufbereitung
SiO ₂				< 10	< 3	
Fe ₂ O ₃				2 - 3	< 0.5	
Al ₂ O ₃				1		
CaO	< 0.2			< 2		< 10
MgO	> 99.2	80 - 87	70 - 90	70 - 90	70 - 90	70 - 90
B ₂ O ₃						

Tabelle 12: Anforderungen an Magnesit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Magnesit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Zement	Gipstafeln	Glasindustrie	Feuerfestziegel	Feuerfestprodukte für Stahl	Feuerfestindustrie
SiO ₂			< 3	< 3	< 0.6	< 2.6
Fe ₂ O ₃			1 - 2.5	1 - 7	< 0.4	< 1
Al ₂ O ₃				< 2	< 0.4	
CaO			< 5	< 5	< 1.4	< 1
MgO	75 - 87	65 - 75	65 - 95	85 - 95	> 97	96 - 97
B ₂ O ₃			0.01	0.01	< 0.05	

Tabelle 13: Anforderungen an Magnesit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

Magnesit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Wärmespeicher	Elektronikindustrie	Transformatorstahl	Füllstoff in Gummi	Gipstafeln	Stahlindustrie
SiO ₂	5	1.5 - 2.5				
Fe ₂ O ₃	2 - 3	< 0.1				
Al ₂ O ₃						
CaO	1	0.7 - 1	< 0.15	< 0.2		
MgO	90	96 - 98	> 99.4	> 99.2	65 - 75	70 - 90
B ₂ O ₃		< 0.005				

Tabelle 14: Anforderungen an Magnesit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

2.3.5.4 Anforderungen und Verwendungspotential von Talk

Talk besitzt ein sehr breites Verwendungsspektrum. Große Mengen werden in der Feinkeramik, Elektrotechnik, Farben-, Papier-, Gummi-, Feuerfestindustrie, in der chemischen, kosmetischen und pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Die Anforderungen an diesen Rohstoff sind sehr unterschiedlich, der Weißegrad ist aber eines der Hauptkriterien und sollte besonders hoch sein. [31]

Talk	Verwendungszweck				
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Keramik	Farben	Kunststoff, Gummi	Papier	Kosmetika, Pharmazie
SiO ₂	> 60	50 - 65			
MgO	> 30	24 - 32			> 30
Al ₂ O ₃	< 2.5				
Fe ₂ O ₃	< 1.5			< 2	< 0.75
CaO	< 1	< 9		< 1	< 1.5
Na ₂ O+K ₂ O	< 1				
Cu			< 0.005		
Cl				< 0.05	< 0.014
As					< 0.0003
Pb					< 0.002
Schwermet.					< 0.002
Glühverlust	< 6	< 7		< 4	< 6

Tabelle 15: Anforderungen an Talk für wichtige Verwendungszwecke nach [9]

2.3.5.5 Anforderungen und Verwendungspotential von Gips/Anhydrit

Gips wird in erster Linie für Produkte der Bauindustrie verwendet (Gips, Platten). Weitere Abnehmer sind die Zement- und Düngerindustrie. Anhydrit wird ebenfalls dem Zementklinker als Abbinde-Verzögerer beigemischt. [31]

Gips, Anh.	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Schaltafeln	Bindemittel	Abbindeverzögerer im Zement	Gips	Keramikformen	Füllstoffe
SiO ₂	< 1			< 0.7	< 6.5	
Fe ₂ O ₃	< 0.15			< 0.1	< 0.1	
Al ₂ O ₃						
Na ₂ O	< 0.06	< 0.06				
CaCO ₃		< 5				
MgO	< 0.1		< 3	< 0.5	< 3.5	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	> 70	> 70	> 70	> 95	> 95	> 95
CaSO ₄			> 90			
CO ₂				< 1	< 3	
Cl	< 0.01	< 0.01	< 0.5	< 0.01	< 0.01	< 1.8

Tabelle 16: Anforderungen an Gips/Anhydrit für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

2.3.5.6 Anforderungen und Verwendungspotential von Baryt

85 % der Baryt-Weltproduktion wird für die Erdölindustrie verwendet. Dort dient der Rohstoff der Einstellung der Dichte von Tiefbohrspülungen. Weitere Anwendungsgebiete liegen in der Beton-, Glas-, Keramik-, Plastik-, Papier- und Farbenindustrie. Chemisch gefällt wird BaSO₄ als Röntgenkontrastmittel in der Medizin eingesetzt. [31]

Baryt	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Bohrspülung	Füller in Kunststoffen	Füller in Bremsbelägen	Lithopone	Chemische Industrie	Schwerbeton
SiO ₂		< 3		2 - 5	< 2	
Fe ₂ O ₃			< 1		< 2	< 1
CaCO ₃	< 1.5				< 1.5	
CaO				< 1	< 2	
BaSO ₄	> 92	88 - 94	> 95	>94	> 94	> 95
CaF ₂					< 0.5	
SrSO ₄			< 2	< 1	< 2	< 2

Tabelle 17: Anforderungen an Baryt für wichtige Verwendungszwecke nach [8]

2.3.5.7 Anforderungen und Verwendungspotential von Quarzrohstoffen

Quarzkristalle finden primär in der optischen und elektronischen Industrie Verwendung. Quarzsande und Kiese werden nach ihrer Verwendung in Industriesande (Glassande, Schleifsande, Emailsande, Ölsande, Formsande, Filtersande) und Bausande (Mörtelsande, Putzsande, Frostschutzsande, Schüttsande) eingeteilt. Quarzite werden zur Ofenauskleidung in der Feuerfestindustrie verwendet. Die Tabellen 17 bis 21 zeigen das breite Verwendungsspektrum der diversen Quarzrohstoffe. [31]

Quarz	Verwendungszweck - Quarzrohstoffe					
	Bergkristall		Gangquarz			
Chemische Zusammensetzung (M.-%)	Quarzglas	Piezoquarz	Optisches Glas	Fe-Silikat	Si-Metall (Chemie)	Si-Metall (Metallurgie)
SiO ₂	99,99	99,99	> 99,7	>96 (>98)	>99,3	> (98-) 99
Fe ₂ O ₃	< 0,001	< 0,001	0,001-0,002	< 0,2-(0,6)	< 0,05	< 0,1
Al ₂ O ₃	< 0,01	< 0,01	< 0,2	< 0,4(-1,5)	< 0,1	< 0,2
Na ₂ O			< 0,02	< 0,3		
K ₂ O						
CaO				< 0,2	< 0,005	0,2
MgO				< 0,2		< 0,1
TiO ₂				< 0,1	< 0,002	< 0,02
Cr ₂ O ₃			< 0,5-1			
Kontamination				P < 0,1	P, As=0	P, As=0
Organik						
Korngröße [mm]	20-50		20-70 (-100)		25-75	30-70

Tabelle 18: Anforderungen an Quarzrohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [10]

Quarz	Verwendungszweck - Quarzrohstoffe					
	Quarzit			Zementquarzit		Kies
Chemische Zusammensetzung (M.-%)	Feuerfest Industrie	Rammmasse	Betonzuschlagstoff, Straßenbaumaterial, Säure resistenter Füller	Feuerfest Produkte		Schleifmittel, Füller für Straßenbau
SiO ₂	>95	> 96	> 95	96-98		99
Fe ₂ O ₃	< 0,5	< 0,5	0,5	Qualität 1: < 0,3-1	Qualität 2: < 1,5	0,1
Al ₂ O ₃	variabel	< 1 (2,5)	variabel	Qualität 1: < 0,5-1	Qualität 2: < 2,5	
Na ₂ O	< 0,3	< 0,3		< 0,1		
K ₂ O						
CaO	< 0,5	< 0,4		< 0,3		
MgO	< 0,5	< 0,4				
TiO ₂		< 0,2		< 0,2		
Cr ₂ O ₃						
Kontamination	< 4			Qualität 1: 1-2,5	Qualität 2: < 4	
Organik				2 bis 5		
Korngröße [mm]			variabel			

Tabelle 19: Anforderungen an Quarzrohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [10]

Quarz	Verwendungszweck - Quarzrohstoffe					
	Kies	Industriesand, Quarz-Sandstein				
Chemische Zusammensetzung (M.-%)	Mahlsteine	Kristallglas	Weißglas	Hohlglas, Weiß	Hohlglas, Braun	Hohlglas, Grün
SiO ₂	98	> 99	> 99	> 98		
Fe ₂ O ₃	0,1	< 0,012	< 0,025	< 0,03	< 0,07	< 0,7
Al ₂ O ₃		< 0,02	< 0,02	< 0,3	< 2	< 6
Na ₂ O		< 0,01	< 0,01	< 0,01		
K ₂ O						
CaO		< 0,05	< 0,05	< 0,05		
MgO		< 0,05	< 0,05			
TiO ₂		< 0,03	< 0,03			
Cr ₂ O ₃		< 0,001	< 0,001	< 0,01		
Kontamination						
Organik						
Korngröße [mm]	30-150			0,1-0,5 (0,6)		

Tabelle 20: Anforderungen an Quarzrohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [10]

Quarz	Verwendungszweck - Quarzrohstoffe						
	Industriesand, Quarz-Sandstein						
Chemische Zusammensetzung (M.-%)	Flachglas	Bremssand	Reibsand	Filtersand/kies	Bruchsand	Wasserglas	
SiO ₂		> 95	> 95 (99)	> 96	> 98	> 99	
Fe ₂ O ₃	< 0,05				0.15-0.5	< 0.05	
Al ₂ O ₃	< 0,05				0.1-0.8	< 0.25	
Na ₂ O	< 0,05				physik. parameter wichtiger als chemische zusammensetzung		
K ₂ O							
CaO	< 0,05						< 0.05
MgO							
TiO ₂	< 0,03						
Cr ₂ O ₃	< 0,002						
Kontamination					< 0.1		
Organik				< 0.5	< 0.1 (< 0.3)		
Korngröße [mm]	0,1 - 0,5 (0,6)	variabel	(0.1) 0.4-1.9 (5)	variabel	1.8-2.5; 0.9-2.0; 0.4-0.9;	0.1-0.7	

Tabelle 21: Anforderungen an Quarzrohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [10]

Quarz	Verwendungszweck - Quarzrohstoffe			
	Industriesand, Quarz-Sandstein			
Chemische Zusammensetzung (M.-%)	Silikon-carbid	Flussmittel	Quarz-mehl für glas-, keramikindustrie	Gießereisand
SiO ₂	99	> 90	97-98	98-99
Fe ₂ O ₃	< 0.1	< 1.5	< 0.25	< 0.1
Al ₂ O ₃	0.05-0.2	< 1.5	< 0.5	variabel
Na ₂ O				
K ₂ O				
CaO	0	< 0.2		
MgO	0			
TiO ₂				
Cr ₂ O ₃				
Kontamination	P = 0			
Organik				
Korngröße [mm]	0.2-1		sehr fein	0.06-1

Tabelle 22: Anforderungen an Quarzrohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [10]

2.3.5.8 Anforderungen und Verwendungspotential von Feldspat

Die Verwendung von Feldspat liegt hauptsächlich (> 95 %) in der Erzeugung von Keramik, Glasuren und Glas. Zunehmend aber werden die Feldspäte auch als Füllstoffe in Plastik, Farben und Gummi sowie als milde Abrasiva eingesetzt. Die Anforderungen an den Rohstoff sind dementsprechend sehr unterschiedlich: Die Keramik-Industrie braucht das Material als leicht schmelzendes Flussmittel und fordert deshalb möglichst hohen Alkaligehalt und geringe freie Kieselsäure, meist auch niedrigen Eisen-Gehalt. Die Glasindustrie verwendet die Feldspäte hauptsächlich als billiges Regulativ für den Aluminiumgehalt, der dem Glas verbesserte Haltbarkeit verleiht. Die Verwendung anderer, Aluminium-reicherer Minerale, z. B. Bauxit, Kaolin, Disthen usw. scheitert entweder an höheren Kosten oder an unzulässig hohen Eisengehalten. Das gebräuchliche Schmelzmittel der Glasindustrie ist Soda, so dass der Alkaligehalt der Feldspäte eine geringere Rolle spielt. Im Einzelnen sind aber die Anforderungen an verschiedene Endprodukte sehr unterschiedlich. [31]

Feldspat		Verwendungszweck				
Chemische Zusammensetzung (M-%)			Farbiges Hohlglas	Keramika	Emailware	Glasuren
	Hohlglas, Glasfasern, Glühbirnen, TV-Röhren	Flachglas, Haushaltsglas, Pharmaz. Glas				
SiO ₂	65-69		< 69	65-69	65-66.5	
TiO ₂	0.04-0.05		0.04-0.5	0.04-0.5		0.1-0.3
Al ₂ O ₃	17-19		17-19	17-19	18.75-19.75	
Fe ₂ O ₃	< 0.035;		< 0.3	0.03-0.3	< 0.1	0.15-1.0
MgO	< 0.04		< 0.04	0.02-0.04	< 0.1	
CaO	< 0.03		< 1.5	0.02-0.5	< 0.5	
Na ₂ O	0.6-0.8		5-7	0.5-6.0	2-3	13-15
K ₂ O	> 12		4-6	4-14	12-13	13-15
Cr ₂ O ₃	< 0.0005			0.2-1.0		
Glühverlust	< 0.3		< 0.3		0.5-1.2	0.5-1.2
Bemerkungen				Kein Co, Mn		

Tabelle 23: Anforderungen an Feldspat für wichtige Verwendungszwecke nach [11]

2.3.5.9 Anforderungen und Verwendungspotential von Glimmerrohstoffen

Muskovit und Phlogopit sind in Vorkommen und Verwendung eng verwandt. Beide Minerale werden in dünnen Tafeln in der Elektroindustrie eingesetzt. Phlogopit wird für Prozesse mit höheren Temperaturen bevorzugt, da dieser erst bei einer Temperatur von 850-1000 °C Wasser abgibt, Muskovit hingegen bei 400-500 °C. Andere Einsatzgebiete sind: Dachpappenerzeugung, Zusatz zu Bohrspülungen, Farben, Edelputze und Füller in Plastikwaren. Serizit ist eine feinschuppige Varietät von Muskovit. Glaukonit wird zur Wasserenthärtung, Bodenverbesserung und zur Herstellung grüner Farbpigmente verwendet. [31]

Glimmer	Verwendungszweck - Glimmerrohstoffe					
	Muscovit	Phlogopit	Serizit		Glaukonit	
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Füller	Füller in Kunststoffen	Keramika	Füller	Wasser-enthärteter	Boden-verbesserung
SiO ₂	43-49	37-45			51.8	
Al ₂ O ₃	30-40	9-18	15-39		störend in Al-/Fe-Böden	
Fe ₂ O ₃	< 3.5		< 1	störend		
MgO	< 1	20-29			2.7	
K ₂ O	9-12	7-12	2-10		7	> 5
F		< 6				
TiO ₂		< 9			0.2	
Na ₂ O		< 4	2-10		< 0.1	
CaO		3			< 0.1	
SO ₄			störend			
Glühverlust	< 6.5				6.5	

Tabelle 24: Anforderungen an Glimmerrohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [12]

2.3.5.10 Anforderungen und Verwendungspotential von kaolinitischen Tonen

Kaolin und kaolinitische Tone werden überwiegend als feinkörnige, hochweiße Materialien zur Füllung und Beschichtung von Papier verwendet. Auf diesen Markt drängen aber auch Kalziumkarbonat, Talk und Gips, die jedoch nicht in allen Anforderungen an die Eigenschaften von Kaolin heranreichen. Andere hochwertige Kaoline werden als funktionelle Füller in Farben, Gummi, Plastikprodukten, Medikamenten und als Hauptbestandteil von Porzellan verwendet. Geringere Qualitäten, die meist aus Trockenaufbereitungen stammen, braucht die Erzeugung von Keramik minderer Qualität, von refraktären Massen, Zement, Dünger, usw. Zur Beurteilung der Eignung des Kaolins einzelner Lagerstätten für bestimmte Anwendungen sind mineralogische und technologische Untersuchungen erforderlich. [31]

Ton	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Sanitäre Keramik	Porzellan	Bindeton	Feuerfeston	Bindeton in Futtermittel	Füller (chem. Ind.)
SiO ₂	46-55	55-60	< 55	48-55	48-58	< 56
Al ₂ O ₃	30-35	25-30	> 30	30-35	29-35	30-33
Fe ₂ O ₃	< 0.9-1.8	< 1.5	< 2	< 0.5	< 0.5	< 1
TiO ₂	< 1.3	< 1.6	< 1.5	< 1.5	< 0.5	< 1.5
CaO	0.2-0.5	0.2-0.5	0.3	0.2	0.2	< 0.5
MgO	< 0.5	0.2-0.5	0.1-0.7	0.1-0.3	0.1-0.3	0.2
K ₂ O	0.7-2.5	< 2.5	< 3	1.4-2.2	0.7-2.0	< 2.5
Na ₂ O	0.2-0.6	0.2-0.4	0.2-0.6	0.3	0.1-0.5	0.2-0.4
Glühverlust	8-15	8-10	< 15	< 13	< 15	8-11

Tabelle 25: Anforderungen an kaolinitische Tone für wichtige Verwendungszwecke nach [13]

2.3.5.11 Anforderungen und Verwendungspotential von Olivin

Mittlerweile ist die Rolle des Olivins in der Feuerfestindustrie gesunken, da Magnesit meist bevorzugt wird. Der größte Teil der Olivin-Produktion wird nunmehr als Schlackenbildner in der Eisenerzeugung verwendet, wobei ein höherer Eisengehalt zulässig ist. Weitere große Mengen werden zu wärmespeichernden Ziegeln in elektrischen Heizgeräten gesintert; auch hier hat allerdings Magnesit an Vorsprung gewonnen. Wichtiger ist die Verwendung als Gießereisand, da Olivin gegenüber Quarzsanden eine günstigere, nämlich geringere Wärmeausdehnung zeigt. Er ist allerdings Zirkon- und Chromitsanden in Bezug auf die Widerstandsfähigkeit gegen Hitzeschock unterlegen. Olivin-sande können schließlich auch als Abrasiva verwendet werden. [31]

Olivin	Verwendungszweck			
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Stahlindustrie	Gießerei-industrie	Feuerfest-industrie	Schleifmittel
SiO ₂	42-43	41.5-42.5	41.5-42.5	keine speziellen chemischen Anforderungen
Al ₂ O ₃	< 2.5	0.4-0.5	0.4-0.5	
Fe ₂ O ₃	6.8-7.3	< 7	< 7	
CaO	0.05-0.1	0.05-0.1	< 2	
MgO	48-50	49-51	49-51	
Na ₂ O + K ₂ O	< 0.2			
P	< 0.05			
Glühverlust	< 1.5	< 1.3	< 1.3	

Tabelle 26: Anforderungen an Olivin für wichtige Verwendungszwecke nach [9]

2.3.5.12 Anforderungen und Verwendungspotential von Vulkanischen Rohstoffen

Phonolite werden als Flussmittel in der Glas- und Keramik-Produktion verwendet. Bei der Glasproduktion werden Phonolite wegen des hohen Eisengehalts nur zur Farbglasproduktion eingesetzt. Von Vorteil ist die geringe Schmelztemperatur und –zeit wodurch das Gemenge leichter schmilzt. Wegen der erzielten höheren Festigkeit des Glases können dünnere Hohlglaswände erzeugt und Material gespart werden. Bei der Keramik-Produktion werden Phonolite für die Herstellung von Wandfliesen und Fußbodenplatten verwendet. Eine weitere Verwendung liegt in der Bodenverbesserung und Düngemittelproduktion. Rhyolithe werden ebenfalls als Flussmittel in der Keramik-Produktion verwendet. Gemahlener Basalt liefert wichtige Nährstoffe und Spurenelemente bei der Bodenverbesserung. Basalt wird aufgrund der hohen Temperatur- und Bruchfestigkeit zur Herstellung von Mineralfasern verwendet. Ein großes Einsatzgebiet von gebrochenem Basalt liegt im Verkehrswege- und Wohnungsbau. [14]

Vulkanit	Verwendungszweck - Vulkanite					
	Phonolit			Rhyolit	Basalt	
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Glas	Keramika	Boden-verbesserung	Keramika	Mineralfasern	Boden-verbesserung
SiO ₂	50-60	50-60	50-60		< 52	48
Al ₂ O ₃	18-23	18-23	18-23	> 14		
TiO ₂	< 0.3	< 0.3	0.4	< 0.1	1-3	
Fe ₂ O ₃	1.5-3.3	< 2.4	1.5-3.3	0.4-0.8	2-15	
FeO	0.2-0.6	< 0.5		< 0.5	2-15	
MnO	< 0.1	< 0.1				
CaO	1.5-5.0		1.5-6			
MgO	0.1-0.6		0.1-1.7			
Na ₂ O	6-10	5-8	5-8	1-2	< 5	> 3.5
K ₂ O	5-6	5-6	4-5	5		
P ₂ O ₅			> 0.1			
S					< 5	

Tabelle 27: Anforderungen an Vulkanische Rohstoffe für wichtige Verwendungszwecke nach [14]

2.3.5.13 Anforderungen und Verwendungspotential von Nephelin-Syenit

Nephelin-Syenite werden als Füllstoff in der Glas- und Keramik-Produktion verwendet und dienen als Ersatz für Feldspäte. Von Vorteil ist der hohe Na₂O Gehalt welcher eine Senkung des Schmelzpunktes begünstigt. [31]

N.-Syenit	Verwendungszweck			
	Chemische Zusammensetzung (M-%)	Glas	Keramika	Zementproduktion
SiO ₂	56 - 60	56 - 61		
Al ₂ O ₃	> 23	> 23		> 27
Fe ₂ O ₃	< 0.1	< 0.7		< 4.5
CaO	0.3-1.3	0.3-1.2		
MgO	< 0.1	< 0.1		< 1.5
K ₂ O	4.9-9	4.6-9.1		
Na ₂ O	7.9-10.6	7.8-10.6		
BaO	< 0.3			
SrO	< 0.3			
P ₂ O ₅	< 0.1			
Glühverlust	< 1	< 1		

Tabelle 28: Anforderungen an Nephelin-Syenit für wichtige Verwendungszwecke nach [10]

2.3.5.14 Anforderungen und Verwendungspotential von Fluorit

Fluorit wird als Flussmittel bei Hüttenprozessen verwendet, vor allem in der Eisen- und Stahlerzeugung („Hüttenspat“). Die Eignung als Hüttenspat hängt von der Körnigkeit sowie von niedrigen Gehalten an SiO₂, S und Pb ab. In der chemischen Industrie wird ein hoher CaF₂-Gehalt von über 97 % und ein sehr niedriger Sulfid-gehalt gefordert („Säurespat“). Diese beiden Gruppen, Hütten- und Säurespat, sind annähernd zur Hälfte die Hauptverbraucher von Flusspat. Weitere Anwendungsbereiche gibt es in der Keramik-Produktion („Keramikspat“), in der Glaserzeugung und in der optischen Industrie zur Herstellung von Linsen. [31]

Fluorit	Verwendungszweck		
	Hüttenpat	Säurespat	Keramikspat
Chemische Zusammensetzung (M-%)			
CaF ₂	> 60	> 97	> 95
SiO ₂	< 15	< 1.5	< 3
Fe ₂ O ₃		< 0.5	< 0.12
S ₂	< 0.3	< 0.1	
CaCO ₃	< 3	< 0.5	< 1
MgCO ₃	< 1		
P		0.01 -	
P ₂ O ₅		0.03 -	
Pb	< 0.5	min.	min.
As		< 0.0012	min.
Cd		min.	
Be		min.	
BaSO ₄		< 0.5	

Tabelle 29: Anforderungen an Fluorit für wichtige Verwendungszwecke nach [11]

2.3.5.15 Anforderungen und Verwendungspotential von Bauxit

Etwa 95 % aller Bauxite werden als Erz zur Produktion von Aluminium verwendet. Der besonders hochwertige Rest dient als Industriegestein zu Spezialzwecken wie Abrasiva, Zementzuschlag, Spezialkeramik und Feuerfest-Produkten. [31]

Bauxit	Verwendungszweck					
Chemische Zusammensetzung (M-%)	Aluminium (Metall)	Feuerfestprodukte	Schleifmittel	Tonzement	Chemische Industrie	Stahlindustrie, Schlackenbildner
Al ₂ O ₃	40-55	> 58	> 55	45-55	55 - 58	55 - 57
TiO ₂	< 6	< 3	> 2.5	2.5 - 3.0	0 - 6	< 6
SiO ₂	< 8	< 5	< 5	2 - 6	< 12	2 - 3
Fe ₂ O ₃	5-30	< 2	< 6	10 - 30	< 3	22 - 23
P ₂ O ₅					< 0.3	< 0.03
S						< 0.1
MnO					< 0.1	
CaO				0.5 - 3.0	< 2	
MgO					< 2	
K ₂ O, Na ₂ O		< 0.2				< 0.09
Glühverlust		> 30	30	11 - 20	28 - 31	11 - 14

Tabelle 30: Anforderungen an Bauxit für wichtige Verwendungszwecke nach [15]

Anhand des Tunnelprojektes Semmering Basistunnel Neu werden die nun erstellten Mineraltafeln mit den dortigen geologischen Verhältnissen verglichen um eine mögliche Verwendung abschätzen zu können. Das folgende Kapitel 3 konzentriert sich auf den Projektraum in dem die Tunneltrasse aufgefahen wird mit dem Ziel die dort auftretenden Gesteine zu analysieren und anhand der hier erstellten Mineraltafeln einordnen zu können. Resultiert daraus eine Verwendung des Gesteins für die Industrie, hat dies weitere Folgen wie die Reduktion von Transportwegen, eine entsprechende CO₂-Einsparung, eine Schonung der Rohstoffreserven, eine Reduktion von Deponieflächen, eine Senkung der Kosten für die Deponierung, möglichen Ertrag im Falle hochwertigen Ausbruchmaterials, sowie eine Verbesserung der Situation von Anrainern aufgrund geringerer Zu- und Abtransporte. Durch die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial können Umwelt und natürliche Vorkommen mineralischer Rohstoffe geschont werden.

