

Masterarbeit

zum Erwerb des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.)

der Studienrichtung Rohstoffingenieurwesen

Masterstudium Rohstoffgewinnung und Tunnelbau

Schwerpunktfach Geotechnik und Tunnelbau

eingereicht von

Oliver de Jager - Janisch BSc

ausgeführt am

Lehrstuhl für Subsurface Engineering

an der Montanuniversität Leoben

Leoben, im Januar 2014

Ermittlung der chemischen und
mineralogischen Anforderungen der
Mineralrohstoffindustrie an
mineralische Lagerstätten

Verwendungspotentiale von Tunnelausbruch am
österreichischen Abschnitt des Brenner
Basistunnels

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient 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, im Januar 2014

Unterschrift

Danksagung

Großer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler, unter dessen Leitung diese Diplomarbeit verfasst wurde. Seine Lehrveranstaltungen waren für mein Studium überaus entscheidend und stellen für meine berufliche Zukunft eine solide Basis dar.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Anton Rieder, der mir die Verfassung dieser Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit der BBT SE ermöglicht hat, sowie seinen Kollegen Dipl.-Ing. Josef Steck, Dr. Andreas Töchterle und Dr. Klaus Voit.

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

Meiner Ehefrau Ariane möchte ich ganz besonders danken. Sie war mir in den Jahren meines Studiums eine große Stütze und ist mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden.

Ein herzliches Dankeschön gebührt auch meinen Eltern, Schwiegereltern, Großeltern und Geschwistern, welche mich auf unterschiedlichste Weise über Jahre hinweg unterstützt haben.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Studienkollegen für die kollegiale Zusammenarbeit in diversen Projekten bedanken.

Kurzfassung

Der Brenner Basistunnel stellt eines der größten österreichischen Tunnelbauprojekte der kommenden Jahre dar. Der Tunnel liegt auf einer Länge von ca. 32 km auf österreichischem Bundesgebiet und durchörtert komplexe geologische Zonen. Diese geologischen Rahmenbedingungen führen dazu, dass nur ein geringer Anteil des mehr als 9 Mio. m³ umfassenden Tunnelausbruchmaterials als Zuschlag für Beton oder als Schüttmaterial verwendet werden kann. Für das restliche Material ist eine Deponierung angedacht.

Um das enorme Rohstoffpotential dieses Projektes ausschöpfen zu können, werden in dieser Diplomarbeit höherwertige Verwertungsmöglichkeiten für die drei Hauptlithologien aufgezeigt. Im Detail werden die chemischen und mineralogischen Zusammensetzungen der untersuchten Gesteine mit Rohstoffanforderungen aus der Bergbau- und Aufbereitungsindustrie verglichen. Bei entsprechender Übereinstimmung werden mögliche industrielle Einsatzgebiete angegeben. Als Zielsetzung wird die Verwertung des Tunnelausbruchs in Tiroler Industriebetrieben definiert.

Auf die rechtlichen Rahmenbedingungen wird in dieser Diplomarbeit ebenfalls eingegangen. Da Tunnelausbruch nach österreichischem Recht aktuell dem Abfallbegriff zuzuordnen ist, werden im Zuge der Forschungstätigkeiten die rechtlichen Vorgaben außer Acht gelassen.

Abstract

The realization of the Brenner Base Tunnel is one of Austria's largest tunnelling projects in the next years. 32 km of the tunnel's length will be located on Austrian federal territory. Based on the complex geological conditions only a small amount of the excavation material is usable for concrete additives or filling material. Current plans foresee the dumping of the residual excavation material.

To show the project's enormous potential in terms of efficient raw material use, the three main rock types found at Brenner are analysed and effective recycling possibilities are presented. In detail the chemical and mineralogical composition of the analysed rock types are compared with the raw material industry's requirements. If accordance occurs, the feasible industrial applications are declared. The goal is to recycle the tunnel excavation material in Tyrolean industrial plants.

The legal conditions are also mentioned in this master thesis. According to the Austrian law tunnel excavation material is considered as waste. In the course of the research activities within this thesis the legal conditions are not taken into account.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Allgemeines	1
1.1.1	Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial	1
1.1.2	Der Brenner Basistunnel als TEN-Herzstück.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	Großprojekt Brenner Basistunnel	4
2.1	Daten und Fakten	4
2.1.1	Tunnelsystem	4
2.1.2	Geplante Baudurchführung	5
2.1.3	Deponierung.....	6
2.2	Rahmenbedingungen	7
2.2.1	Geologie	7
2.2.2	Hauptgesteinsarten	9
2.2.3	Gesteinscharakterisierung	10
3	Verwertung von Tunnelausbruch	12
3.1	Allgemeines	12
3.2	Rechtsgrundlagen.....	13
3.2.1	Aktuelle Situation in Österreich.....	13
3.2.2	Vorbild Schweiz.....	15
3.3	Verwertungsmöglichkeiten von Tunnelausbruchmaterial	15
3.3.1	Allgemeines.....	15
3.3.2	Prognostiziertes Verwertungspotential am Brenner Basistunnel	16
3.3.3	Verwertung vor Ort	17
3.3.4	Weiterverarbeitung in Industriebetrieben.....	21
3.4	Verwertung von Tunnelausbruch am Industriestandort Nordtirol.....	23
4	Analyse und Auswertung	28
4.1	Vorgehensweise und Erläuterungen	28
4.1.1	Mineraltafeln	28