3 Darlegung der Vorgangsweise am Beispiel eines Infrastrukturprojektes mit Planungstiefe “Einreichprojekt”

3. 1 Infrastrukturprojekt „Semmering Basis Tunnel Neu“

3. 1. 1 Allgemeine Informationen

In dieser Arbeit wird die Vorgehensweise für die Verwendung von Tunnelausbruchsmaterial am Tunnelprojekt „Semmering Basis Tunnel Neu“ gezeigt. Der Semmering-Basistunnel stellt eines der wichtigsten Infrastruktur-Großprojekte im mitteleuropäischen Raum dar. Als Teil der Österreichischen Südbahn wird er, gemeinsam mit dem Koralmtunnel, ein essentielles Bindeglied zwischen Ostsee und Adria. Der Tunnel verbindet das niederösterreichische Gloggnitz im Osten mit dem steirischen Mürzzuschlag im Westen (Abb. 8). Aus verkehrstechnischer Sicht wird der Semmering-Basistunnel Neu die bestehende Bergstrecke zukünftig entlasten und dank seiner geringen Neigung von 8,4 ‰ sogar für Güterzüge uneingeschränkt befahrbar. Der zweiröhrig, parallel geführte Tunnel hat eine Länge von 27,3 km mit einem Durchmesser von 10 m. Die prognostizierte Ausbruchsmenge beträgt ca. 5 Mio. m³. Im April 2012 wurde mit den Bauarbeiten begonnen, die Fertigstellung ist für 2024 geplant. Im Februar 2014 wurde die Baugenehmigung vom Verwaltungsgerichtshof aufgehoben aufgrund eines Gutachtens, das von einem nicht berechtigten Sachverständiger erstellt wurde und aufgrund einer falschen Berechnung der Lärmbelästigung eines Anrainers. [43]

3. 1. 2 Baukonzept

Die Bauabschnittseinteilung erfolgte nach raum- und umweltrelevanten Aspekten um die Bauherstellung übersichtlich abbilden zu können (Abb. 8). Folgende Bauabschnitte wurden definiert:

- Bauabschnitt Gloggnitz
- Bauabschnitt Göstritz
- Bauabschnitt Fröschnitzgraben
- Bauabschnitt Grautschenhof
- Bauabschnitt Mürzzuschlag [41]

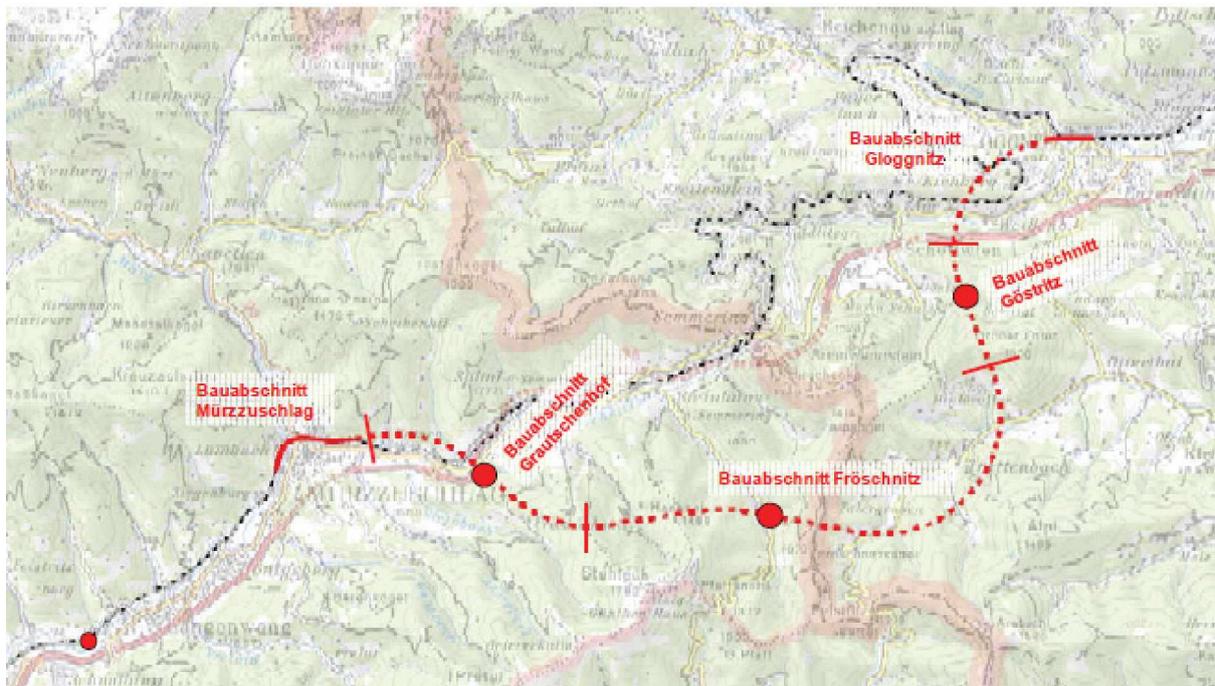


Abbildung 8: Übersicht der Bauabschnitte [41]

3. 1. 3 Generelle Baudurchführung

Die Projektausführung wurde in vier Bauphasen gegliedert. Bauphase zwei enthält die Bautätigkeiten welche für Raum- und Umwelteinwirkungen von Belangen sind.

Bauphase 1:

Bei der Bauphase 1 handelt es sich um Vorarbeiten welche für den späteren Tunnelvortrieb notwendig sind. Diese umfassen:

- Abbruch von Objekten
- Baufeldfreimachung
- Herstellung von Portalvoreinschnitten
- Einrichten der Baustelleneinrichtungsflächen
- Herstellung von Baustraßen
- Anschluss an Infrastrukturnetze (Wasserversorgung, Baustrom, etc.)
- Flussbauliche Maßnahmen
- Herstellung von Brückenbauwerken
- Herstellung der Zugangsstollen und –schächte [41]

Bauphase 2:

Die Bauphase 2 beinhaltet die Hauptaufgaben der Tunnelherstellung:

- Herstellung des Tunnelbauwerkes
- Streckenröhren
- Querschläge
- Nothaltestelle
- Bahnhofsumbau Mürtzschlag [41]

Bauphase 3:

Diese Bauphase umfasst generell die Ausrüstung des Tunnelbauwerkes. Dies beinhaltet die Herstellung der Gleisanlage und der Strecke. Darin enthalten sind die Fahrbahn, die Errichtung der Traktionsstromanlage und die Zugsicherungsanlagen. Die Traktionsstromanlage ist so ausgelegt dass die Triebfahrzeuge mit dem nötigen Strom versorgt werden. [41]

Bauphase 4:

Die Bauphase 4 enthält alle Tätigkeiten zur Inbetriebnahme der Bahnlinie sowie die Abnahme sämtlicher Gerätschaften. Die neu gebaute Strecke wird vor der Inbetriebnahme einem Probelauf unterzogen. [41]

3. 1. 4 Vortriebskonzepte

Aufgrund der vorherrschenden geologischen Verhältnisse können einige Tunnelabschnitte zyklisch (NÖT) und andere nur maschinell mit einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) aufgeföhren werden. Bei beiden Vortriebsmethoden ist die jeweilige Vortriebslänge wegen technischer Gründe begrenzt, weshalb Zwischenangriffe (Zugänge von Obertage) benötigt werden.

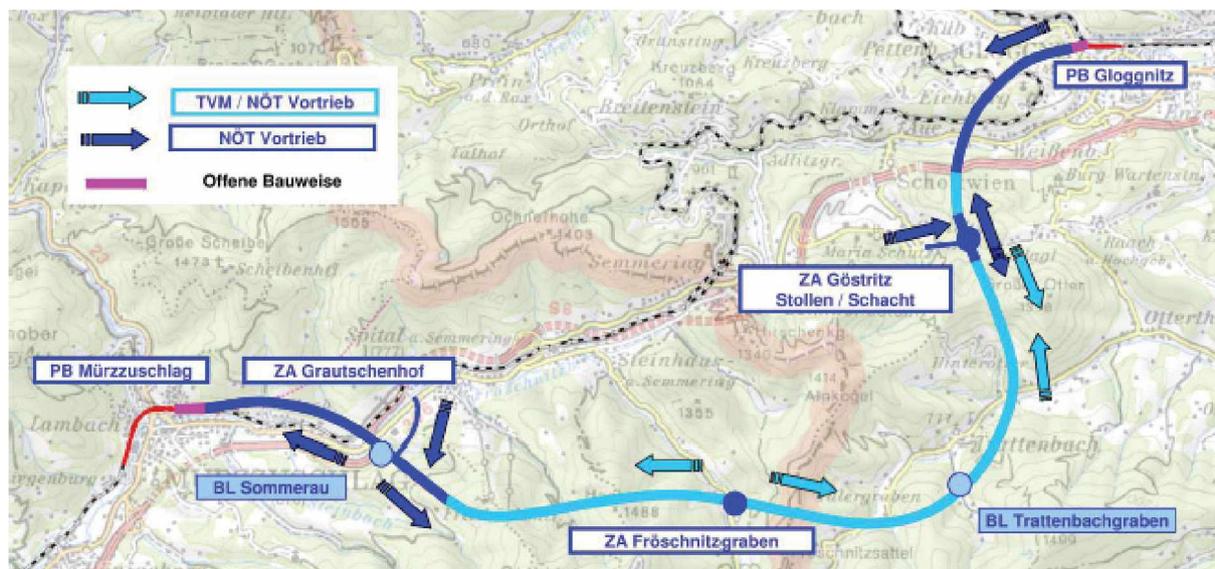


Abbildung 9: Geplantes Vortriebskonzept [41]

Neben den, in offener Bauweise hergestellten, Tunnelportalen in Gloggnitz und Mürzzuschlag, erfolgt der Vortrieb von zusätzlich drei Zwischenangriffen aus (Abb. 9).

- Zwischenangriff Göstritz: Der Zugang zu den Streckenröhren besteht aus einer Kombination aus einem befahrbarem Zugangsstollen und zwei vertikalen Schächten
- Zwischenangriff Fröschnitz: Der Zugang zu den Streckenröhren erfolgt über zwei senkrechte Schächte
- Zwischenangriff Grautschenhof: Der Zugang zu den Streckenröhren erfolgt über einen befahrbaren Stollen

Um die einzelnen Bauabschnitte mit genügend Frischluft zu versorgen, sind die beiden Baulüftungsschächte BL Sommerau und BL Trattenbachgraben vorgesehen.

Vortriebsabschnitt 1:

Der erste Vortriebsabschnitt umfasst den Tunnelvortrieb ausgehend vom Tunnelportal Gloggnitz und dem Zwischenangriff Göstritz. Der erste Bereich, vom Portal Gloggnitz aus,

wird in offener Bauweise hergestellt. Nach diesem kurzen Abschnitt wird aufgrund der geologischen Verhältnisse in zyklischer Bauweise vorgetrieben. Ab etwa Aue sind zwei Vortriebsvarianten möglich, zyklisch und kontinuierlich.

Vortriebsabschnitt 2:

Der zweite Vortriebsabschnitt beinhaltet jene Vortriebe die vom Zwischenangriff Fröschnitz starten. Hierbei sind zwei grundsätzliche Vortriebsarten möglich:

- Ein kontinuierlicher Vortrieb je Streckenröhre in Richtung Gloggnitz bis vor den Karbonatstocks des Otters. Dort werden die beiden Maschinen demontiert, zurückgefahren und für einen Vortrieb in Richtung Mürzzuschlag wieder aufgebaut.
- Ein zyklischer Vortrieb je Streckenröhre in Richtung Gloggnitz und gleichzeitig ein zyklischer Vortrieb je Streckenröhre in Richtung Mürzzuschlag.

Weiters ist eine Kombination der beiden Vortriebsvarianten möglich: Ein kontinuierlicher Vortrieb je Streckenröhre in Richtung Gloggnitz und gleichzeitig ein zyklischer Vortrieb je Streckenröhre in Richtung Mürzzuschlag. [41]

Vortriebsabschnitt 3:

Vom Zwischenangriff Grautschenhof starten in beide Richtungen zyklische Vortriebe je Streckenröhre. Vom Portal Mürzzuschlag aus erfolgt neben dem Bahnhofsumbau und der Herstellung des Wannenbauwerkes, eine Tunnelherstellung in offener Bauweise. [41]

3. 1. 5 Massenanstoff und Transportwege

Beim Tunnelausbruch werden insgesamt ca. 5 Mio. m³ Festgestein erwartet. Abbildung 10 zeigt eine Übersicht über den minimalen und maximalen Ausbruchsmengen pro Tunnelbaustelle sowie die Anschlusspunkte zum Verkehrsnetz.

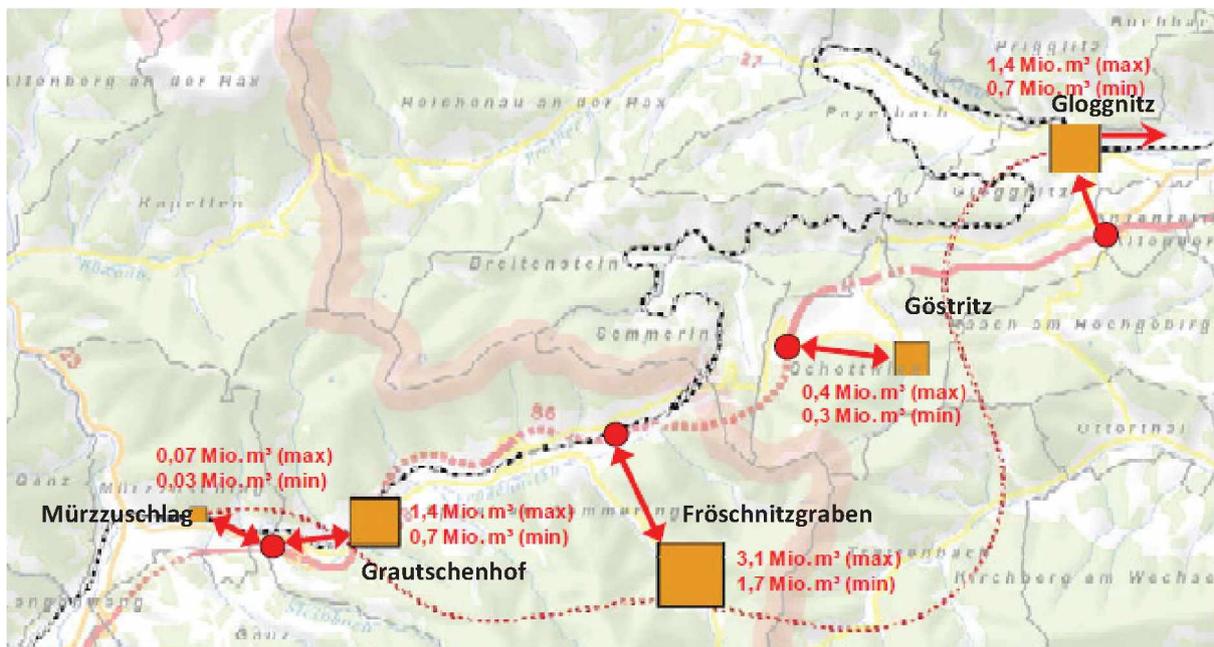


Abbildung 10: Minimale und maximale Ausbruchsmengen pro Tunnelbaustelle [42]

Folgender Weitertransport ist vorgesehen:

- Portal Gloggnitz: Abtransport des Ausbruchsmaterials per Bahn.
- Zwischenangriff Göstritz: Abtransport des Ausbruchsmaterials per LKW zur Deponie Longsgraben.

- Zwischenangriff Fröschnitzgraben: Abtransport des Ausbruchsmaterials mittels Förderband zur Deponie Longsgraben.
- Zwischenangriff Grautschenhof: Abtransport des Ausbruchsmaterials per LKW zur Deponie Longsgraben
- Portal Müzzzuschlag: Abtransport des Ausbruchsmaterials per LKW zur Deponie Longsgraben [42]

3. 1. 6 Deponierung

„Da sich die angesetzten Massen für den Tunnelausbruch auf das Volumen des ausgebrochenen Festgesteins beziehen, ist einerseits ein Auflockerungsfaktor zu berücksichtigen, der für die Abschätzung des Transportvolumens maßgeblich ist und andererseits ein Verdichtungsfaktor der den verdichteten Einbau des Ausbruchs in der Deponie berücksichtigt. Aufgrund von Erfahrungen in ähnlichen baugeologischen Einheiten (Festgestein) kann der Auflockerungsfaktor in einem Bereich von 1,3 bis 1,4 geschätzt werden. Der Verdichtungsfaktor wird ebenfalls aufgrund von ähnlichen baugeologischen Einheiten auf 1,15 bis 1,3 geschätzt. Für das gegenständliche Bauvorhaben wird ein mittlerer Auflockerungsfaktor von 1,4 und ein mittlerer Verdichtungsfaktor von 1,25 angesetzt.“ [42]

„Bezogen auf die Tunnelausbruchsmassen im Ausmaß von insgesamt ca. 4 Mio m³ Festgestein, die auf der Deponie Longsgraben abgelagert werden sollen, bedeutet dies, dass eine Deponie mit einer Kapazität von ca. 5,15 Mio m³ (eingebaut) errichtet werden müsste, wenn keine Wiederverwertung von Tunnelausbruch angesetzt wird. In Abhängigkeit von der tatsächlichen Wiederverwertung kann das erforderliche Deponievolumen geringer sein.“ [42]

3. 2 Herangehensweise an die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial

Eine durchdachte Herangehensweise ist essentiell bei der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial, da es sich bei Tunnelbauwerken um umfangreiche und zeitintensive Projekte handelt. Eine, als Ablaufdiagramm dargestellte, mögliche Vorgehensweise zeigt Abb. 11.

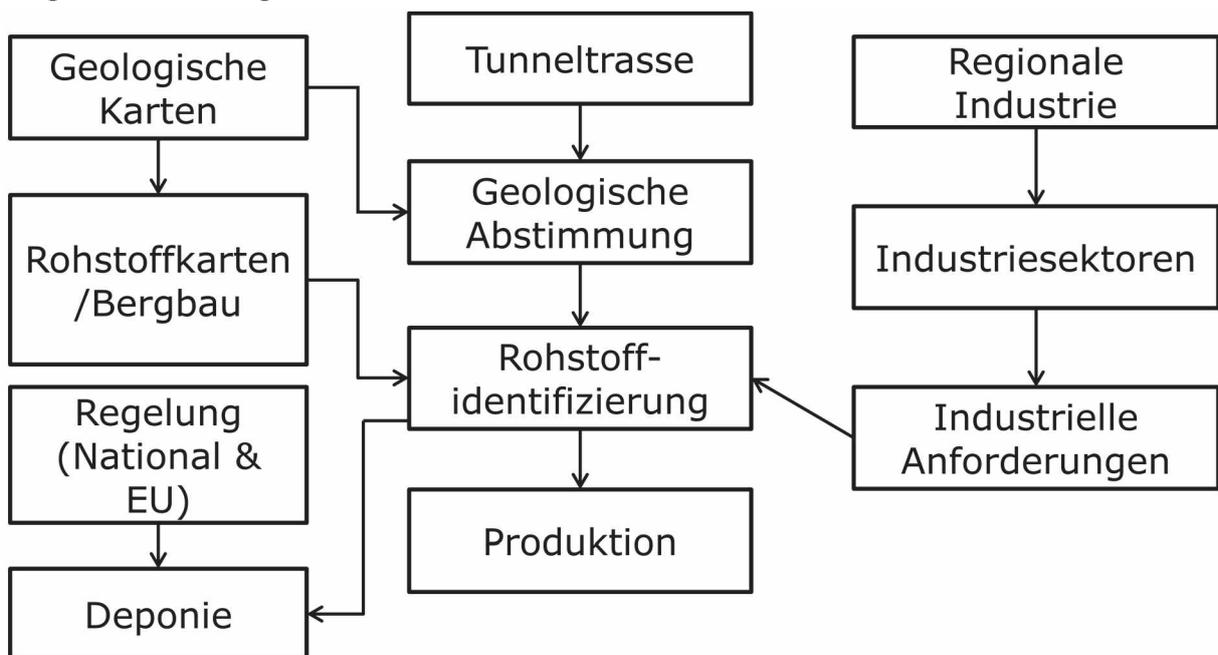


Abbildung 11: Ablaufdiagramm: Vom Ausbruchmaterial zum mineralischen Rohstoff

Wesentlich ist die Kenntnis der geologischen Verhältnisse im Bereich der Tunneltrasse bereits in der Planungsphase. Um das Gestein, welches in der Bauphase durch den Tunnelvortrieb durchörtert wird, frühzeitig erkennen und identifizieren zu können, dienen geologische Vorerkundungen wie

- Oberflächenkartierung,
- geophysikalische Messungen,
- Probebohrungen,
- geotechnische Untersuchungen und
- hydrogeologische Untersuchungen.

Als weitere Behelfe dienen

- bestehende geologische Karten,
- Untersuchungen aus angrenzenden Bauprojekten,
- Recherche bestehender und aufgelassener Bergbaubetriebe und
- Rohstoffkarten.

Als geologische Grundlage diene in dieser Arbeit ein Längenschnitt (Semmering Basis Tunnel, 5510-EB-5000AL-05-0201-F03, ÖBB Infrastruktur, 2010) und ein geologischer Baubericht (Semmering Basis Tunnel, 5510-EB-5000AL-00-0001-F02) aus dem Einreichoperat der ÖBB. Eine detaillierte geologische Beschreibung der Tunneltrasse wird in Kapitel 3.2.3 durchgeführt.

Zur Verwertung des voraussichtlich anfallenden Gesteinsmaterials ist es nötig, Betriebe zu evaluieren, die eben jene Rohstoffe abnehmen und verarbeiten können und wollen. Hierfür wird als erstes ein bestimmtes Einzugsgebiet an Betrieben ausgewählt.

Am Beispiel des Semmering-Basistunnels wurde ein Firmeneinzugsgebiet mit einem Radius von 70 km gewählt, wobei das Zentrum des Einzugsgebietes die Tunnelbaustelle darstellt. Innerhalb dieses Radius werden die rohstoffverarbeitenden Betriebe eruiert. Dies kann zum Beispiel mit Hilfe einer Online Recherche erfolgen, die durch branchenspezifische Literatur ergänzt wird.

Am Beispiel „Semmering“ wurden die Dienste von „Herold“ und dem Österreichischen Montanhandbuch genutzt. Herold, das österreichische Telefonbuch mit integriertem Firmenverzeichnis, bietet einige Vorteile wie die spezifische Suche nach Branchen, Bundesländern, Postleitzahlen und Entfernungen. Das Montanhandbuch beinhaltet die rohstoffgewinnende und rohstoffverarbeitende Industrie in Österreich. Auf diese Weise konnten 75 mögliche Abnehmer von Tunnelausbruchmaterial ausfindig gemacht werden.

Als nächstes werden die Betriebe in Industriesektoren unterteilt. Hierfür wurden folgende Industriesektoren ausgewählt: Stahlindustrie, Straßenbau, Kunststoffindustrie, Steinbrüche, Betonindustrie, Ziegelindustrie, Papierindustrie. Eine ausführliche Darstellung der eruierten Firmen findet sich in Kapitel 3. 3. Im Anhang ist das Firmeneinzugsgebiet anhand von lokalen Karten aufbereitet und dargestellt.

Nachdem die geologischen Verhältnisse und die industrielle Situation im Projektgebiet eruiert wurden, werden nun diese beiden Faktoren „Geologie“ und „Industrie“ zusammengefügt. Im Falle einer qualitativen Übereinstimmung des Tunnelausbruchmaterials mit den Anforderungen der Industrie kann diese auch beliefert werden. Natürlich haben rohstoffverarbeitende Betriebe spezifische Anforderungen an mineralische Rohstoffe. Das beinhaltet teilweise sehr strenge chemische Anforderungen an

den Rohstofflieferanten und macht eine chemische Analyse des Ausbruchmaterials unumgänglich. Welche Anforderungen die Industrie an mineralische Rohstoffe stellt, ist in Kapitel 2.3 zu sehen.

Eine weitere Entscheidungsgrundlage bietet die mit Hilfe von MS-Excel erstellte Bewertungsmatrix, welche nach Eingabe der technischen und chemischen Messwerte des Ausbruchmaterials allfällige Verwendungsmöglichkeiten aufzeigt. Kommt das Ausbruchmaterial keiner Verwendung zugute, muss es je nach Land und Gesetzgebung deponiert werden.

Die Vorgehensweise bei der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial kann zu folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Analyse der Lithologien aus der Tunneltrasse
- Evaluierung von Betrieben im Projektraum, welche im Rohstoffsektor tätig sind
- Feststellung der Verwendbarkeit vom Ausbruchmaterial durch Abgleich der chemischen Zusammensetzung der Lithologien mit den industriellen Anforderungen durch die Bewertungsmatrix
- Prüfung von potentiellen Abnehmerbetrieben

3. 1. 2 Rechtliche Grundlagen in Österreich

In Österreich unterliegt Tunnelausbruchmaterial mehreren gesetzlichen Grundlagen.

Das Eigentumsrecht besagt, dass Ausbruchmaterial Eigentum des Grundstückbesitzers ist (vgl. ABGB § 297). Im Falle von bergfreien mineralischen Rohstoffen ist der Abbauberechtigte Eigentümer, im Falle von bundeseigenen mineralischen Rohstoffen ist der Bund Eigentümer (vgl. MinroG § 1). Grundstückseigentümer und Auftraggeber eines Tunnelprojektes haben entsprechende Vereinbarungen über die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial zu treffen. Im Falle der Nutzung des Tunnelausbruchmaterials durch den Bauherrn ist dem Grundstückseigentümer eine Ablöse zu bezahlen.

Laut Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) gilt anfallendes Tunnelausbruchmaterial als Abfall. Der Abfallbegriff ist im AWG § 2 definiert als:

*§ 2. (1) Abfälle im Sinne des Bundesgesetzes sind bewegliche Sachen,
1. deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder
2. deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich
Ist, um die öffentlichen Interessen (§ 1 Abs. 3) nicht zu beeinträchtigen.[37]*

Folgende Ziele sind nach AWG § 1 anzustreben:

- Emittierte Luftschadstoffe und negative Auswirkungen auf die Umwelt müssen so gering wie möglich gehalten werden.
- Schonung von Ressourcen wie Wasser, Energie, Rohstoff, Landschaft, Fläche.
- Durch die Nutzung von Abfällen darf kein größeres Gefährdungspotenzial entstehen als bei der Verwendung von Primärrohstoffen.

Zusätzlich gibt es im AWG eine fünfstufige Abfallhierarchie:

- Vermeidung
- Wiederverwendung
- Recycling
- Sonstige Verwertung
- Beseitigung

Alle Regelungen im Abfallbereich sind an diese Rangordnung auszurichten. Das heißt im Falle von Tunnelausbruchmaterial ist Recycling einer Deponierung vorzuziehen. [37] Die Definition von Tunnelausbruchmaterial wird in der Deponieverordnung angegeben:

Tunnelausbruch ist ein Bodenaushubmaterial, das insbesondere bei untertägigen Baumaßnahmen in Fest- und Lockergestein anfällt.

In der Deponieverordnung muss der Nachweis erfolgen, dass es sich beim Bodenaushubmaterial um nicht kontaminiertes Material handelt. Dies ist durch eine genau definierte Probenentnahme zu belegen. Dabei darf Bodenaushubmaterial nicht mehr als fünf Volums-Prozent an bodenfremden Substanzen enthalten. [16]

Gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan BAWP 2011 darf Tunnelausbruch erstmals zur Untergrundverfüllung und als Recyclingbaustoff verwendet werden. Im Falle einer Aufbereitung von Tunnelausbruch, zur Herstellung eines Recyclingbaustoffs, ist diese Aufbereitung gemäß der achten Auflage der Richtlinie für Recyclingbaustoffe des ÖBRV durchzuführen. [17]

Fazit:

Wird Tunnelausbruchmaterial direkt auf der Baustelle nach diversen Aufbereitungsschritten als Baustoff verwendet, entspricht das Gesteinsmaterial nicht mehr seinen ursprünglichen Eigenschaften und entspräche somit dem Abfallbegriff. Wird das Ausbruchmaterial aber außerhalb der Tunnelbaustelle, z. B. rohstoffverarbeitenden Betrieben zugeführt, werden diese zu „Abfallsammlern“. Für solche Betriebe gelten dann eigene Gesetze die im AWG angeführt sind. [38]

3.2 Geologische Situation entlang der Tunneltrasse

3.2.1 Angetroffene Einheiten entlang der Trasse

Im trassenrelevanten Gebiet werden drei geologische Großeinheiten angetroffen. Dabei handelt es sich um das Semmering System, das Wechsel System und die Grauwackenzone. Die Grauwackenzone gehört zum Oberostalpin, das Semmering- und das Wechsellsystem zum Unterostalpin. Alle Einheiten zeigen ein einheitliches Ost-West-Streichen, welches dem sehr komplexen Ostalpinen Deckenbau entspricht. [30]

Grauwackenzone:

Die Grauwackenzone wird in die Veitscher Decke (liegend) und in die Norische Decke (hangend) unterteilt und stellt zugleich die tektonisch höchste und geografisch nördlichste Einheit des Projektgebietes dar. Diese Einheit besteht meistens aus phyllitischen, schiefrigen Gesteinen mit intensiver Zerschering und feinkornreicher, störungsbedingter Überprägung. [18]

Semmering-System (inkl. Tratenkogel-Scholle und Tattermann-Schuppe):

Das Semmering System grenzt im Süden mit seinen kristallinen Gesteinen und permomesozoischen Decksedimenten an die Grauwackenzone an. Zu den Kristallingesteinen gehören Glimmerschiefer, Quarzphyllite, Gneise und Grüngesteine die mehrmals metamorph überprägt wurden. Den permomesozoischen Decksedimenten gehören massige bis gebankte Kalksteine, Marmore und Dolomite an. An deren stratigraphischer Basis befinden sich Serizitphyllite, quarzreiche Serizitschiefer und die lokal bekannten Semmeringquarzite. [19]

Der nördlichste Bereich des Semmering-Systems besteht aus permomesozoischen Decksedimenten, Quarzite und Serizitschiefern, die der „Tattermann-Schuppe“ angehören. [19]

Im westlichen bis zentralen Bereich (Geografisch: Tratenkogel – Kampalpe – Ochnerhöhe – Westlich der Mürz) wechseln unter mehrfachen Wiederholungen die Kristallingesteine mit den permomesozoischen Decksedimenten ab wobei die Kristallingesteine dem Semmering-Kristallin und der sogenannten Tratenkogel-Scholle zugeordnet werden. [19]

Permomesozoische Karbonatgesteine bauen die östlichen Gipfel wie Otter, Sonnwendstein, Raachberg, Erzkogel, Graßberg und Eselstein auf. An deren Basis sind Quarzite, Glimmerschiefer und Phyllite eingeschaltet. Im Bereich der Orte Schlagl, Maria Schutz und Spital kommen phyllitische, meist stark zerscherte Gesteine des Keupers und Sulfatgesteine, meistens Gips, vor. [19]

Die Gesteine des Semmering-Kristallines dominieren den südlichen Bereich. Dazu gehören Glimmerschiefer, Quarzphyllite, grobkörnige Granitgneise und Gneise in Wechselfolge mit Grüngesteinen. [19]

Wechsel-System:

Die Gesteine des Wechsel-Systems treten im südöstlichsten Teil des Untersuchungsgebietes auf und stellen die tektonisch tiefste Einheit dar. Wie auch das Semmering-System besteht das Wechsel-System aus Kristallingesteinen und permomesozoischen Decksedimenten wobei die Kristallingesteine dominieren. Die Kristallingesteine des Wechsel-Systems umfassen im wesentlichen Paragneise und Albitphyllite welche von permomesozoischen Gesteinen wie Semmeringquarziten, Serizitschiefern, Serizitphylliten und gelegentlich Karbonaten überlagert werden. Im Vergleich zu den anderen beiden Einheiten ist der tektonische Bau des Wechsel-Systems weniger komplex. [22]

3.2.2 Geologie des Trassenverlaufs - Überblick

Als Geologische Grundlage dienen hier ein Längenschnitt (Semmering Basis Tunnel, 5510-EB-5000AL-05-0201-F03, ÖBB Infrastruktur, 2010) und ein Geologischer Baubericht (Semmering Basis Tunnel, 5510-EB-5000AL-00-0001-F02, ÖBB Infrastruktur, 2010) aus dem Einreichoperat der ÖBB. [21] [22]

Die Trassenführung entspricht im Wesentlichen der Trasse „Pfaffensattel“ die aus dem Trassen- und Bahnhofauswahlverfahren der Jahre 2005 bis 2008 als beste Linienführung hervorging (Abb. 12).

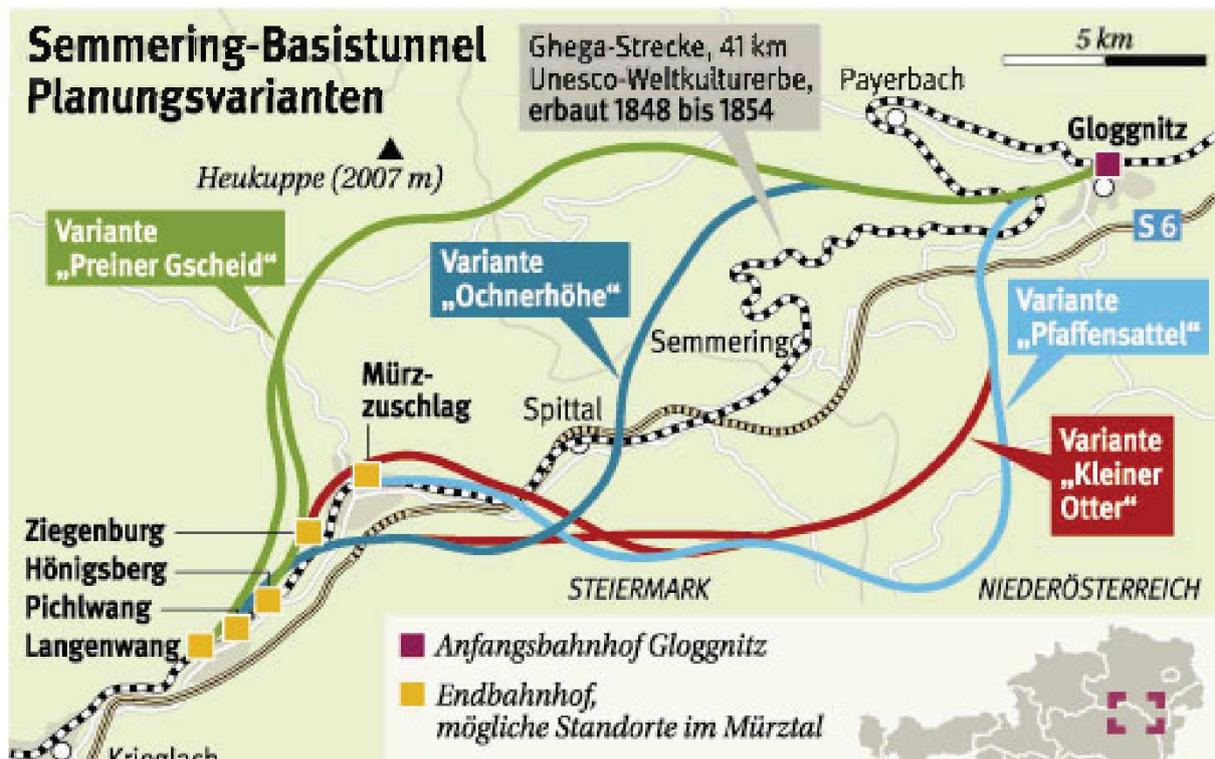


Abbildung 12: Varianten der Trassenführung [48]

Startpunkt der Trasse ist das niederösterreichische Gloggnitz, dem nord-östlichen Portal des Tunnels. Von diesem Portal aus durchörtert die Trasse über ca. 3 km Länge die Gesteine der Grauwackenzone. Dieser Abschnitt enthält Schiefer und Phyllite der Norischen Decke sowie Metasandsteine und graphitische Phyllite der Veitscher Decke. Der Großteil dieser Gesteine liegt stark zerschert vor. Der nächste Abschnitt durchfährt auf einer Länge von 0,5 km die stark gestörten Serizitschiefer und Quarzite der Tattermann-Schuppe.

Auf den nächsten 3,6 km der Tunneltrasse werden die Gesteine des Semmering-Systems angetroffen. Hierbei handelt es sich vornehmlich um geklüftete bis verkarstete Karbonatgesteine die die Gipfel des Graßbergs (Kalksteine) und des Otters (Dolomit, Rauhwanke, Brekzien) aufbauen wobei im Bereich Graßberg zerscherte Glimmerschiefer eingeschuppt sind. Zwischen diesen beiden Gipfeln, auf einer Länge von 0,9 km, ist eine Folge aus teils gipsführenden Serizitphylliten und Kalklagen eingeschaltet welche wegen intensiver Zerschierung als Störungsgesteine bezeichnet werden.

Die darauf folgenden 10,6 km werden vom Wechsel-System eingenommen. Hier wird großteils der Wechselgneis durchfahren (ca. 7,5 km) welcher von Albitphylliten und permomesozoischen Decksedimenten überlagert bzw. umhüllt wird. Aufgrund des gekrümmten Trassenverlaufs wird der Wechselgneis zweimal durchfahren, im Bereich Trattenbachtal und Fröschnitzgraben.

Die Albitphyllite, teils graphitreich, werden auf ca. 2,6 km Streckenlänge angetroffen. Die permomesozoischen Decken werden auf ca. 0,5 km Streckenlänge angetroffen und beinhalten teils gipsführende Serizitphyllite, Serizitschiefer, Semmeringquarzite und tektonisch beanspruchte Karbonate.

Der letzte Tunnelabschnitt erreicht wieder das Semmering-System und verbleibt in diesem bis zum westlichen Portal im steirischen Mürzzuschlag. Den ersten 3,1 km langen Abschnitt dominieren Gneise, Glimmerschiefer und Grüngesteine. Der nächste Abschnitt, welcher 2,5

km lang ist, wird von verfalteten und zerscherten Glimmerschiefern, Quarzphylliten und Phylloniten bestimmt.

Im darauf folgenden 1,2 km lange Abschnitt werden meist stark zerlegte Grobgnese erwartet, welche im Bereich Fröschnitztal an Glimmerschiefer und Quarzphyllite angrenzen.

Im westlichsten, etwa 2,3 km langen Abschnitt bis zum Portal Mürzzuschlag sind Kristallingesteine und permomesozoische Deckschichten enthalten. Die Kristallingesteine umfassen Glimmerschiefer und Quarzphyllite, die permomesozoischen Deckschichten Karbonatgesteine (Kalkstein, Dolomit) und untergeordnet Semmeringquarzite.

3.2.3 Geologie des Trassenverlaufs - Lithologische Abschnitte

Die folgenden 28 Trassenabschnitte werden in die vorher erwähnten geologischen Großeinheiten und deren diverser Lithologien eingeteilt. Die Beschreibung erfolgt von Ost nach West, also von Gloggnitz nach Mürzzuschlag und liegt dem Baugeologischen Bericht (Semmering Basis Tunnel, 5510-EB-5000AL-00-0001-F02, ÖBB Infrastruktur, 2010) sowie dem Längenschnitt (Semmering Basis Tunnel, 5510-EB-5000AL-05-0201-F03, ÖBB Infrastruktur, 2010) des ÖBB-Einreichoperats zugrunde. [21],[22]

3.2.3.1 Gebirgsbereich: Grauwackenzone – Norische Decke (Silbersberg-Gruppe)

Abschnitt 1: Km 76,64 – km 78,98 (Länge: ca. 1340 m):

Dieser Bereich beinhaltet unter anderem die portalnahen Lockergesteine wie sandige, schluffige Kiese. Im weiteren Vortrieb werden die Gesteine der Grauwackenzone (Silbersberg-Gruppe) angetroffen, zum Teil Quarzgeröll führende Phyllite und Schiefer, untergeordnet Grünschiefer und Quarzitschiefer.

Gesteinsartenverteilung:

5% Lockergestein, 45% Phyllit, 50% Schiefer

Abschnitt 2: Km 77,98 – km 78,10 (Länge: ca. 120 m):

In diesem Abschnitt dominieren stark gescherte Phyllite und geröllführende Schiefer, die in den hier oft vorkommenden Störungsbereichen meist als Serizitphyllit bis Serizitschiefer mit tonig-talkigen Trennflächenbestegen vorliegen. In den stark zerscherten Kernbereichen der Störungszone liegen die entfestigten Phyllite und Schiefer als Kataklasite mit sandig-kiesigem Grus vor.

Gesteinartenverteilung:

15% Serizitschiefer (meist stark zerlegt), 85% phyllitisches/schiefriges Störungsgestein

Abschnitt 3: Km 78,10 – km 78,52 (Länge: 425 m):

In diesem Abschnitt werden gleich wie im portalnahen Bereich (Abschnitt 1) quarzgeröllführende Phyllite und Schiefer, meist stark tektonisch beansprucht, angetroffen.

Gesteinsartenverteilung:

45% Phyllit, 45% Schiefer, 10% phyllitisches/schiefriges Störungsgestein

3.2.3.2 Gebirgsbereich: Grauwackenzone – Veitscher Decke/Semmering System - Zentralalpines Permomesozoikum

Abschnitt 4: Km 78,52 – km 79,10 (Länge: 580 m):

Dieser Abschnitt ist von intensiven Störungen geprägt, wobei die Gesteine der Veitscher Decke mit den Gesteinen des Permomesozoikums entlang einer Seitenverschiebung miteinander verschuppt worden sind. Bei den Gesteinen der Veitscher Decke handelt es sich um graphitische Phyllite, Metasandsteine und Metakonglomerate. Die permomesozoischen

Gesteine umfassen zerscherte Serizitphyllite und teilweise quarzgeröll-führende Serizitschiefer. Auf Trassenniveau sind Dolomite und Magnesite eingeschuppt.

Gesteinsartenverteilung:

45% Störungszone aus Phyllit/Schiefer, 15% Graphitphyllit, 25% Metasandstein, 10% Serizitschiefer (meist stark zerlegt), 5% Phyllit/Schiefer;

3.2.3.3 Gebirgsbereich: Grauwackenzone – Veitscher Decke

Abschnitt 5: Km 79,10 – 79,59 (Länge: 490 m):

Dieser Abschnitt befindet sich im südlichsten Teil der Veitscher Decke und ist mit weit weniger Störungen durchzogen als der vorherige Abschnitt. Die Gesteine dieses Abschnittes sind graphitische Phyllite, Metasiltsteine, Metasandsteine und Metakonglomerate. Graphitische Zwischenlagen sind teilweise zu schluffigen und tonigen Kataklasiten entfestigt und stellen eine gebirgsinterne Schwächezone dar.

Gesteinsartenverteilung:

30% Graphitphyllit/Metasiltstein, 45% Metasandstein/Metakonglomerat, 25% phyllitisches/schiefriges Störungsgestein

3.2.3.4 Gebirgsbereich: Semmering System - Zentralalpines Permomesozoikum

Abschnitt 6: Km 79,59 – km 80,08 (Länge: 490 m):

Die Kristallingesteine der Tattermann Schuppe beinhalten auf Tunnelniveau in erster Linie Serizitphyllite. Serizitschiefer, Metaarkosen, Quarzite und Sulfatgesteine (Gipsbrekzie) treten nur untergeordnet auf. Die angetroffenen Gesteine sind in der Regel auf Grund sehr starker tektonischer Beanspruchung stark zerlegt.

Gesteinsartenverteilung:

10% Quarzit, 20% Serizitphyllit, 10% Serizitschiefer, 5% Sulfatgestein, 15% quarzitisches Störungsgestein, 40% phyllitisches/schiefriges Störungsgestein

Abschnitt 7: Km 80,08 – km 80,58 (Länge: 495 m):

Direkt angrenzend an den vorherigen Trassenabschnitt treten permomesozoische Serizitphyllite auf, die Großteils zu Kataklasiten entfestigt wurden. Im südlichen Bereich dieses Abschnittes kommt es zur Verschuppung von Karbonatgesteinen wie Kalkmarmor, Rauhacke, Kalk- und Dolomitbrekzien mit Glimmerschiefern und quarzreichen Phylliten. Die Glimmerschiefer und Karbonate sind wegen der tektonischen Beanspruchung oft zu sandig-schluffigen Kataklasiten zerlegt.

Gesteinsartenverteilung:

5% Kalkstein/Kalkmarmor, 5% Rauhacke, 15% Karbonatbrekzie, 5% Glimmerschiefer, 10% Phyllit, 5% karbonatisches Störungsgestein, 35% phyllitisches Störungsgestein, 15% schiefriges Störungsgestein, 5% serizitphyllitisches Störungsgestein

Abschnitt 8: Km 80,58 – 81,25 (Länge: 675 m):

Dieser Abschnitt besteht ausschließlich aus Karbonatgesteinen. Dominierend sind Kalke und Kalkmarmore, weniger präsent sind Rauhacken, Dolomit- und Kalkbrekzien, nur untergeordnet kommen Dolomite vor. Teilweise sind die Gesteine verkarstet.

Gesteinsartenverteilung:

75% Kalkstein/Kalkmarmor, 5% Dolomit/Dolomitmarmor, 10% Rauhacke, 5% Karbonatbrekzie, 5% karbonatisches Störungsgestein

3.2.3.5 Gebirgsbereich: Semmering System – Kristallingesteine

Abschnitt 9: Km 81,25 – km 81,39 (Länge: 135 m):

Das hier auftretende Semmering-Kristallin besteht aus quarzreichen Phylliten und Glimmerschiefern. Im Bereich von Störungszonen sind die Gesteine zu sandig-schluffigen Kataklasten zerlegt. Entlang dieser Störungsbahnen sind auch graphitische Phyllite und Serizitphyllite eingeschlossen.

Gesteinsartenverteilung:

10% Glimmerschiefer, 25% Phyllit, 50% phyllitisches Störungsgestein, 15% schiefriges Störungsgestein

3.2.3.6 Gebirgsbereich: Semmering System - Zentralalpines Permomesozoikum

Abschnitt 10: Km 81,39 – km 82,27 (Länge: 880 m):

Dieser Gebirgsabschnitt ist sehr heterogen. Das Gesteinsinventar beinhaltet Serizitphyllite, Serizitschiefer, Metasandsteine bis Metaarkosen, Quarzite, Rhät-Tonschiefer, Rhät-Kalke und Sulfatgesteine wie Gips und Gipsbrekzien. Die meisten Gesteine in diesem Abschnitt sind wegen des intensiven tektonischen Stress-Regimes stark beansprucht und zerschert.

Gesteinsartenverteilung:

15% Kalkstein/Kalkmarmor, 10% Tonschiefer, 5% Serizitphyllit, 5% Serizitschiefer, 5% Sulfatgestein, 5% quarzitisches Störungsgestein, 35% phyllitisches Störungsgestein, 5% schiefriges Störungsgestein, 15% serizitphyllitisches Störungsgestein

Abschnitt 11: Km 82,27 – 83,01 (Länge: 740 m):

Dieser Abschnitt des Permomesozoikums wird größtenteils aus Rauhacken und Kalkbrekzien aufgebaut. Teilweise ist in den Brekzien ein sandiges-schluffiges Bindemittel eingelagert welches das Korngefüge destabilisiert.

Gesteinsartenverteilung:

10% Kalkstein/Kalkmarmor, 60% Rauhacke, 25% Karbonatbrekzie, 5% karbonatisches Störungsgestein

Abschnitt 12: Km 83,01 – km 83,73 (Länge: 725 m):

Der Trassenabschnitt 12 ist ein sehr homogener Gebirgskörper und besteht im Wesentlichen aus massigen bis gebankten Dolomiten und Dolomitmarmoren. Selten sind Dolomitbrekzien und dolomitische Kalke eingeschalten.

Gesteinsartenverteilung:

75% Dolomit/Dolomitmarmor, 23% Kalkstein (stark zerlegt), 2% karbonatisches Störungsgestein

Abschnitt 13: Km 83,73 – km 83,88 (Länge: 145 m):

Beim Vortrieb in diesem Bereich werden ausschließlich Gesteine des „Alpinen Verrucano“ angetroffen. Diese umfassen vorwiegend Serizitphyllite und Serizitschiefer mit Übergängen zu Metasandsteinen und Metaarkosen. Abschnittsweise sind Sulfatgesteine (Gips, Gipsbrekzie) eingebaut.

Gesteinsartenverteilung:

20% Serizitphyllit, 30% Serizitschiefer, 15% Sulfatgestein, 30% phyllitisches Störungsgestein, 5% schiefriges Störungsgestein

3.2.3.7 Gebirgsbereich: Semmering System–Zentralalpines Permomesozoikum/Wechsel System

Abschnitt 14: Km 83,88 – km 84,10 (Länge: 225 m):

Dieser Gebirgsbereich bereitet den Übergang von den permomesozoischen Gesteinen des Semmering Systems zu den Schieferen des Wechsel-Kristallins.

Das Wechsel-Kristallin ist vertreten durch Albitschiefer, Albitphyllite und Graphitphyllite welche mit den permomesozoischen Gesteinen (Metaarkosen, Gipsbrekzien, Serizitschiefer) wechsellagern.

Gesteinsartenverteilung:

10% Serizitschiefer, 5% Sulfatgestein, 50% Albitschiefer, 20% Albitphyllit, 15% graphitischer Phyllit

3.2.3.8 Gebirgsbereich: Wechsel System

Abschnitt 15: Km 84,10 – km 85,55 (Länge: 1450 m):

Die Wechselschiefer bestehen hier aus Albitphylliten und Albitschiefern. Diesen sind graphitreiche Phyllite, Chloritphyllite und Chloritschiefer zwischengelagert.

Gesteinsartenverteilung:

15% Albitschiefer, 60% Albitphyllit, 18% graphitischer Phyllit, 7% phyllitisches Störungsgestein

Abschnitt 16: Km 85,55 – km 93,03 (Länge: 7480 m):

Dieser Trassenabschnitt umfasst den Bereich der Wechselgneise mit seinen vielen verschiedenen Ausbildungen. Dieser Überbegriff beinhaltet Albitgneise, quarzreichere Gneise, Albitschiefer, Chloritschiefer und die teilweise stark gescherten Chloritphyllite und Serizit-Chlorit-Quarz-Schiefer. Sehr selten haben die Albitgneise, Albitschiefer und Albitphyllite graphitische Einschlüsse.

Gesteinsartenverteilung:

40% Albitgneis (tw. quarzreich), 35% Albitschiefer, 20% Chloritschiefer, 5% phyllitisches Störungsgestein

Abschnitt 17: Km 93,03 – km 93,98 (Länge: 950 m):

Dieser Gebirgsabschnitt wird von der Gruppe der Wechselschiefer eingenommen wobei hier der Albitphyllit das dominierende Gestein ist. Die Varietäten des Albitphyllit reichen von „phyllitisch“ über „schiefrig“ bis zu „stark zerlegt“. Stark tektonisch überprägte Phyllite enthalten bereichsweise graphitreiche Lagen.

Gesteinsartenverteilung:

45% Albitschiefer, 25% Albitphyllit, 20% graphitischer Phyllit, 10% phyllitisches Störungsgestein

3.2.3.9 Gebirgsbereich: Wechsel System/Semmering System - Kristallingesteine

Abschnitt 18: Km 93,98 – km 94,42 (Länge: 440 m):

Dieser Abschnitt stellt den Übergang von den permomesozoischen Gesteinen des Wechsel Systems zu den Kristallingesteinen des Semmering Systems dar. Dies beinhaltet eine Vielzahl von verschiedenen Gesteinen wie Serizitschiefer/phyllite („Alpiner Verrucano“), Quarzite („Semmeringquarzit“), brekziierte karbonatische Schiefer, karbonatische Brekzien, Phyllonite und phyllonitische Glimmerschiefer.

Die Serizitschiefer/phyllite zeigen Übergänge zu Metasandsteinen und Metaarkosen und werden von dünnen Sulfatgesteinslagen in Form von Gips begleitet.

Der „Semmeringquarzit“ zeigt Übergänge zu Metasandsteinen, Metaarkosen und Metakonglomeraten und ist mäßig bis stark zerlegt. Durch die tektonische Beanspruchung ist der Quarzit zu sandig-grusigen Kataklasten entfestigt.

Gesteinsartenverteilung:

3% Dolomit/Dolomitmarmor, 2% Kalkstein (stark zerlegt), 20% Karbonatbrekzie, 13%

Quarzit, 5% Serizitphyllit, 14% Serizitschiefer, 4% Sulfatgestein, 16% Glimmerschiefer, 10% Phyllonit, 2% karbonatisches Störungsgestein, 3% quarzitisches Störungsgestein, 8% schiefriges Störungsgestein;

3.2.3.10 Gebirgsbereich: Semmering System – Kristallingesteine

Abschnitt 19: Km 94,42 – km 97,21 (Länge: 2790 m):

Der Trassenabschnitt 19 liegt wieder zur Gänze im Kristallin des Semmering Systems und wird von der Gneis-Grüngesteins-Folge eingenommen. Das Gebirge wird vornehmlich aus geschieferten Gneisen mit eingeschalteten Grüngesteinen aufgebaut, bei stärkerer Überprägung sind die Gesteine zu Glimmerschiefern bzw. Grünschiefern umgewandelt. Lokal sind grobkörnige Porphyroide, Phyllonite und phyllonitische Glimmerschiefer eingebaut.

Gesteinsartenverteilung:

95% Gneis/Grüngestein, 3% Glimmerschiefer/Phyllit, 2% Phyllit/Phyllonit, 2% phyllitisches Störungsgestein

Abschnitt 20: Km 97,21 – km 97,44 (Länge: 230 m):

Der Gebirgsabschnitt ist von starker Zerlegung bis kataklastischer Überprägung gekennzeichnet. Die Kernzonen des Störungsbereichs werden von feinkornreichen Kataklastiten dominiert, Randbereiche sind durch weniger deformierte Gesteine charakterisiert wie Gneise, Grüngesteine, Grünschiefer, Glimmerschiefer und Phyllonite.

Gesteinsartenverteilung:

53% Gneis/Grüngestein, 5% Glimmerschiefer/Phyllit, 9% Phyllit/Phyllonit, 24% phyllitisches Störungsgestein, 9% schiefriges Störungsgestein

Abschnitt 21: Km 97,44 – km 99,98 (Länge: 2540 m):

Im Gebirgsabschnitt 21 erreicht der Tunnelvortrieb die Gesteine der Glimmerschiefer-Folge des Semmering-Kristallins. Diese Folge beinhaltet Glimmerschiefer, Phyllite und Phyllonite wobei die Gesteine auf Grund von Störungsbahnen in der zweiten Hälfte des Trassenabschnittes stärker zerlegt sind. Glimmerschiefer ist hier das dominierende Gestein, je nach mineralogischer Zusammensetzung besitzt das Gestein entweder gneisigen oder phyllonitischen Charakter.

Gesteinsartenverteilung:

26% Glimmerschiefer, 40% Glimmerschiefer/Phyllit, 21% Phyllit/Phyllonit, 13% phyllitisches/schiefriges Störungsgestein

Abschnitt 22: Km 99,98 – km 101,13 (Länge: 1150 m):

Das aus Grobgneis aufgebaute Gebirge wird von mehreren Störungen durchschlagen, die mit der Trasse zu durchörteren sind. Der geschieferte Grobgneis liegt mäßig bis stark zerlegt vor, das Korngefüge ist häufig zu sandig-zerriebenem Störungsgestein entfestigt. Lokal sind geringmächtige kataklastisch überprägte Zonen aus phyllitischen Gesteinen ausgebildet.

Gesteinsartenverteilung:

68% Grobgneis, 2% phyllitisches/schiefriges Störungsgestein, 30% Grobgneis-Störungsgestein

Abschnitt 23: Km 101,13 – km 101,64 (Länge: 510 m):

Der gesamte Trassenabschnitt ist auf Grund von tektonischer Überprägung durch stark zerlegte Gesteine und ausgeprägter Anisotropie gekennzeichnet. Die angetroffenen Glimmerschiefer und Quarzphyllite sind stark zerlegt und zerschert und wechseln mit schluffig-sandig-kiesigen Kataklastitlagen. Vereinzelt kommen auch gestörte Grobgneise vor.

Gesteinsartenverteilung:

5% Serizitphyllit, 30% Phyllit/Phyllonit, 27% phyllitisches Störungsgestein, 35% schiefriges Störungsgestein, 3% Grobgnais-Störungsgestein

Abschnitt 24: Km 101,64 – km 102,16 (Länge: 520 m):

Vorwiegend treten Kalkstein, Kalkmarmor, Dolomit und Dolomitmarmor auf. In geringerem Ausmaß sind Rauhacken, Kalk- und Dolomitbrekzien vertreten welche entlang von Störungszonen auftreten. Die Gesteine haben unterschiedliche Bankungsmächtigkeiten und sind vielfach gering bis stark zerlegt.

Gesteinsartenverteilung:

75% Kalkstein/Kalkmarmor, 10% Rauhacke, 5% Karbonatbrekzie, 10% karbonatisches Störungsgestein

Abschnitt 25: Km 102,16 – km 102,97 (Länge: 810 m):

Die charakteristischen Gesteine in diesem Abschnitt sind Phyllite und Quarzphyllite des Semmering-Kristallins. Unterlagert werden diese von Semmeringquarziten und teils stark zerlegten Karbonatgesteinen.

Gesteinsartenverteilung:

2% Karbonatgestein (stark zerlegt), 14% Quarzit, 70% Glimmerschiefer/Phyllit, 10% Phyllit/Phyllonit, 4% phyllitisch/schiefriges Störungsgestein

Abschnitt 26: Km 102,97 – km 103,20 (Länge: 226 m):

Es dominieren stark zerlegte und zerscherte Karbonatgesteine, vor allem Dolomitmarmore und Dolomitbrekzien die zum Teil verkarstet vorliegen. Durch tektonische Aktivitäten sind den Karbonaten ebenfalls stark zerlegte Semmeringquarzite und Quarzphyllite zwischengeschaltet.

Gesteinsartenverteilung:

63% Karbonatgestein (stark zerlegt), 15% Quarzit, 4% Glimmerschiefer/Phyllit, 18% karbonatisches Störungsgestein

Abschnitt 27: Km 103,20 – km 103,69 (Länge: 490 m):

Auch dieser Abschnitt wird von Karbonatgesteinen aufgebaut wie Dolomit, Kalkstein, Dolomitmarmor und Kalkmarmor. In Störungszonen ist das Gestein stark zerrüttet und zerlegt sowie kataklastisch entfestigt.

Gesteinsartenverteilung:

24% Kalkstein/Kalkmarmor, 7% Karbonatgestein (stark zerlegt), 67% Karbonatgestein (aufgelockert), 2% karbonatisches Störungsgestein

Abschnitt 28: Km 103,69 – km 103,92 (Länge: 227 m):

In diesem letzten Trassenabschnitt wird das westliche Tunnelportal in Mürzzuschlag erreicht. Dadurch kommt es beim Vortrieb zu einem Wechsel von Fest- zu Lockergestein.

Das Festgestein besteht aus Kalkmarmor, Dolomit und Rauhacke. Wegen intensiver Verwitterung sind diese stark aufgelockert.

Bei den Lockergesteinen handelt es sich um Sand-Kies-Stein-Gemische (Hangschutt, Bachsedimente) deren Komponenten aus Karbonaten und Kristallingesteinen (Quarzphyllit) bestehen.

Gesteinsartenverteilung:

50% Hangschutt, 5% Alluvium, 20% Kalkstein/Kalkmarmor, 15% Karbonatgestein (stark zerlegt), 10% Karbonatgestein (aufgelockert)

3.3 Mineralrohstoffverarbeitende Industriebetriebe im Umkreis des Trassenkorridors

Die nachfolgende Liste an Betrieben ist den gelben Seiten „Herold“ [32] und dem Montanhandbuch 2012 entnommen. Die Entfernung der Betriebsstandorte zum Zentrum der Tunneltrasse (Zwischenangriff Fröschnitzgraben) wurde mittels Routenplaner in Google-Maps ermittelt. Bei den Entfernungsangaben handelt es sich um Straßenkilometer. Aus kostentechnischen Gründen wurde das Firmeneinzugsgebiet auf einen Radius von 70 km Luftlinie beschränkt. Das heißt innerhalb dieses Radius sollen die Transportkosten geringer sein als die Erlöse für den Tunnelausbruch. Betreffend wirtschaftliche Transportweiten sei hier auf die Diplomarbeit von Dopler Christoph „Wiederverwertung von Tunnelausbruchsmaterial in naheliegenden Produktions- und Industriestandorten“ verwiesen. Der Zwischenangriff Fröschnitzgraben wurde deshalb gewählt, weil dort das erste Ausbruchsmaterial erwartet wird. Details zu den einzelnen Betrieben sind im Anhang ersichtlich. Die Ziffer in der ersten Spalte dient als fortlaufende Nummer.

Nr.	Firmenname	Branche	Distanz [km]
1	Teerag-Asdag AG	Bauunternehmen	15
2	Rothwangl Johann	Quarzitbergbau	15
3	Cemex Austria AG	Kies und Sand	19
4	Dolomitbergbau Pretul	Dolomitbergbau	23
5	Walter Ulm	Quarz u Quarzsand	24
6	Feichtinger GmbH	Quarz u Quarzsand	25
7	Kies-Union GmbH	Kieswerke	27
8	Lieferbeton GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	27
9	CEMEX Austria AG	Kieswerke	27
10	Zangl Engelbert GmbH	Quarzitbergbau	32
11	Kohlbacher GmbH	Kies und Sand	32
12	Cemex Austria AG	Magnesitbergbau Veitsch	36
13	Friedrich Fuchs	Quarzitbergbau	37
14	Feichtinger GmbH	Quarz u Quarzsand	37
15	Schaberreiter GmbH	Beton- u Betonsteinwerke	37
16	Haselbacher GmbH	Sand u Schotter	38
17	Cemex Austria AG	Granit-Gneisbergbau	42
18	Bauunternehmung Granit GmbH	Kies und Sand	42
19	Pichler Michael GesmbH	Schottergrube	44
20	Deiningner GmbH	Quarzbergbau & Aufbereitung	44
21	Auerböck GmbH & Co KG	Kies und Sand	44
22	Pehofer Peter GmbH	Kies und Sand	44
23	CEMEX Umweltservice GmbH	Steinbrüche	45
24	Ziegelwerk Lizzi GmbH	Tonabbau	46
25	Holzgethan Franz GmbH	Quarzit	46
26	Pusiol GmbH	Kies und Sand	46
27	Besta Josef und Hermine	Taonabbau	47
28	Huber Johann GbmH	Illitbergbau	47
29	Friesenbichler Karl GmbH & Co KG	Quarzitsteinbruch	48

30	Hafenscherr Johann	Quarzitbergbau	49
31	CEMEX Austria AG	Zementwerke	52
32	Gbr.Trippl Transporte GmbH	Kalksteinbergbau	52
33	Readymix Trippl Steinbruch GmbH	Steinbrüche	52
34	Hendling Martin GmbH	Quarzit Bromberg	52
35	Schwarzl GmbH	Marmorbergbau	53
36	Füllenhals Michael/Doris	Transportunternehmen	54
37	Aspanger GmbH & Co KG	Rohstoffe	54
38	Paltentaler GmbH	Kies und Sand	54
39	Leeb Rudolf GmbH	Transportunternehmen	56
40	Kies- Union GmbH	Sand u Schotter	56
41	Reiterer B.C.T. GmbH	Kieswerke	56
42	Katzenberger GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	57
43	Wurzenberger Johann	Lockergestein	57
44	Aspanger GmbH & Co KG	Leukophyllitbergbau	57
45	Umwelttechnik und Service GmbH	Kalksteinbergbau	57
46	Maderbacher GmbH	Quarzit	57
47	Lafarge Perlmooser GmbH	Kieswerke	58
48	Papst Markus Dipl-Ing GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	58
49	Rudolf Mosbacher	Quarzitsteinbruch	59
50	Veitsch-Radex GmbH & Co OG	Magnesit	59
51	Steuer GmbH	Transportunternehmen	59
52	Tanzer Manfred	Quarzitsteinbruch	59
53	Reiterer GmbH	Kies und Sand	62
54	Gruber Leopold	Kies und Sand	62
55	Strabag AG	Kies und Sand	62
56	Buchegger GmbH	Sand u Schotter	63
57	Bau Beton GmbH	Kies und Sand	64
58	Praschl GmbH	Kalk/Dolomitbergbau	65
59	Auer Waltraud	Kies und Sand	66
60	Wopfinger GmbH	Tonbergbau	67
61	Quantum Forstgut Aflenz GmbH	Kies und Sand	67
62	Karin Gruber	Steinbrüche	68
63	Styromagnesit GmbH	Magnesitbergbau	68
64	Betonwerk KOCH GesmbH.	Quarzsandabbau	69
65	Rieser GmbH	Rohstoffe	69
66	Ziegelwerk J. Polsterer GmbH	Tonbergbau	69
67	Stelzer; Steinbruch	Kalksteinbruch	69
68	Kirchengast Schotterwerke GmbH	Gneis	69
69	Lindabrunner und Ternitze GmbH	Konglomerat, Brekzie	69
70	Tieber GesmbH	Sand u Schotter	70
71	Stefan Mosbacher	Dolomitbergbau	70
72	Horst Krenn	Steinbrüche	71
73	Luiki Betonwerke GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	71
74	August Scardelli	Beton- u Betonsteinwerke	71

Tabelle 31: Betriebe im Projektraum Semmering

3.4 Evaluations Matrix – Bewertung der Verwendbarkeit von Tunnelausbruchmaterial

Um Tunnelausbruchmaterial rasch bezüglich seiner Verwendbarkeit anhand von technischen, chemischen, mineralogischen und gesetzlichen Richtlinien beurteilen zu können, wurde von Resch (2012) eine Bewertungsmatrix erstellt.

In der vorliegenden Arbeit wurde diese Bewertungsmatrix um „chemische Anforderungen an industrielle Rohstoffe“ erweitert.

In einem Excel-Programm werden eingegebene Messwerte wie z. B. die chemische Zusammensetzung eines Gesteins Grenzwerten aus Normen und Richtlinien gegenübergestellt. Die Bewertungsmatrix ist also ein nützliches Werkzeug um die Eignung von Tunnelausbruchmaterial als Industriemineral einfach festzustellen.

Folgende Verwendungsmöglichkeiten können bereits in der Entwurfs- und Planungsphase des Tunnelprojektes festgestellt werden:

- Gesteinskörnung für die Betonproduktion
- Gesteinskörnung für Tragschichten
- Bahnschotter
- Gesteinskörnung für Asphaltmischgut
- Anforderungen an industrielle Rohstoffe.

Der Nachweis der Verwendbarkeit des Tunnelausbruchmaterials sollte so bald wie möglich erfolgen. Hierfür wurden die Materialuntersuchungen den Projektphasen Entwurfs- und Planungsphase zugeteilt (vgl. Resch 2012). [23]

Die Bewertungsmatrix kann in beiden Phasen verwendet werden. Auch einzelne Materialparameter können sehr einfach in Hinblick auf die Materialverwendung überprüft werden. Untersuchungen der Planungsphase (zweite Untersuchungsphase) werden in der Bewertungsmatrix mit *kursiver* Schrift auf dunkelgrauem Hintergrund gekennzeichnet.

Ein Überschreiten diverser Grenzwerte heißt jedoch nicht dass dem analysierten Material keine Verwendung gegenübersteht, sondern dass das Material einer genaueren Begutachtung unterzogen werden sollte. Entspricht das Ausbruchmaterial den vorgegebenen Grenzwerten, müssen zur Kontrolle, verwendungsspezifische Untersuchungen durchgeführt werden. [23]

3.4.1 Funktionsweise der Bewertungsmatrix

Für den Benutzer sind insgesamt zehn Tabellenblätter einsehbar wobei vier davon Eingabeblätter und sechs Ausgabeblätter sind. Diese Tabellenblätter sind in der Navigationsleiste via Textfeldbuttons anwählbar. Berechnungstabellenblätter sind der Übersichtlichkeit halber ausgeblendet. Der Benutzer kann also nur die weiß hinterlegten Eingabezellen und die Steuerelemente bearbeiten. Das aktuell gewählte Tabellenblatt wird durch eine farbliche Hinterlegung des zugehörigen Textfeldbuttons gekennzeichnet (Abb. 13).

Technische Parameter	Chemische Parameter	Mineralogische Parameter	Sieblinie	BAWP / DepVO
Gesteinskörnung für Betonproduktion	Gesteinskörnung für Tragschichten	Gesteinskörnung für Bahnschotter	Gesteinskörnung für Asphaltmischgut	Anforderungen an industrielle Rohstoffe

Abbildung 13: Navigationsleiste [23]

In den Eingabeblättern

- Technische Parameter
- Chemische Parameter
- Mineralogische Parameter
- Sieblinie

werden die nötigen Eigenschaften des zu testenden Ausbruchmaterials abgefragt um eine verwendungsspezifische Bewertung zu starten. Es müssen allerdings nicht alle Eingabeblätter ausgefüllt werden. Je nachdem welcher Analyse das Material unterzogen wurde, werden die entsprechenden Daten eingegeben. [23]

3.4.2 Eingabeblatt – Technische Parameter

In diesem Eingabeblatt werden die Messwerte der technischen Analyse eingegeben. Im dunkelgrau hinterlegten Teil des Eingabefeldes werden die Untersuchungsergebnisse der Planungsphase abgefragt (Abb. 14). Die Korngrößenverteilung ist hier zwar angeführt, wird aber im Eingabeblatt „Sieblinie“ eingetragen. [23]

	Norm/Richtlinie	Messwert	
Druckfestigkeit	ON EN 1926:2007	80,0	N/mm ²
E-Modul	ON B 3124-9:1986	40.000	N/mm ²
Widerstand gegen Zertümmerung			
LCPC-Test: Brechbarkeitsindex [B _c]	AFNOR P 18-579:1990	25	-
Frost-(Tau)-Widerstand	ON EN 1367-1:2007	F2	<input type="button" value="v"/>
Korngrößenverteilung	ON EN 933-1:2012	siehe eigenes Tabellenblatt	
<i>Kornform (Anteil der nicht kubischen Körner)</i>	<i>ON EN 933-4</i>	<i>23</i>	<i>M.-%</i>
<i>Widerstand gegen Zertümmerung</i>			
<i>LA-Wert [LA]</i>	<i>ON EN 1097-2:2010</i>	<i>28</i>	<i>-</i>
<i>Wasseraufnahme¹⁾</i>	<i>ON EN 1097-6:2006</i>	<i>0,6</i>	<i>M.-%</i>
<i>Schlagzertrümmerung¹⁾[SZ_{RB}]</i>	<i>ON EN 1097-2:2010</i>	<i>20</i>	<i>-</i>
<i>Widerstand gegen Verschleiß¹⁾[M₀₂RB]</i>	<i>ON EN 1097-2:2010</i>	<i>15</i>	<i>-</i>
<i>Widerstand gegen Polieren¹⁾[PSV]</i>	<i>ON EN 1097-8:2011</i>	<i>40</i>	<i>-</i>

¹⁾ Parameter für Bahnschotter gem. ÖBB BH 700
¹⁾ Parameter für Asphaltmischgut

Abbildung 14: Eingabeblatt „Technische Parameter“ [23]

3.4.3 Eingabeblatt – Chemische Parameter

Das Eingabeblatt (Abb. 15) der chemischen Parameter ist unterteilt in

- Eluat (z. B. pH-Wert)
- Anorganische Stoffe (z. B. Arsen)
- Organische Summenparameter (z. B. TOC)
- chemische Verbindungen (z. B. SiO₂).

Zusätzlich können noch folgende Untersuchungsergebnisse eingegeben werden:

- Alkali-Kieselsäure-Reaktivität
- Wasserlösliches Chlorid

- Säurelösliches Sulfat

Diese Messwerte müssen dem Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) und der Deponieverordnung (DepVO) entsprechen. Im Ergebnisblatt „BAWP/DepVO“ werden die chemischen Messwerte den Grenzwerten dieser Verordnung gegenübergestellt. In den weiteren Ausgabeblättern werden ebenfalls Messwerte aus chemischen Analysen mit Grenzwerten aus Normen und Richtlinien verglichen, besonders bei „Anforderungen an industrielle Rohstoffe“. [23]

Siliciumdioxid - SiO ₂	[M.-%]	0
Aluminiumoxid - Al ₂ O ₃	[M.-%]	0
Eisen(III)-oxid - Fe ₂ O ₃	[M.-%]	0
Titan(IV)-oxid - TiO ₂	[M.-%]	0
CaO - Calciumoxid	[M.-%]	0
Magnesiumoxid - MgO	[M.-%]	0
Kaliumoxid - K ₂ O	[M.-%]	0
Natriumoxid - Na ₂ O	[M.-%]	0
Calciumcarbonat - CaCO ₃	[M.-%]	0
C _{org}	[M.-%]	0
Gesamt-Schwefel	[M.-%]	0
Glühverlust - GV	[M.-%]	0
Magnesiumcarbonat - MgCO ₃	[M.-%]	0
Schwefeltrioxid - SO ₃	[M.-%]	0
Phosphorpentoxid - P ₂ O ₅	[M.-%]	0
CaF ₂	[M.-%]	0
Cr ₂ O ₃	[M.-%]	0
FeO	[M.-%]	0
MnO	[M.-%]	0
SrO	[M.-%]	0
BaO	[M.-%]	0
B ₂ O ₃	[M.-%]	0
BaSO ₄	[M.-%]	0
CaSO ₄ ·2H ₂ O	[M.-%]	0
SrSO ₄	[M.-%]	0

Abbildung 15: Auszug aus dem Eingabeblatt „Chemische Parameter“ [23]

3.4.4 Eingabeblatt – Mineralogische Parameter

In diesem Eingabeblatt sind die mineralogischen Komponenten (Quarz, Feldspat, etc.) eines Gesteins enthalten (Abb. 16). Beim Mineral „Glimmer“ ist zusätzlich anzugeben, ob der Glimmergehalt an einer trocken-aufbereiteten Gesteinsprobe (Ausbruchmaterial) oder an einer nass-aufbereiteten Gesteinsprobe (aufbereitete Gesteinskörnung) bestimmt wurde. Diese Angabe ist dann von Bedeutung, wenn glimmerreiches Gestein für die Betonproduktion verwendet werden soll.

	Massen-%	Ausbruchmaterial
Glimmer	23,0 %	
Kaolinit (fire clay-Mineral)		
Sericit + Illit		
Smektit		
Chlorit		
Quarz	34,0 %	
Feldspat	27,0 %	
Calcit		
Dolomit + Ankerit		
Goethit		
Hämatit		
Siderit		
Pyrit		
Gips		
Hornblende		
Röntgenamorpher Rest		

Abbildung 16: Eingabeblatt „Mineralogische Parameter“ [23]

3.4.5 Eingabeblatt – Sieblinie

In diesem Registerblatt wird die Korngrößenverteilung der untersuchten Gesteinsprobe eingegeben (Abb. 17). Jene Ergebnisse, die nicht aus dem Siebdurchgang ermittelt werden konnten, können in den Eingabezellen einfach freigelassen werden.

In den Ergebnisblättern wird die Sieblinie des untersuchten Ausbruchmaterials den vorgegebenen Sieblinien gegenübergestellt. [23]

Sieblinie des Ausbruchmaterials / der Gesteinskörnung		Sieblinie von Ton und Lehm	
	Siebdurchgang in Massen-%		Siebdurchgang in Massen-%
0,063 mm	4,0 %	<0,002 mm	54 %
0,125 mm	9,2 %	0,02 - 0,002 mm	36 %
0,25 mm	14,2 %	> 0,02 mm	7 %
0,5 mm	17,7 %		
1 mm	22,6 %		
2 mm	31,0 %		
4 mm	38,8 %		
5,6 mm	2,0 %		
8 mm	10,2 %		
11,2 (11) mm	5,0 %		
16 mm	30,0 %		
22 mm			
31,5 (32) mm	77,8 %		
40 mm			
45 mm			
50 mm			
63 mm	88,8 %		
80 mm	100,0 %		

Abbildung 17: Eingabeblatt „Sieblinie“ [23]

3.4.6 Ergebnisblatt – BAWP/DepVO

Die eingegebenen chemischen Parameter werden den Grenzwerten

- gemäß Deponieverordnung
 - Bodenaushubdeponie
 - Inertabfalldeponie
 - Baurestmassendeponie
 - Reststoffdeponie

- gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan
 - Recycling-Baustoffe
 - Qualitätsklassen A+, A und B
 - Aushubmaterialien
 - Qualitätsklassen A1, A2-G, A2 und BA

gegenübergestellt.

Wird ein Grenzwert überschritten erscheint rechts neben dem Grenzwert der Eintrag „GWÜ“ für Grenzwertüberschreitung (Abb. 18).

			Gem. Deponieverordnung			
			Bodenaushubdeponie	Inertabfalldeponie	Baurestmassendeponie	Reststoffdeponie
Eluat	Einheit	Messwert	Grenzwert	Grenzwert	Grenzwert	Grenzwert
pH-Wert	[-]		3,5 - 12 ⁴⁾⁵⁾	3,5 - 12 ¹⁰⁾	3,5 - 13 ¹⁸⁾	6 - 12 ²⁷⁾²⁸⁾
elektrische Leitfähigkeit [mS/m]	[mS/m]		150 ³⁾	150 ¹¹⁾	350 ¹⁹⁾²⁰⁾	- ²⁹⁾
Abdampfrückstände	[mg/kg TM]		-	-	25.000	60.000
Anorganische Stoffe						
Aluminium (als Al)	[mg/kg TM]		- ⁸⁾	- ¹²⁾	-	100 ³⁰⁾
Antimon (als Sb)	[mg/kg TM]		-	0,06	-	0,7
Arsen (als As)	[mg/kg TM]	44	0,5 GWÜ	0,5 GWÜ	0,75 GWÜ	2 GWÜ
Barium (als Ba)	[mg/kg TM]		10	20	20	100
Beryllium (als Be)	[mg/kg TM]		-	-	-	-
Blei (als Pb)	[mg/kg TM]		1	0,5	2	10
Bor (als B)	[mg/kg TM]		-	-	30	-
Cadmium (Cd)	[mg/kg TM]		0,05	0,04	0,5	1
Chrom gesamt (als Cr)	[mg/kg TM]		1	0,5	2	10
Chrom sechswertig (als Cr)	[mg/kg TM]		-	-	0,5	-
Cobalt (als Co)	[mg/kg TM]		1	1	2	5

Abbildung 18: Ausschnitt aus dem Ergebnisblatt BAWP/DepVO [23]

Mit Hilfe von Steuerelementen können zusätzlich folgende Randbedingungen festgelegt werden (Abb. 19):

- geogen bedingter Schadstoffgehalt im Bodenaushubmaterial,
- erhöhter TOC-Gehalt aufgrund von Humus in verunreinigtem Bodenaushubmaterial und nicht verunreinigten Bodenbestandteilen,
- natürlich versauerter Bodenaushubmaterial,
- geogen bedingter Gipsgehalt im Bodenaushubmaterial,
- frisch gebrochener Beton, Betonierungsrückstand und Bentonit-Schlämme.

- 1) Geogen bedingt: As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, H
- 2) Nicht verunreinigter Bodenaushub mit Humusgehalt
- 4) Aufgrund natürlicher Einwirkungen versauerter Boden
- 5) Geogen bedingt gipshaltiger Boden
- 20) Frisch gebrochener Beton; Betonit-Schlämme

Abbildung 19: Ausschnitt aus dem Ergebnisblatt BAWP/DepVO [23]

Werden alle Grenzwerte eingehalten, wird die Eignung des Ausbruchmaterials tabellarisch dargestellt (Abb. 20). [23]

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

Abbildung 20: Ausschnitt aus dem Ergebnisblatt BAWP/DepVO [23]

In den Ergebnisblättern

- Gesteinskörnung für die Betonproduktion,
- Gesteinskörnung für Tragschichten,
- Bahnschotter,
- Gesteinskörnung für Asphaltmischgut,
- Anforderungen an industrielle Rohstoffe

werden die eingegebenen Untersuchungsergebnisse verschiedenen Grenzwerten gegenübergestellt. [23]

3.4.7 Anforderungen an industrielle Rohstoffe

Diesem Ergebnisblatt liegen die chemischen Anforderungen an mineralische Rohstoffe aus Kapitel 2.3 zugrunde. Das Ergebnisblatt „Anforderungen an industrielle Rohstoffe“ stellt die Ergebnisse der chemischen Analyse des Ausbruchmaterials zwei Gruppen von Grenzwerten gegenüber: einerseits Limits aus der Endprodukt-erzeugenden Industrie, auf der anderen Seite Grenzwerten aus dem Bergbau (Aufbereitung), welche die prinzipielle Abbauwürdigkeit beurteilen.

Je nach Qualität des analysierten Gesteinsmaterials wird in der Übersicht des Ergebnisblattes die Abbauwürdigkeit sowie die Eignung zur industriellen Weiterverarbeitung farblich markiert (siehe Abb. 21).

Technische Parameter	Chemische Parameter	Mineralogische Parameter	Sieblinie	BAWP / DepVO
Gesteinskörnung für Betonproduktion	Gesteinskörnung für Tragschichten	Gesteinskörnung für Bahnschotter	Gesteinskörnung für Asphaltmischgut	Anforderungen an industrielle Rohstoffe

Abbauwürdigkeit des analysierten Materials
Ja

Industrielle Weiterverarbeitung
Ja

Abbildung 21: Ergebnisblatt der „Anforderungen an industrielle Rohstoffe“

Durch Mausklick auf diese beiden, farblich markierten, Textfeldbuttons gelangt man jeweils in ein neues Ausgabefenster. Beim linken Button „Abbauwürdigkeit“ kann man direkt die Liste mit den Grenzwerten einsehen (Abb. 22), wobei ein rotes Feld Grenzwertüber-, oder -unterschreitung bedeutet. Liegt der Messwert innerhalb der Grenzwerte bleibt das Feld

weiß markiert. Beim Klicken des rechten Buttons „industrielle Weiterverarbeitung“ gelangt man in ein neues Ausgabeblatt welches eine Liste mit Industriezweigen darstellt (Abb. 23).

	Einheit	Messwert	Grenzwerte		
Siliciumdioxid - SiO ₂	[M.-%]	0,5	0,0	-	1,5
Aluminiumoxid - Al ₂ O ₃	[M.-%]	0,2	0,0	-	1,0
Natriumoxid - Na ₂ O	[M.-%]		0,0	-	0,5
Kaliumoxid - K ₂ O	[M.-%]	0,0	0,0	-	0,5
Calciumcarbonat - CaCO ₃	[M.-%]		95,0	-	100,0
CaO - Calciumoxid	[M.-%]	54,2	95,2	-	100,0
Magnesiumoxid - MgO	[M.-%]		0,0	-	5,0
Magnesiumcarbonat - MgCO ₃	[M.-%]		0,0	-	10,0
Phosphorpentoxid - P ₂ O ₅	[M.-%]		0,0	-	0,0
Schwefeltrioxid - SO ₃	[M.-%]		0,0	-	0,1

Abbildung 22: Gegenüberstellung der Messwerte den Grenzwerten

Die Zahl in der Spalte „Anzahl der produzierbaren Güter“ gibt an, wie viele unterschiedliche Produkte in den jeweiligen Industriezweigen mit dem Ausbruchmaterial herstellbar sind (Abb. 23). Durch Anwählen der verschiedenen Industriezweige gelangt man jeweils zu den Listen mit den Grenzwerten. Eine rote farbliche Markierung bedeutet wieder Grenzwertüberschreitung, eine weiße Markierung bedeutet Messwert liegt innerhalb der Grenzwerte.

	Anzahl der produzierbaren Güter
Stahlindustrie	0
Glasindustrie	1
Chemische Industrie	0
Keramika	0
FGD	0
Agrarwirtschaft	0
Papier-Industrie	0
Zement-Industrie	0
Feuerfest-Industrie	0
Non ferro Materialien	0
Zuschlagstoffe	0
Kunststoffe, Farben	0
Füllstoffe	0
Abrasivstoffe	0
Andere	1

Abbildung 23: Industriesektoren und die Anzahl der jeweils erzeugbaren Produkte

Erläuterung anhand eines Beispiels:

Für dieses Beispiel wurde eine chemische Analyse eines qualitativ hochwertigen Kalksteins verwendet. Die Messwerte werden im Feld „Chemische Parameter“ eingegeben (Abb. 24).

Siliciumdioxid - SiO ₂	[M.-%]	0,5
Aluminiumoxid - Al ₂ O ₃	[M.-%]	0,2
Eisen(III)-oxid - Fe ₂ O ₃	[M.-%]	0,2
Titan(IV)-oxid - TiO ₂	[M.-%]	
CaO - Calciumoxid	[M.-%]	54,2
Magnesiumoxid - MgO	[M.-%]	
Kaliumoxid - K ₂ O	[M.-%]	0,04
Natriumoxid - Na ₂ O	[M.-%]	
Calciumcarbonat - CaCO ₃	[M.-%]	
C _{org}	[M.-%]	
Gesamt-Schwefel	[M.-%]	
Glühverlust - GV	[M.-%]	
Magnesiumcarbonat - MgCO ₃	[M.-%]	
Schwefeltrioxid - SO ₃	[M.-%]	
Phosphorpentoxid - P ₂ O ₅	[M.-%]	
CaF ₂	[M.-%]	
Cr ₂ O ₃	[M.-%]	
FeO	[M.-%]	
MnO	[M.-%]	
SrO	[M.-%]	
BaO	[M.-%]	
B ₂ O ₃	[M.-%]	
BaSO ₄	[M.-%]	

Abbildung 24: Eingabe der chemischen Messwerte im Feld Chemische Parameter

Nach Eingabe der chemischen Zusammensetzung des Gesteins klickt man in der Navigationsleiste auf „Anforderungen an industrielle Rohstoffe“ (Abb. 21). Dort sieht man dass das Feld „Industrielle Weiterverarbeitung“ gelb markiert ist. Das heißt, das analysierte Material hat mindestens eine Verwendungsmöglichkeit in der Endprodukt-erzeugenden Industrie. Das Feld „Abbauwürdigkeit“ ist auch gelb markiert. Das heißt das analysierte Material ist qualitativ auch für Aufbereitungs-Prozesse geeignet. Von Interesse sind natürlich die Verwendungsmöglichkeiten für die industrielle Weiterverarbeitung. Durch Klicken auf den gelb markierten Button, gelangt man zu einer Übersicht mit Industriezweigen (Abb. 23). Der Industriezweig für den eine Verwendung des analysierten Kalksteins besteht ist gelb markiert. In diesem Beispiel ist das die Glasindustrie. Durch Klicken auf das Feld Glasindustrie gelangt man zu einer Liste mit Produkten aus Glas und dessen verwendetem mineralischen Rohstoff. In dieser Liste scrollt man bis zu der Zeile, die die Zahl 1 enthält und gelb hinterlegt ist (Abb. 25). In der nebenstehenden Tabelle sind die chemischen Grenzwerte angeführt, die der Analyse des Kalksteins entsprechen und das Produkt das mit dem Gestein hergestellt werden kann. In diesem Fall kann Dolomit durch Kalkstein ersetzt werden. Hergestellt wird damit Glas und Mineralfasern.

Dolomit (unkalziniert) für Glas, Mineralfasern

	Einheit	Messwert	Grenzwerte		
Aluminiumoxid - Al ₂ O ₃	[M.-%]	0,2	0,0	-	0,2
Eisen(III)-oxid - Fe ₂ O ₃	[M.-%]	0,2	0,0	-	0,2

1

Abbildung 25: Verwendungsmöglichkeit für den analysierten Kalkstein

In den Ergebnisblättern

- Gesteinskörnung für die Betonproduktion,
- Gesteinskörnung für Tragschichten,
- Bahnschotter und

- Gesteinskörnung für Asphaltmischgut

wird die Sieblinie des untersuchten Ausbruchmaterials den vorgegebenen Sieblinien gegenübergestellt. [23]

3.5 Verwendung der erwartbaren Lithologien

3.5.1 Mengenmäßige Abschätzung der erwartbaren Lithologien

Die in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Trassenabschnitte des Semmering Basistunnels und die dazugehörigen Lithologien sind in Tab. 32 zusammengefasst wobei für jede Gesteinsart Ausbruchsvolumen (ohne Auflockerungsgrad und einer mittleren Dichte von $2,65 \text{ t/m}^3$) und Ausbruchsmasse angeführt ist. Der Wert der mittleren Dichte bezieht sich auf die Gesteine der Erdkruste. In Richtung Erdkern nimmt die mittlere Dichte zu, so hat der Erdmantel bereits eine mittlere Dichte von $4,3 \text{ g/cm}^3$.

Geologische Großeinheit	Lithologie	Länge [m]	Volumen [m ³]	Masse [t]
Lockergesteine	Hangschutt	180	14.130	37.445
	Alluvium	11	864	2.288
Grauwackenzone Norische Decke	Phyllit	739	58.012	153.730
	Schiefer	879	69.002	182.854
Grauwackenzone Veitscher Decke	Graphitphyllit/schiefer	234	18.369	48.678
	Metasandstein	366	28.731	76.137
Semmering System - Permomesozoische Karbonate	Kalkstein/Kalkmarmor	1.290	101.265	268.352
	Dolomit/Dolomitmarmor	591	46.394	122.943
	Karbonatgestein(stark zerlegt)	752	59.032	156.435
	Rauhacke	588	46.158	122.319
	Karbonatbrekzie	407	31.950	84.666
Semmering System - Permomesozoische Silikate	Tonschiefer	88	6.908	18.306
	Quarzit	254	19.939	52.838
	Serizitphyllit	219	17.192	45.557
	Serizitschiefer	297	23.315	61.783
	Sulfatgesteine	119	9.342	24.755
Wechsel System	Albitschiefer	758	59.503	157.683
	Albitphyllit	1.153	90.511	239.853
	Phyllit, graphitisch	510	40.035	106.093
	Albitgneis	7.036	552.326	1.463.664
Semmering System - Kristallingesteine	Gneis/Grüngestein	2.716	213.206	564.996
	Glimmerschiefer	780	61.230	162.260
	Glimmerschiefer/Phyllit	1.802	141.457	374.861
	Phyllit/Phyllonit	903	70.886	187.847
	Grobgneis	782	61.387	162.676
Störungsgesteine	Karbonatisches Störungsgestein	217	17.035	45.141
	Quarzitische Störungsgestein	146	11.461	30.372
	Phyllitische Störungsgestein	2.617	205.435	544.401
	Schiefriges Störungsgestein	488	38.308	101.516
	Grobgneis-Störungsgestein	360	28.260	74.889
Summe		27.282	2.141.637	5.675.338

Tabelle 32: Prognose der erwartbaren Lithologien (Modifiziert nach [21], [22])

3.5.2 Darstellung der Verwendbarkeit der erwartbaren Lithologien

In diesem Kapitel wurden die geochemischen Analysen mit den chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie aus Kapitel 2.3.4 verglichen. Die geochemischen Analysen der Gesteine stammen nicht direkt aus der Tunneltrasse, entsprechen aber der örtlichen Lithologie [39], [40]. Exemplarisch folgt eine Darstellung mehrerer realistischer Beispiele für ein entsprechendes Verwendungsszenario.

3.5.2.1 Verwendungsszenario 1 – Semmering-Quarzit

Das Erste Verwendungsbeispiel bezieht sich auf den Trassenabschnitt 25 und 26 (siehe Kapitel 3.2.3.10) mit einer Länge von 1036 m pro Tunnelröhre. Das Ausbruchsvolumen dieses Abschnittes beträgt ca. 162.735 m³. Das entspricht einer Masse von 431.246 t. Diese Abschnitte beinhalten zum Großteil den Semmering-Quarzit. Hier wurde die chemische Zusammensetzung von Quarzit mit den Mineraltafeln aus Kapitel 2 verglichen. Es gab zwei Übereinstimmungen des Gesteins die den industriellen Anforderungen entsprechen. Die Verwendungszwecke sind die Erzeugung von Flussmittel durch Quarzit und die Erzeugung von Betonzuschlagstoffen. Die chemische Zusammensetzung des Quarzits, aus einer Röntgenfluoreszenzanalyse [47], ist in Tab. 33 den Verwendungszwecken gegenübergestellt. Als Vergleich ist die mineralogische Zusammensetzung von Quarzit in Abb. 34 angeführt. Da keine mineralogischen Anforderungen an Quarzit für die Endprodukt-erzeugende Industrie eruiert werden konnten, sei hier lediglich auf mindere Verwendungsmöglichkeiten wie die Verwendung als Naturstein, Schotter, Bodenbelag, Wandverkleidung, Glaszuschlagstoff hingewiesen.

Chemische Zusammensetzung (M-%)	Chem.-Analyse	Verwendungszweck	
	Semmering-Quarzit	Quarzit als Betonzuschlagstoff	Industriesand als Flussmittel
SiO ₂	95	95-100	90-100
TiO ₂	Spuren		
Al ₂ O ₃	1,5		0-1,5
Fe ₂ O ₃	0,5	0-0,5	0-1,5
FeO	Spuren		
MgO	0,15		0-0,2
CaO	0,15		0-0,2
Na ₂ O	Spuren		
K ₂ O	Spuren		
Glühverlust	1,5		

Tabelle 33: Gegenüberstellung des Semmering-Quarzits zu dessen Verwendungszwecken [47]

Quarzit	Mineralogische Zusammensetzung (M-%)	
	Quarz	Muskovit
	86	14

Tabelle 34: Mineralogische Zusammensetzung von Quarzit [24]

3.5.2.2 Verwendungsszenario 2 – Kalkmarmor

Das Zweite Verwendungsbeispiel bezieht sich auf den Trassenabschnitt 8 und 24 (siehe Kapitel 3.2.3.4 und 3.2.3.10) mit einer Gesamtlänge von 1195 m pro Tunnelröhre. Das Ausbruchsvolumen dieser Abschnitte beträgt ca. 187.710 m³. Das entspricht einer Masse von 497.432 t. Diese Abschnitte beinhalten zum Großteil Kalkmarmor bzw. Kalkstein. Hier wurde die chemische Zusammensetzung von Kalkmarmor mit den Mineraltafeln aus Kapitel 2 verglichen. Es gab vier Übereinstimmungen des Gesteins mit den industriellen Anforderungen. Eine Verwendung zur Herstellung von Mineralfasern, Gesteinsmehl, Füllstoff und Asphaltzuschlagstoff ist möglich. Bei Durchsicht der Anforderungen der anderen Produktgruppen entspricht der Kalkmarmor generell der Glasindustrie, da jene Anforderungen an das Gestein nur geringfügig abweichen. Bei diesem Gestein handelt es sich also um einen hochreinen Rohstoff, der durch den Tunnelvortrieb aufgefahren wird. Die chemische Zusammensetzung des Kalkmarmors ist in Tab. 35 den Verwendungszwecken gegenübergestellt. Als Vergleich ist die mineralogische Zusammensetzung von Kalkmarmor in Abb. 36 angeführt. Da keine mineralogischen Anforderungen an Kalkmarmor für die Endprodukt-erzeugende Industrie eruiert werden konnten, sei hier lediglich auf mindere Verwendungsmöglichkeiten hingewiesen: Naturwerkstein, Düngemittel, Zuschlagstoff für die Glas- und Stahlindustrie, Rauchgasentschwefelung und Steinpapierherstellung.

Chemische Zusammensetzung (M-%)	Chem.-Analyse	Verwendungszweck			
	Kalkmarmor	Dolomit für Mineralfasern	Dolomit für Gesteinsmehl	Kalkstein als Füllstoff in Plastik	Kalkstein für Asphalt
SiO ₂	0,19	-	0-3	-	-
TiO ₂	0,01	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0,15	0-0,2	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,06	0-0,2	-	-	-
MnO	0,01	-	-	-	-
MgO	0,42	-	-	-	0-2
CaO	55,26	-	-	0-55,3	-
Na ₂ O	0,05	-	-	0-0,5	-
K ₂ O	0,05	-	-	0-0,5	-
Glühverlust	43,8	-	-	-	-

Tabelle 35: Gegenüberstellung von Kalkmarmor zu dessen Verwendungszwecken [40]

Kalk- marmor	Mineralogische Zusammensetzung (M-%)			
	Quarz	Muskovit	Feldspat	Kalzit
	2	8	1	89

Tabelle 36: Mineralogische Zusammensetzung von Kalkmarmor [24]

3.5.2.3 Verwendungsmöglichkeiten durch Aufbereitung

Für die übrigen Lithologien wie z. B. Albitgneis konnte keine Verwendungsmöglichkeit nach Abgleich mit den Tabellen aus Kapitel 2 eruiert werden. Durch eine Aufbereitung der Gesteine könnten jedoch Minerale extrahiert und damit Mineralkonzentrate hergestellt werden. Als darstellendes Beispiel wird hierfür Albitgneis herangezogen. Der Hauptmineralbestand dieses Gesteins beinhaltet Quarz, Feldspat (Albit), Muskovit und Chlorit (Abb. 37).

Albitgneis	Mineralogische Zusammensetzung (M-%)			
	Quarz	Muskovit	Chlorit	Feldspat
	21	26	24	28

Tabelle 37: Mineralogische Zusammensetzung von Albitgneis [24]

Daraus könnte nach folgenden Aufbereitungsschritten [49] z. B. ein Feldspat-Konzentrat hergestellt werden:

Zerkleinern

Durch Zerkleinerung wird eine Zerteilung von Festkörpern in Teilstücke und eine Vergrößerung der spezifischen Oberfläche erreicht. Das Zerkleinern des geförderten Ausbruchmaterials bis zu einer geforderten Korngröße erfolgt in Brechern und Mühlen. Häufig verwendete Geräte sind Backenbrecher und Kugelmühle. Durch Brecher können Korngrößen von 1000 mm bis 10 mm erzeugt werden. Durch Mühlen können Korngrößen von 10 mm bis 2 µm erzeugt werden.

Klassieren

Unter Klassierung wird die Herstellung von Teilgemischen aus einer Gesamtmasse in Abhängigkeit der Korngröße verstanden. Ein Teilgemisch beinhaltet mehrere Korngrößenbereiche. Beim Klassieren wird das bereits zerkleinerte Material anhand von Sieben in verschiedene Korngrößen (0 bis 6 mm) unterteilt.

Flotation

Flotation ist ein physikalisch-chemisches Verfahren zur Trennung von feinkörnigen Feststoffen aufgrund der unterschiedlichen Oberflächen-benetzbarkeit der Körner. Das heißt Gasblasen lagern sich leicht an hydrophobe (durch Wasser schwer benetzbare) Oberflächen an und verleihen damit den Körnern Auftrieb, so dass sie schwimmen. Die schwimmenden Körner werden mit einer Räumereinrichtung entfernt. Das verwendete Gas darf sich dabei nicht in Wasser lösen. Flotation ist ein stufenweises Verfahren. Im Falle des Albitgneises erfolgt im ersten Schritt die Abtrennung von Glimmer, im zweiten die Abtrennung von eisenreichen Mineralen (z. B. Biotit, Chlorit, etc.), im dritten die Abtrennung von Quarz.

Magnetscheidung

Ein Magnetscheider ist eine Anlage zum Trennen ferromagnetischer Materialien von nicht ferromagnetischen Materialien. Häufig verwendete Geräte sind der Trommelscheider und der Walzenscheider. Hinsichtlich chemischer Zusammensetzungen von Gesteinen bewirkt die Magnetscheidung eine deutliche Abnahme der Fe₂O₃- und der TiO₂ Gehalte.

Durch die Aufbereitung wird die chemische Zusammensetzung des Feldspats zugunsten einer Weiterverarbeitung in Endprodukt erzeugenden Betrieben verändert. Die chemische Zusammensetzung eines aufbereiteten Feldspat-Konzentrates sowie die chemische Zusammensetzung für die Herstellung von Keramik-waren sind in Tabelle 38 der Zusammensetzung des Rohmaterials gegenübergestellt.

Chemische Zusammensetzung (M-%)	Typische Zusammensetzung von Feldspat (Rohmaterial)	Zusammensetzung von aufbereitetem Feldspat	Erforderliche Zusammensetzung für die Herstellung von Keramikwaren
SiO ₂	66,09	67,50	65-69
TiO ₂	0,12	0,04	0,04-0,50
Al ₂ O ₃	20,58	17,00	17-19
Fe ₂ O ₃	0,30	0,12	0,03-0,30
MnO	0,01	-	0
MgO	0,40	0,04	0,02-0,04
CaO	0,45	0,02	0,02-0,50
Na ₂ O	11,60	0,60	0,5-6,0
K ₂ O	0,15	12,50	4-14
P ₂ O ₅	0,02	-	-
Glühverlust	0,14	1,30	0,2-1,0

Tabelle 38: Gegenüberstellung der chemischen Zusammensetzungen von Feldspat [11]

Eine Verwendung von Tunnelausbruchmaterial durch Aufbereitung ist allerdings nur schwer realisierbar. Das geförderte Ausbruchmaterial aus dem Vortrieb bräuchte riesige Zwischenlagerplätze, da eine Aufbereitung mit dem Tempo des Vortriebs nicht Schritt halten kann. Um die Transportkosten im Allgemeinen nicht weiter in die Höhe zu treiben, müsste die Aufbereitung in Baustellennähe erfolgen, zudem müssen die Kosten der Anlage selbst berücksichtigt werden. Die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) kommentiert diese Verwendungsmöglichkeit so:

„Es kann davon ausgegangen werden dass eine Errichtung einer eigenen Aufbereitungsanlage wirtschaftlich und logistisch nicht sinnvoll erscheint. Aufgrund des zeitlich ungünstigen Anfalls der Schutterung in Bezug auf den Zeitpunkt der Einsatzmöglichkeit als Betonzuschlagstoff müsste ein relativ großes Zwischenlager errichtet werden, was aufgrund der beengten Platzverhältnisse bei der jeweiligen Baustelle nur mit unverhältnismäßigem Aufwand realisierbar wäre. Es erscheint daher – wenn überhaupt - ebenfalls nur eine Verwertung in einer außerhalb des Planungsraumes liegenden Aufbereitungsanlage möglich.“ [42]

4 Diskussion und Ausblick

Gemäß ökologischen Aspekten ist der Ressourcenverbrauch in Zukunft einzuschränken. Tunnelausbruchmaterial stellt eine Möglichkeit dar, dieser Forderung in Zukunft nachzukommen. Durch die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial können Umwelt und natürliche Vorkommen mineralischer Rohstoffe geschont werden. Ausbruchmaterial muss den Anforderungen mineralischer Rohstoffe und dem Rohstoffbedarf im umliegenden Projektgebiet entsprechen, um wirtschaftlich eingesetzt werden zu können. Nach Vergleich der chemischen Analysen des Ausbruchsmaterials mit den chemischen Anforderungen der Endprodukt-erzeugenden Industrie lässt sich bereits in der Planungsphase entscheiden, welche Verwendung für das erwartete Ausbruchmaterial möglicherweise zur Verfügung steht. Um den Nachweis, ob das zu erwartende Ausbruchmaterial einer industriellen Verwendung zugeführt werden kann, zu erleichtern, wurde eine Vorgehensweise an einem bestehenden Infrastrukturprojekt erstellt. Die Vorgehensweise bei der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial kann zu folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Analyse der Lithologien aus der Tunneltrasse
- Evaluierung von Betrieben im Projektraum, welche im Rohstoffsektor tätig sind
- Feststellung der Verwendbarkeit vom Ausbruchmaterial durch Abgleich der chemischen Zusammensetzung der Lithologien mit den industriellen Anforderungen durch die Bewertungsmatrix
- Prüfung von potentiellen Abnehmerbetrieben

Gemäß Vorerkundungsarbeiten werden beim Bau des „Semmering-Basistunnel Neu“ in etwa fünf Millionen m³ Ausbruchmaterial prognostiziert, welche auf die Deponie Longsgraben verführt werden sollen. Eine Aussage über die tatsächliche Verwertbarkeit dieses Materials in rohstoffverarbeitenden Betrieben kann zum aktuellen Zeitpunkt (April 2014) nicht getroffen werden, da dies erst durch Versuche eruiert werden muss. Jener Teil des Tunnelausbruchs der als hochwertiger mineralischer Rohstoff zu sehen ist, sollte zukünftig in Industriebetrieben verwendet werden, wenn die Anforderungen für den jeweiligen industriellen Verwendungszweck erfüllt werden. In dieser Diplomarbeit wurde intensiv Forschung in Richtung der Verwendung von Tunnelausbruchmaterial im Projektraum Semmering betrieben.

Nach Auswertung der geochemischen Analysen der beschriebenen Lithologien ergeben sich einige Verwendungsmöglichkeiten in der Endprodukt-erzeugenden Industrie. Der Semmering-Quarzit kann als Zuschlagstoff für die Betonproduktion und als Flussmittel verwendet werden. Der Kalkmarmor entspricht den chemischen Anforderungen für die Herstellung von Mineralfasern, Gesteinsmehl, Füllstoff für die Plastikproduktion und als Zuschlagstoff für die Asphalt-Produktion. Durch eine Aufbereitung der Gesteine gäbe es zwar eine größere Anzahl an Verwendungsmöglichkeiten, ist aber aus logistischen und wirtschaftlich Gründen nicht rentabel.

An dieser Stelle sei auf die vorgestellte Bewertungsmatrix hingewiesen, mit der die Verwendungszwecke von chemisch analysierten Gesteinen sehr rasch eruiert werden können. Entsprechend den Auswertungen könnten die untersuchten Gesteinsarten den beschriebenen Industriebetrieben im Projektraum Semmering zugeführt werden. Dies betrifft vor allem Betriebe der Beton-, Asphalt- und Kunststoffproduktion welche in übersichtlichen Karten im Anhang dargestellt sind.

Kapitel 3.3 zeigt dass ein Gebiet wie der Projektraum Semmering ein geeigneter Industriestandort für die Verwertung von Tunnelausbruchmaterial ist. Die Auswertungen

sind als Schätzungen zu verstehen und geben keine Auskunft über eine tatsächliche Verwertung in den beschriebenen Industriebetrieben.

Als nächster Schritt wäre eine Vertiefung durch eine weitere wissenschaftliche Arbeit mit der Verwendung der Ergebnisse dieser Diplomarbeit sinnvoll. Um eine endgültige Entscheidung über die Verwendung von Tunnelausbruch treffen zu können, ist eine Kontaktaufnahme mit den Industriebetrieben unerlässlich.

Die erstellte Bewertungsmatrix sollte bei zukünftigen Tunnelprojekten schon in der Planungsphase zum Einsatz kommen. Eine online-Version dieser wäre von großem Vorteil.

5 Literaturnachweis

- [1] Ebner, F.: Regionale Geologie, Vorlesungsskriptum MU Leoben, Eigenverlag, 2007
- [2] Neubauer, F., Höck, V.: Aspects of Geology in Austria, Österreichische Geologische Gesellschaft, Wien 2000
- [3] Tollmann, A.: Geologie von Österreich, Band 2, Außerzentralalpiner Anteil, Franz Deuticke Verlag, Wien 1985
- [4] Tollmann, A.: Geologie von Österreich, Band 1, Die Zentralalpen, Franz Deuticke Verlag, Wien 1985
- [5] Schmid et al.: Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen, Birkhäuser Verlag, Basel 2004
- [6] Mali, H.: Rohstoffe und Umwelt, Vorlesungsskriptum MU Leoben, Eigenverlag, 2012
- [7] Bloodworth, A. J., Bate, R., Highley, D. E., Child, R. A.: Industrial Minerals, Issues for planning,
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/planning/mineralPlanningFactsheets.html>,
abgerufen am 27.08.2013
- [8] Lorenz, W., Gwosdz, W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 2: Karbonat- und Sulfatgesteine, Geologisches Jahrbuch, Hannover 1998
- [9] Lorenz, W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 9: Magnesiumoxidreiche Rohstoffe, Geologisches Jahrbuch, Hannover 2005
- [10] Lorenz W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 3: Quarzrohstoffe, Geologisches Jahrbuch, Hannover 1999
- [11] Lorenz W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 7: Feldspäte und andere Flussmittel, Geologisches Jahrbuch, Hannover 2003
- [12] Lorenz W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 11: Glimmer, Geologisches Jahrbuch, Hannover 2006
- [13] Lorenz W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 1: Tone, Geologisches Jahrbuch, Hannover 1997
- [14] Lorenz W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 4: Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge, Geologisches Jahrbuch, Hannover 2000
- [15] Lorenz W., Gwosdz W.: Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 8: Aluminiumoxidreiche Rohstoffe, Geologisches Jahrbuch, Hannover 2005
- [16] Deponieverordnung 2008 – Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Fassung vom 09.11.2011
- [17] Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 (BAWP) – Wien: Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2011
- [18] Neubauer, F., Handler, R., Hermann, S., Paulus, G.: Revised Lithostratigraphy and Structure of the Eastern Graywacke Zone (Eastern Alps), Mitt. Österr. Ges. 86, 1994
- [19] Schuster, K. et al.: Lithologien, Metamorphosegeschichte und tektonischer Bau der kristallinen Einheiten am Alpenostrand, Geologische Bundesanstalt, Arbeitstagung 2001 – Neuberg an der Mürz, Wien 2001

- [20] Faupl, P.: Zur Geologie des NW-Abschnittes des Wechselgebietes zwischen Trattenbach (NÖ) und Fröschnitz (Stmk), Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud 19: 27-70, 1970
- [21] Längenschnitt, Semmering Basistunnel Neu, 5510-EB-5000AL-05-0201-F03, ÖBB Infrastruktur, 2010
- [22] Geologischer Baubericht, Semmering Basistunnel Neu, 5510-EB-5000AL-00-0001-F02, ÖBB Infrastruktur, 2010
- [23] Resch, D.: Verwendung von Tunnelausbruchmaterial – Entscheidungsgrundlagen, Dissertation Montanuniversität Leoben, 2012
- [24] Laborversuche, Semmering Basistunnel Neu, 5510-EB-5000AL-00-0003-F01, ÖBB Infrastruktur, 2010
- [25] Baurohstoffe in Österreich, Geological Map of Austria, www.geologie.ac.at, 2013
- [26] Hackenberg, M.: Bergbau im Semmeringgebiet, Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, Band 24, Wien 2003
- [27] Map Detail Semmering, www.austrianmap.at, 2013
- [28] Metallogenetische Karte der Republik Österreich unter Einbeziehung der Industrieminerale und Energierohstoffe 1:500.000, Leopold Weber et. al. 1997, www.geologie.ac.at, 2013
- [29] Weber, L.: Montanhandbuch 2012, 86. Jahrgang, Bundesministerium für Wirtschaft, Jugend und Familie, Wien 2012
- [30] Flügel, H. W., Neubauer, F.: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark, Geologische Bundesanstalt, Wien 1984
- [31] Pohl, W.: Lagerstättenlehre, 4. Auflage, E. Schweizerbart Verlag, Stuttgart 1992
- [32] Herold: Branchenverzeichnis, Gelbe Seiten, CD-Rom, 2013
- [33] Kündig, R.: Rohstoffe der Erde, <http://www.sgk.ch/rkuendig/dokumente>, abgerufen am 03.03.2014
- [34] TU Dresden, Institut für Geotechnik, Vorlesungsmaterial Umweltgeologie http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_bauingenieurwesen/geotechnik/geologie/studium/vorlesungen/geologie/dateien/umwgeol/Umweltgeologie_Abschnitt_003.pdf
- [35] Pfänder, J. A.: Grundlagen der Geowissenschaften, Vorlesungsskriptum TU Freiberg, Eigenverlag 2013
- [36] Okrusch, M., Matthes S.: Mineralogie, Springer Verlag, Berlin 2014
- [37] Abfallwirtschaftsgesetz AWG (2002), <http://www.ris.bka.gv.at>, abgerufen am 17.03.2014
- [38] Erben, H., Galler R.: Ressourceneffizienz im Tunnelbau – On-Site Analysemöglichkeiten für die Weiterverwertung von Tunnelausbruchmaterial, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Springer Verlag, Wien 2013
- [39] Mohr, H.: Geologie der Wechselbahn, Sitzung der Technischen Hochschule Graz 1913
- [40] Moshhammer, B., Lobitzer, H.: Weißmetrik und Geochemie ausgewählter österreichischer Kalkstein- und Marmor-Vorkommen, Mitt. Österr. Geol. Ges., Wien 2000
- [41] Bau-, Ausrüstungs- und Materialbewirtschaftungskonzept, Semmering Basistunnel Neu, 5510-EB-1001AL-00-0001-F01, ÖBB Infrastruktur, 2010

- [42] Deponie Longsgraben, Semmering Basistunnel Neu, 5510-EB-3001AL-00-0001-F02, ÖBB Infrastruktur, 2010
- [43] Semmering Base Tunnel, <http://www.oebb.at>, 2014
- [44] Mineralienatlas, <http://www.mineralienatlas.de>, 2014
- [45] Bakker, R., Raith, J., Thalhamm, O.: Einführung in die Mineralogie und Petrologie, Vorlesungsskriptum MU Leoben, Eigenverlag, 2014
- [46] Wikipedia, <http://de.wikipedia.org>, 2014
- [47] Quarzit Sandwerke Feichtinger, <http://www.quarzit.at>, 2014
- [48] Semmering Basistunnel-Planungsvarianten, <http://diepresse.com>, 2014
- [49] Rudolph, M.: Aufbereitung von Erzen, Bergakademie Freiberg, Eigenverlag, 2014
- [50] Prinz, H., Strauß, R.: Abriss der Ingenieurgeologie, Spektrum Verlag, München, 2004

6 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: NORD-SÜDPROFIL DURCH DIE OSTALPEN [1].....	5
ABBILDUNG 2: BAUROHSTOFFE IN ÖSTERREICH [25].....	6
ABBILDUNG 3: BRUCHARTEN [46].....	8
ABBILDUNG 4: GLANZARTEN VON MINERALEN [46].....	9
ABBILDUNG 5: WACHSTUMSFORMEN VON KRISTALLEN [45].....	10
ABBILDUNG 6: ROHSTOFFE UND INDUSTRIESEKTOREN [7].....	12
ABBILDUNG 7: MÖGLICHES ABLAUFSHEMA FÜR DIE VERWENDUNG VON TUNNELAUSBRUCHSMATERIAL.....	16
ABBILDUNG 8: ÜBERSICHT DER BAUABSCHNITTE [41].....	42
ABBILDUNG 9: GEPLANTES VORTRIEBSKONZEPT [41].....	43
ABBILDUNG 10: MINIMALE UND MAXIMALE AUSBRUCHSMENGEN PRO TUNNELBAUSTELLE [42].....	44
ABBILDUNG 11: ABLAUFDIAGRAMM: VOM AUSBRUCHSMATERIAL ZUM MINERALISCHEN ROHSTOFF.....	45
ABBILDUNG 12: VARIANTEN DER TRASSENFÜHRUNG [48].....	50
ABBILDUNG 13: NAVIGATIONSLEISTE [23].....	60
ABBILDUNG 14: EINGABEBLATT „TECHNISCHE PARAMETER“ [23].....	60
ABBILDUNG 15: AUSZUG AUS DEM EINGABEBLATT „CHEMISCHE PARAMETER“ [23].....	61
ABBILDUNG 16: EINGABEBLATT „MINERALOGISCHE PARAMETER“ [23].....	62
ABBILDUNG 17: EINGABEBLATT „SIEBLINIE“ [23].....	62
ABBILDUNG 18: AUSSCHNITT AUS DEM ERGEBNISBLATT BAWP/DEPVO [23].....	63
ABBILDUNG 19: AUSSCHNITT AUS DEM ERGEBNISBLATT BAWP/DEPVO [23].....	63
ABBILDUNG 20: AUSSCHNITT AUS DEM ERGEBNISBLATT BAWP/DEPVO [23].....	64
ABBILDUNG 21: ERGEBNISBLATT DER „ANFORDERUNGEN AN INDUSTRIELLE ROHSTOFFE“ .	64
ABBILDUNG 22: GEGENÜBERSTELLUNG DER MESSWERTE DEN GRENZWERTEN.....	65
ABBILDUNG 23: INDUSTRIESEKTOREN UND DIE ANZAHL DER JEWEILS ERZEUGBAREN PRODUKTE.....	65
ABBILDUNG 24: EINGABE DER CHEMISCHEN MESSWERTE IM FELD CHEMISCHE PARAMETER	66
ABBILDUNG 25: VERWENDUNGSMÖGLICHKEIT FÜR DEN ANALYSIERTEN KALKSTEIN.....	66

7 Tabellenverzeichnis

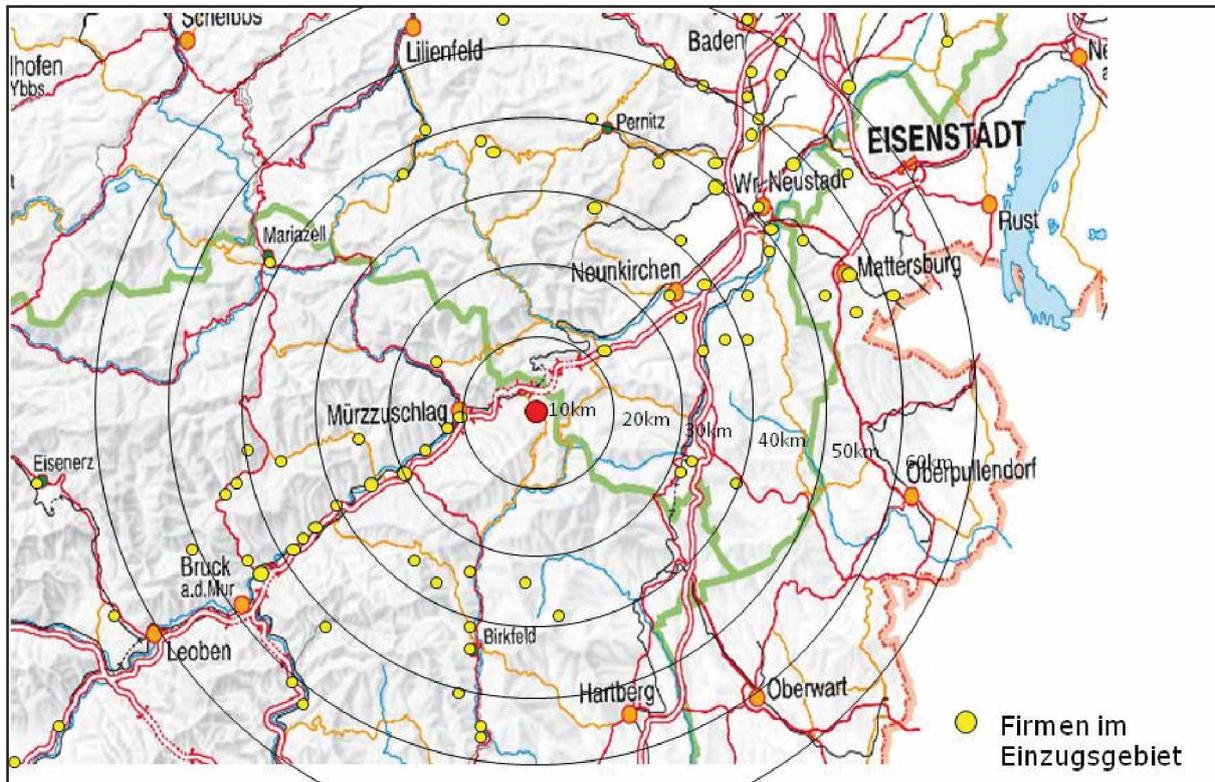
TABELLE 1: MOHS'SCHE HÄRTESKALA [36]	7
TABELLE 2: MINERALE UND DEREN DICHTEN [36]	9
TABELLE 3: MINERALKLASSIFIKATION NACH STRUNZ [36]	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
TABELLE 4: ANFORDERUNGEN AN QUARZIT FÜR AUFBEREITUNG UND WEITERVERARBEITUNG.....	16
TABELLE 5: ANFORDERUNGEN AN KALKSTEIN FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	18
TABELLE 6: ANFORDERUNGEN AN KALKSTEIN FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	19
TABELLE 7: ANFORDERUNGEN AN KALKSTEIN FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	20
TABELLE 8: ANFORDERUNGEN AN KALKSTEIN FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	21
TABELLE 9: ANFORDERUNGEN AN DOLOMIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	22
TABELLE 10: ANFORDERUNGEN AN DOLOMIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	22
TABELLE 11: ANFORDERUNGEN AN DOLOMIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	23
TABELLE 12: ANFORDERUNGEN AN MAGNESIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8].....	23
TABELLE 13: ANFORDERUNGEN AN MAGNESIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8].....	24
TABELLE 14: ANFORDERUNGEN AN MAGNESIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8].....	24
TABELLE 15: ANFORDERUNGEN AN TALK FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [9]	25
TABELLE 16: ANFORDERUNGEN AN GIPS/ANHYDRIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8].....	26
TABELLE 17: ANFORDERUNGEN AN BARYT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [8]	27
TABELLE 18: ANFORDERUNGEN AN QUARZROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [10]	28
TABELLE 19: ANFORDERUNGEN AN QUARZROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [10]	29
TABELLE 20: ANFORDERUNGEN AN QUARZROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [10]	30
TABELLE 21: ANFORDERUNGEN AN QUARZROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [10]	31
TABELLE 22: ANFORDERUNGEN AN QUARZROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [10]	32
TABELLE 23: ANFORDERUNGEN AN FELDSPAT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [11]	33
TABELLE 24: ANFORDERUNGEN AN GLIMMERROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [12]	34

TABELLE 25: ANFORDERUNGEN AN KAOLINITISCHE TONE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [13]	35
TABELLE 26: ANFORDERUNGEN AN OLIVIN FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [9]	36
TABELLE 27: ANFORDERUNGEN AN VULKANISCHE ROHSTOFFE FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [14]	37
TABELLE 28: ANFORDERUNGEN AN NEPHELIN-SYENIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [10]	38
TABELLE 29: ANFORDERUNGEN AN FLUORIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [11]	39
TABELLE 30: ANFORDERUNGEN AN BAUXIT FÜR WICHTIGE VERWENDUNGSZWECKE NACH [15]	40
TABELLE 31: BETRIEBE IM PROJEKTRAUM SEMMERING	59
TABELLE 32: PROGNOSE DER ERWARTBAREN LITHOLOGIEN (MODIFIZIERT NACH [21], [22])	68
TABELLE 33: GEGENÜBERSTELLUNG DES SEMMERING-QUARZITS ZU DESSEN VERWENDUNGSZWECKEN [47]	69
TABELLE 34: MINERALOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG VON QUARZIT [24]	70
TABELLE 35: GEGENÜBERSTELLUNG VON KALKMARMOR ZU DESSEN VERWENDUNGSZWECKEN [40]	70
TABELLE 36: MINERALOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG VON KALKMARMOR [24]	71
TABELLE 37: MINERALOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG VON ALBITGNEIS [24].....	71
TABELLE 38: GEGENÜBERSTELLUNG DER CHEMISCHEN ZUSAMMENSETZUNGEN VON FELDSPAT [11]	72

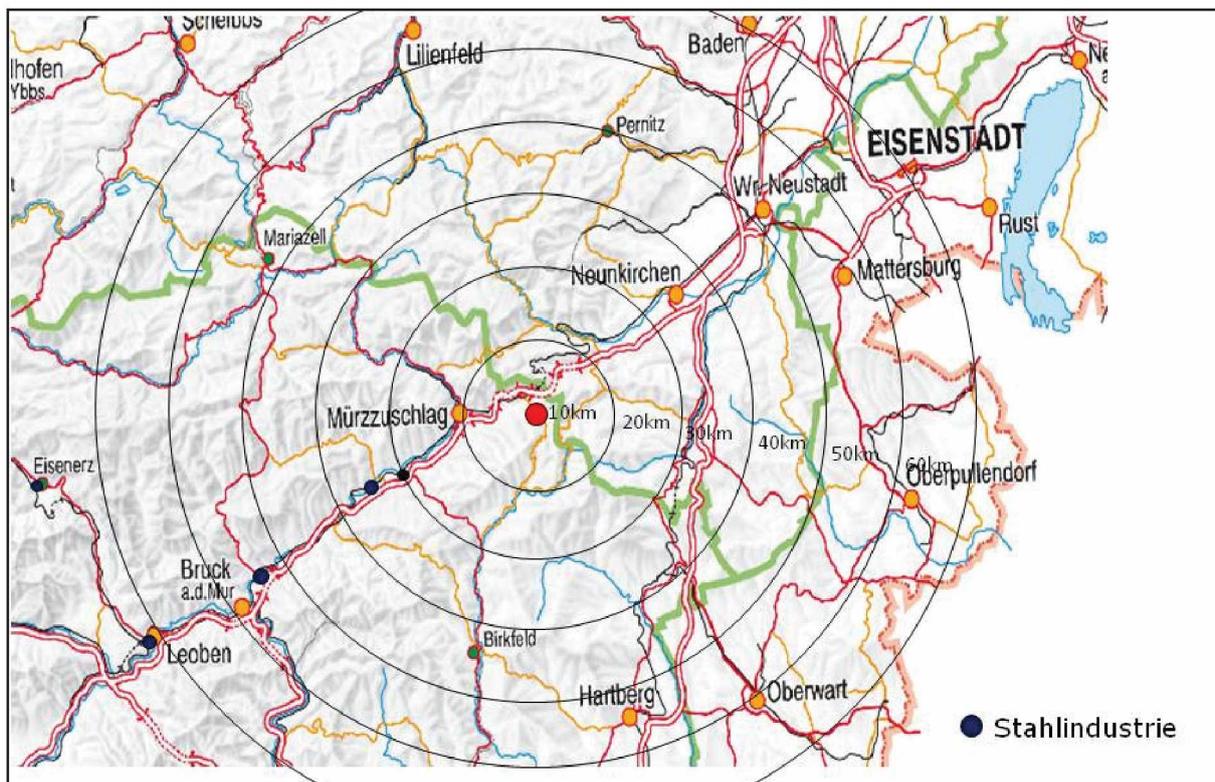
8 Anhang

8.1 Darstellung des Firmeneinzugsgebiets im Projektgebiet Semmering anhand von geografischen Karten

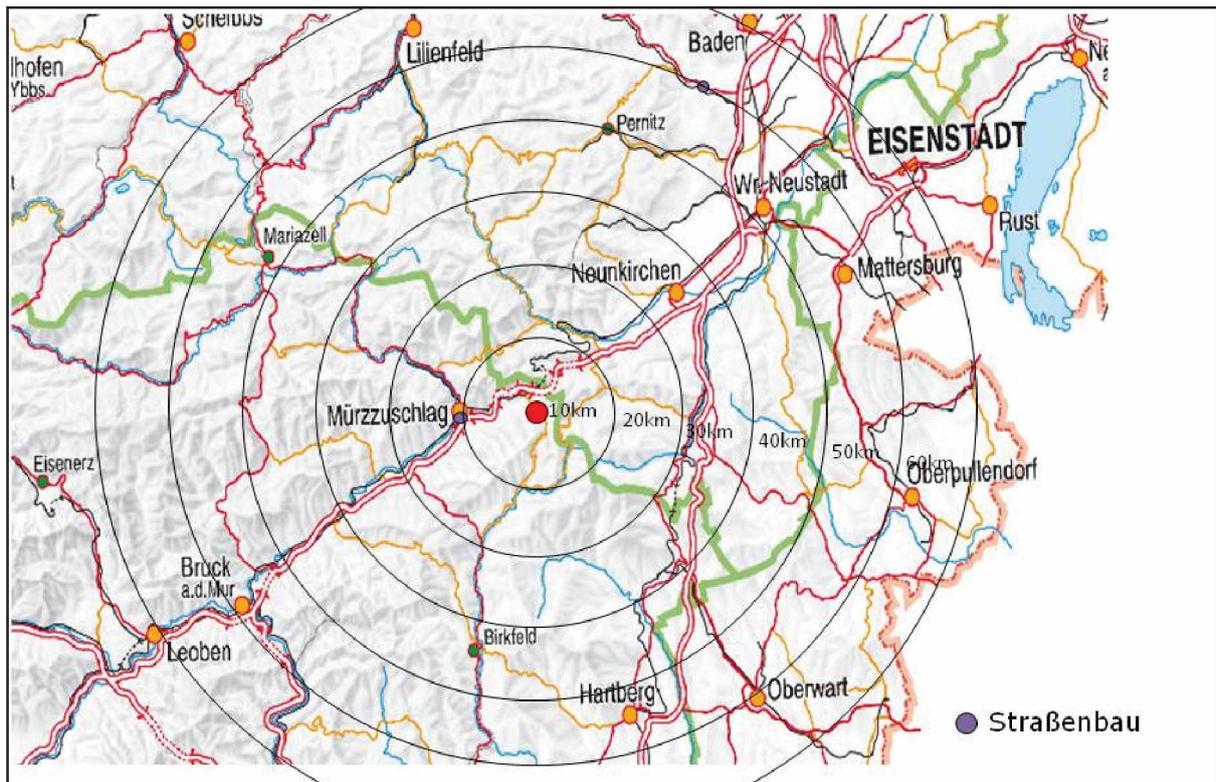
8.1.1 Gesamtes Firmeneinzugsgebiet



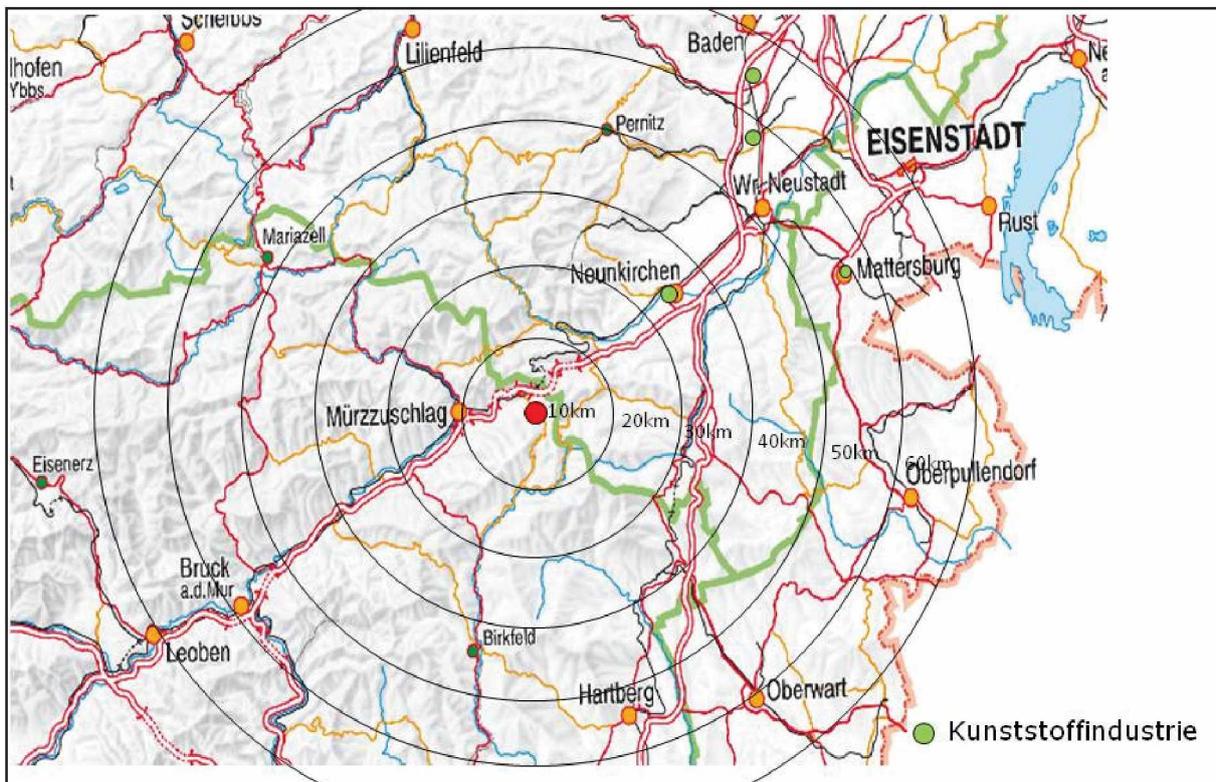
8.1.2 Betriebe der Stahlindustrie



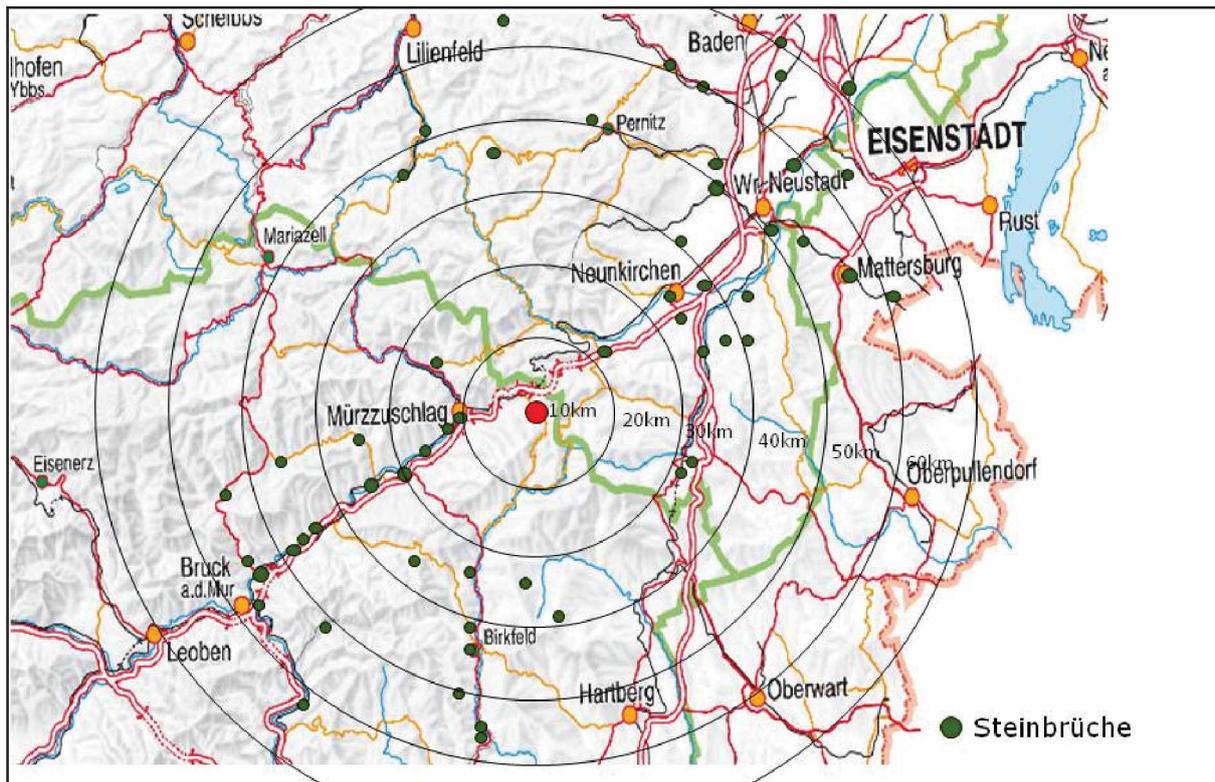
8.1.3 Betriebe des Straßenbaus



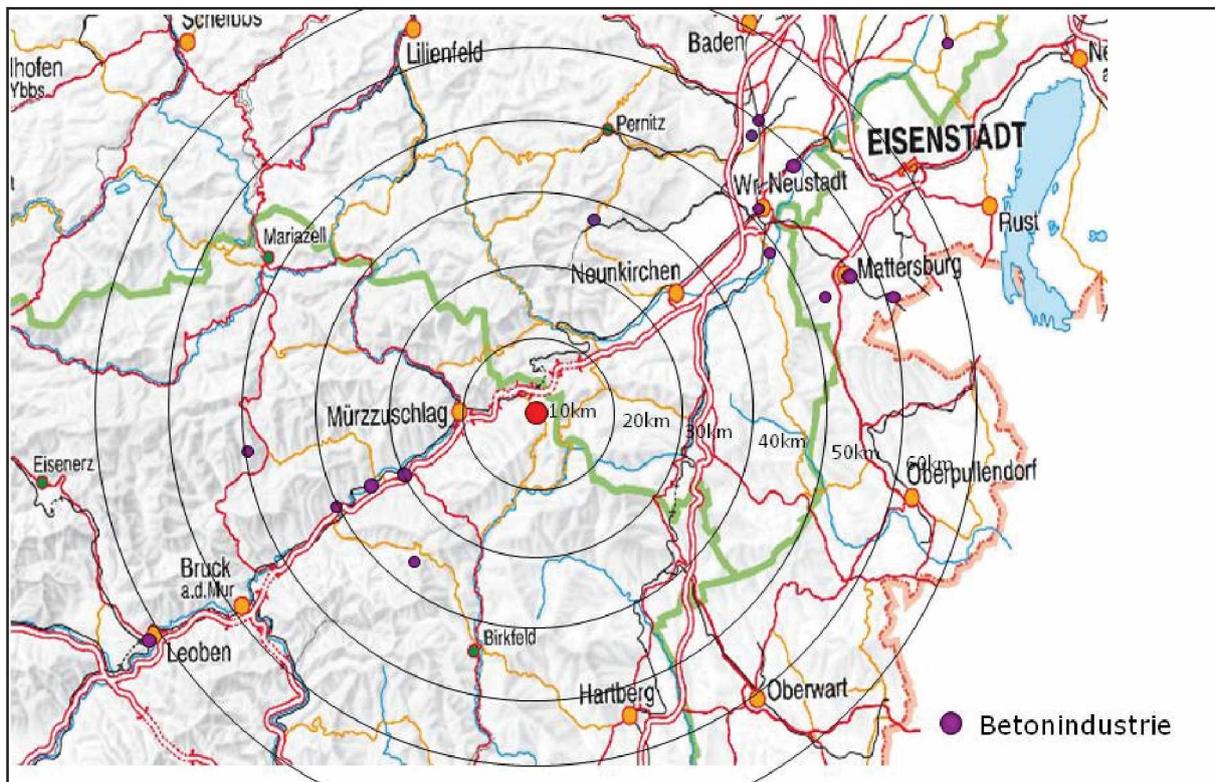
8.1.4 Betriebe der Kunststoffindustrie



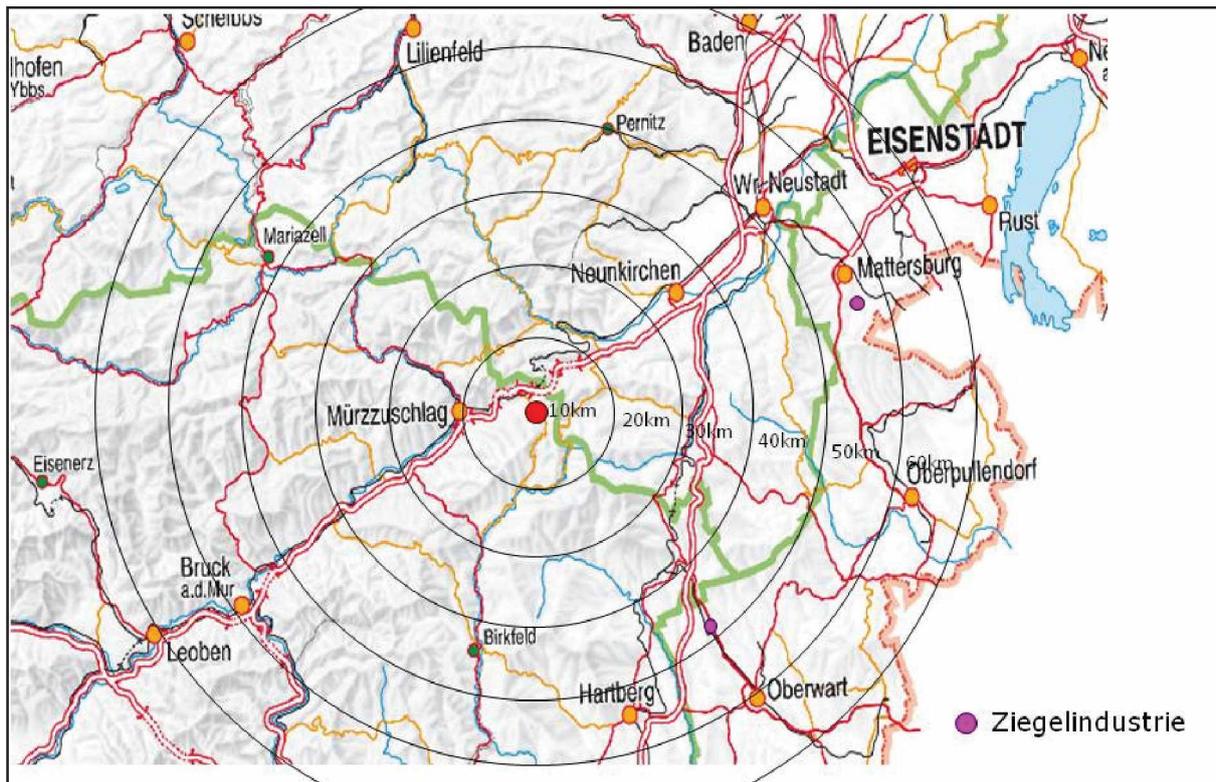
8.1.5 Betriebe des Steinbruchgewerbes



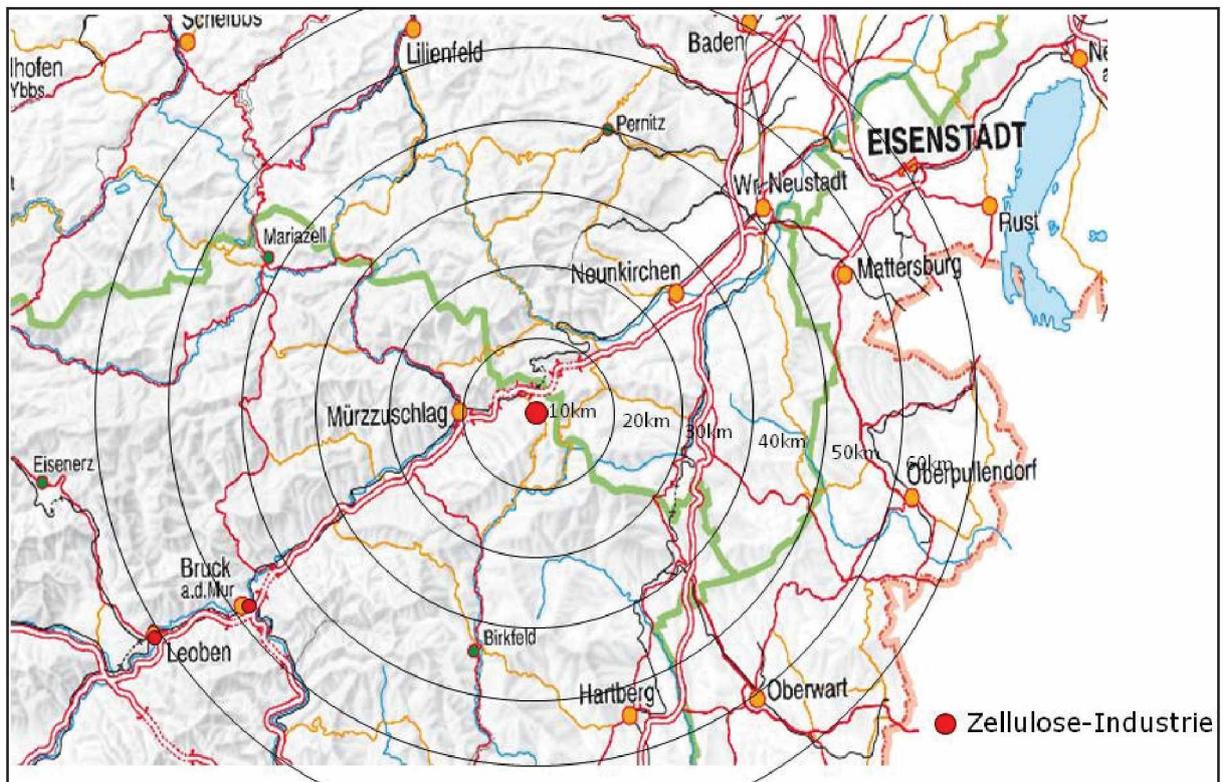
8.1.6 Betriebe der Betonindustrie



8.1.7 Betriebe der Ziegelindustrie



8.1.8 Betriebe der Zellulose-Industrie



8.1.9 Details zu den Betrieben im Projektgebiet Semmering

Nr.	Distanz [km]	Firmenname	Branche	Straße	PLZ	Ort	Telefon
1	15	Teerag-Asdag AG	Bauunternehmen	Grazer Straße 62c	8680	Mürzzuschlag	03852/2135-0
2	15	Rothwangl Johann	Quarzitbergbau	Lambach 35	8680	Mürzzuschlag	03854/6155-16
3	19	Cemex Austria AG	Kies und Sand	Lagerstraße 1-5	2103	Langenzersdorf	03857/2131
4	23	Dolomitbergbau Pretul	Dolomitbergbau	Wiener Straße 2	8665	Langenwang	02662/42271
5	24	Walter Ulm	Quarz u Quarzsand	Waldbach 2	8691	Kapellen	02662/42414
6	25	Feichtinger GmbH	Quarz u Quarzsand	Hauptstraße 25	2640	Gloggnitz	03855/2371-0
7	27	Kies-Union GmbH	Kieswerke	Schwöbing 26	8670	Krieglach	05/0543-28640
8	27	Lieferbeton GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	Schwöbing 26	8670	Krieglach	
9	27	CEMEX Austria AG	Kieswerke	Schwöbing 26	8670	Krieglach	03858/6161-0
10	32	Zangl Engelbert GmbH	Quarzitbergbau	Schrözlstraße 15	8662	Mitterdorf	03865/5116-0
11	32	Kohlbacher GmbH	Kies und Sand	Schwöbing 81-83	8665	Langenwang	02635/62086
12	36	Cemex Austria AG	Magnesitbergbau Veitsch	Lagerstraße 1-5	2103	Langenzersdorf	02635/63289
13	37	Friedrich Fuchs	Quarzitbergbau	Weingartengasse 2	2620	Wartmannstetten	03864/2235-46
14	37	Feichtinger GmbH	Quarz u Quarzsand	Nummer 460/1	2831	Haßbach	03170/630-0
15	37	Schaberreiter GmbH	Beton- u Betonsteinwerke	Alpinestraße 41a	8650	Kindberg	05/0543-1148
16	38	Haselbacher GmbH	Sand u Schotter	Dorfstraße 56	2620	Neunkirchen	03862/22384-0
17	42	Cemex Austria AG	Granit-Gneisbergbau	Lagerstraße 1-5	2103	Langenzersdorf	03862/20-0
18	42	Bauunternehmung Granit GmbH	Kies und Sand	Feldgasse 14	8020	Graz	03862/22384
19	44	Pichler Michael GesmbH	Schottergrube	Betriebsgebiet Obj. 2	2624	Breitenau a. Steinfeld	02622/7896
20	44	Deiningner GmbH	Quarzbergbau & Aufbereitung	Parkstraße 2	8641	St. Marein	02642/52355-0
21	44	Auerböck GmbH & Co KG	Kies und Sand	Schulgasse 13	2870	Aspang	02639/2293
22	44	Pehofer Peter GmbH	Kies und Sand	Bahnstr. Betriebsobjekt 4	2624	Breitenau	05/0543-33030
23	45	CEMEX Umweltservice GmbH	Steinbrüche	Bundesstraße 3	8642	St. Lorenzen im Mürztal	02622/43444
24	46	Ziegelwerk Lizzi GmbH	Tonabbau	Brombergerstraße 3	2822	Bad Erlach	02627/42481
25	46	Holzgethan Franz GmbH	Quarzit	Am Steinbruch 6	2831	Warth	03863/2276-0
26	46	Pusiol GmbH	Kies und Sand	Wiener Straße 125	2640	Gloggnitz	02622/42183

27	47	Besta Josef und Hermine	Taonabbau	Walpersbach 160	2822	Erlach	02622/42556
28	47	Huber Johann GbmH	Illitbergbau	Bundesstraße 3	8642	St. Lorenzen	03863/2609
29	48	Friesenbichler Karl GmbH & Co KG	Quarzitsteinbruch	Nummer 57	8673	Völlegg	03174/4670
30	49	Hafenscherr Johann	Quarzitbergbau	Eichberg 90	2832	Scheibling-Thernberg	05/0213-0
31	52	CEMEX Austria AG	Zementwerke	Straße der Gendarmerie	2700	Wiener Neustadt	02625/37037
32	52	Gbr.Trippl Transporte GmbH	Kalksteinbergbau	Winklerstraße 54a	8605	Kapfenberg	02628/65097
33	52	Readymix Tripll Steinbruch GmbH	Steinbrüche	Winklerstraße 54+74	8605	Kapfenberg	02647/42266
34	52	Hendling Martin GmbH	Quarzit Bromberg	Hauptstraße 8	2833	Bromberg	02767/8001
35	53	Schwarzl GmbH	Marmorbergbau	Thalerhofstraße 86	8141	Unterpremstätten	03882/4302
36	54	Füllenhs Michael/Doris	Transportunternehmen	Eichbüchler Straße 143	2801	Katzelsdorf	02667/8285
37	54	Aspanger GmbH & Co KG	Rohstoffe	Nummer 25	2870	Neustift am Hartberg	03867/8088
38	54	Paltentaler GmbH	Kies und Sand	Werksgasse 281	8786	Rottenmann	02626/62911-0
39	56	Leeb Rudolf GmbH	Transportunternehmen	Windbachgasse 13	2721	Bad Fischau-Brunn	02626/67808-0
40	56	Kies- Union GmbH	Sand u Schotter	Brunner Hauptstraße	2721	Bad Fischau-Brunn	03867/8115
41	56	Reiterer B.C.T. GmbH	Kieswerke	Industriegelände	2721	Bad Fischau-Brunn	03175/2328
42	57	Katzenberger GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	Rosentaler Straße 273	2821	Frohsdorf	03842/81590-0
43	57	Wurzenberger Johann	Lockergestein	Thullin 16	8625	Turnau	03842/21277-0
44	57	Aspanger GmbH & Co KG	Leukophyllitbergbau	Neustift am Hartberg 25	2870	Aspach	03842/24315-0
45	57	Umwelttechnik und Service GmbH	Kalksteinbergbau	Einödstraße 37	8600	Bruck a. d. Mur	050/30425-0
46	57	Maderbacher GmbH	Quarzit	Sommersgut 19	8254	Wenigzell	02768/6104-0
47	58	Lafarge Perlmooser GmbH	Kieswerke	Triftweg 5	2752	Wöllersdorf	03175/2201
48	58	Papst Markus Dipl-Ing GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	Thullin	8624	Aflenz Land	03869/5100-0
49	59	Rudolf Mosbacher	Quarzitsteinbruch	Nummer 76	8190	Waisenegg	02255/7661
50	59	Veitsch-Radex GmbH & Co OG	Magnesit	Magnesitstraße 30	8614	Sankt Jakob-Breitenau	02623/72582
51	59	Steuer GmbH	Transportunternehmen	Beethovengasse 23	7202	Bad Sauerbrunn	02253/81470
52	59	Tanzer Manfred	Quarzitsteinbruch	Oberer Markt 10	8190	Birkfeld	02252/41920
53	62	Reiterer GmbH	Kies und Sand	Brunner Straße 2758/2	2700	Wiener Neustadt	03842/21192-0
54	62	Gruber Leopold	Kies und Sand	Hauptstraße 51	2603	Felixdorf	02672/82362-0
55	62	Strabag AG	Kies und Sand	Ortenburgerstraße 27	9800	Spittal a. d. Drau	02686/7207-0
56	63	Buchegger GmbH	Sand u Schotter	Sportgasse 8	2851	Krumbach	02686/7207
57	64	Bau Beton GmbH	Kies und Sand	Kleeblattgasse 43	2601	Sollenau	02632/74274

58	65	Praschl GmbH	Kalk/Dolomitbergbau	Nummer 4	3192	Andersbach	02168/62311-0
59	66	Auer Waltraud	Kies und Sand	Zahornatzkygasse 12	2491	Neufeld/Leitha	02752/50040
60	67	Wopfinger GmbH	Tonbergbau	Wopfing 156	2754	Waldegg	02642/52355
61	67	Quantum Forstgut Affenz GmbH	Kies und Sand	Johann-Strauß-Gasse 32/8	1040	Wien	0316/693650
62	68	Karin Gruber	Steinbrüche	Nummer 36	2663	Rohr im Gebirge	050543-901232
63	68	Styromagnesit GmbH	Magnesitbergbau	Oberdorf 41	8611	St. Katharein a. d. Laming	03869/5100
64	69	Betonwerk KOCH GesmbH.	Quarzsandabbau	Marzer Straße 5	7210	Mattersburg	050/626-3392
65	69	Rieser GmbH	Rohstoffe	Johann-Nepo-Berger-Straße 2/2	7210	Mattersburg	03862/22384
66	69	Ziegelwerk J. Polsterer GmbH	Tonbergbau	Ziegelofengasse 12	2544	Leobersdorf	0664/2338951
67	69	Stelzer; Steinbruch	Kalksteinbruch	Roslegg 9	8191	Koglhof	02627/48221
68	69	Kirchengast Schotterwerke GmbH	Gneis	Untertiefenbach 56	8224	Kaindorf	02256/62198
69	69	Lindabrunner und Ternitze GmbH	Konglomerat, Brekzie	Wartholzstr. 12	2651	Reichenau an der Rax	02633/400-0
70	70	Tieber GesmbH	Sand u Schotter	Nummer 46	8131	Röthelstein	03864/2235
71	70	Stefan Mosbacher	Dolomitbergbau	Mitterbachamt 53	3193	St. Aegy d. Neuwalde	02672/87921
72	71	Horst Krenn	Steinbrüche	Nummer 20	8184	Fresen	03174/4629
73	71	Luiki Betonwerke GesmbH	Beton- u Betonsteinwerke	Etschmayerstraße 5	8700	Leoben	03862/53400-0
74	71	August Scardelli	Beton- u Betonsteinwerke	Donawitz Zellenfeldgasse 11	8700	Leoben	02763/2613
75	71	w & p Zement GmbH	Zementwerke	Einödmayergasse 2	8700	Leoben	02667/8285