4.1.2	Abnehmerbetriebe	37
4.1.3	Auswerteprinzip	38
4.2	Elementare Zusammensetzung	41
4.2.1	Allgemeines.....	41
4.2.2	Innsbrucker Quarzphyllit.....	42
4.2.3	Bündnerschiefer	47
4.2.4	Zentralgneis.....	51
4.3	Mineralogische Zusammensetzung.....	56
4.3.1	Allgemeines.....	56
4.3.2	Innsbrucker Quarzphyllit.....	57
4.3.3	Bündnerschiefer	60
4.3.4	Zentralgneis.....	63
4.4	Industrielle Eignung.....	65
4.4.1	Allgemeines.....	65
4.4.2	Innsbrucker Quarzphyllit.....	65
4.4.3	Bündnerschiefer	68
4.4.4	Zentralgneis.....	70
5	Diskussion und Ausblick.....	72
6	Abbildungsverzeichnis	75
7	Tabellenverzeichnis	77
8	Literaturverzeichnis	84
9	Abkürzungsverzeichnis.....	87
10	Anhang.....	88
10.1	Typische Lagerstättengehalte.....	88
10.1.1	Geochemische Zusammensetzung	88
10.1.2	Mineralogische Zusammensetzung	98
10.2	Gemengebestandteile der Industriemineralen.....	106
10.3	Verwertungsmöglichkeiten von Industriemineralen.....	119
10.4	Digitaler Anhang.....	133

1 Einführung

1.1 Allgemeines

1.1.1 Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Überprüfung von Tunnelausbruchmaterial auf dessen Verwertbarkeit in Industriebetrieben. Konkret wird der österreichische Abschnitt des Brenner Basistunnels unter die Lupe genommen. Ausschlaggebend für diese Einschränkung ist die Tatsache, dass am italienischen Abschnitt grundsätzlich andere geologische Bedingungen vorgefunden werden, als dies am Nordabschnitt des Brenner Basistunnels der Fall ist. Während aufgrund der geologisch günstigen Bedingungen am Südabschnitt das Ausbruchmaterial bereits an Dritte verkauft und zu Gesteinskörnungen für Beton weiter verarbeitet wird, ist am Nordabschnitt die Herausforderung jene, dass die geologischen Gegebenheiten wesentlich komplexer sind. Diese natürliche Vorgabe gestaltet eine Verwertung von Tunnelausbruchmaterial wesentlich aufwändiger und war das Hauptkriterium für die Entscheidung, in dieser Arbeit ausschließlich den österreichischen Abschnitt des Brenner Basistunnels zu untersuchen.

1.1.2 Der Brenner Basistunnel als TEN-Herzstück



Das Konzept der Transeuropäischen Netze (TEN) für Verkehr, Energie und Telekommunikation wurde in den 1990er Jahren von der Europäischen Kommission begründet. In diesem Konzept wird der Bau von 30 vorrangigen Projekten durch die EU vorangetrieben und finanziell unterstützt. Die TEN 1 Achse verläuft als länderübergreifender Schienenkorridor zwischen Berlin und Palermo. 75 % der Strecke sind aktuell (Stand Dez. 2013) als Hochleistungs- bzw. Hochgeschwindigkeitsstrecken in Bau oder in Betrieb. Fehlendes Element ist die Teilstrecke München - Verona mit dem Brenner Basistunnel als Herzstück. (vgl. BBT SE 2013)

Abbildung 1: TEN 1 Achse Berlin - Palermo (vgl. BBT SE 2013)

Die TEN-Korridore verfolgen das Ziel einer besseren Vernetzung Europas und sollen zu einer Vereinheitlichung der Verkehrssysteme führen (vgl. Voit 2013, S. 1). Wichtige Alpentransversalen und Bahntunnel sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 angeführt:

Alpentransversale	Länge (km)	Stand
Lyon – Turin	58	Einreichprojekt
Lötschbergtunnel	34,6	Betrieb
Gotthard Basistunnel mit Ceneri Basistunnel	57 + 19	Bau
Brenner Basistunnel	64	Bau

Tabelle 1: Wichtige Alpentransversalen (vgl. Bergmeister 2010a)

Bahntunnel	Länge (km)	Stand
Unterinntal	34	Betrieb
Koralmbahn	32,9	Bau
Semmering Basistunnel	28	Baubeginn
Stuttgart – Ulm (Stuttgart 21)	33	Baubeginn

Tabelle 2: Wichtige Bahntunnel (vgl. Bergmeister 2010a)

1.2 Zielsetzung

Die Studie „Die Volkswirtschaftliche Bedeutung mineralischer Rohstoffe in Österreich“ schätzte den jährlichen Verbrauch an mineralischen Rohstoffen im Jahr 2007 mit ca. 100 Mio. t ab. Das entspricht pro Einwohner einem Verbrauch von ca. 12 t/Jahr. (FFG 2013, S. 3f)

In Abbildung 2 ist schematisch der steigende Verbrauch an Kies- und Sandrohstoffen den gleichzeitig schwindenden abbaubaren Reserven gegenübergestellt. Um die Versorgungssicherheit auch für künftige Generationen zu gewährleisten, ist es zweckmäßig, zukünftig Tunnelausbruch der Mineralrohstoffindustrie zuzuführen und somit mineralische Rohstoffe zu sichern bzw. einzusparen.

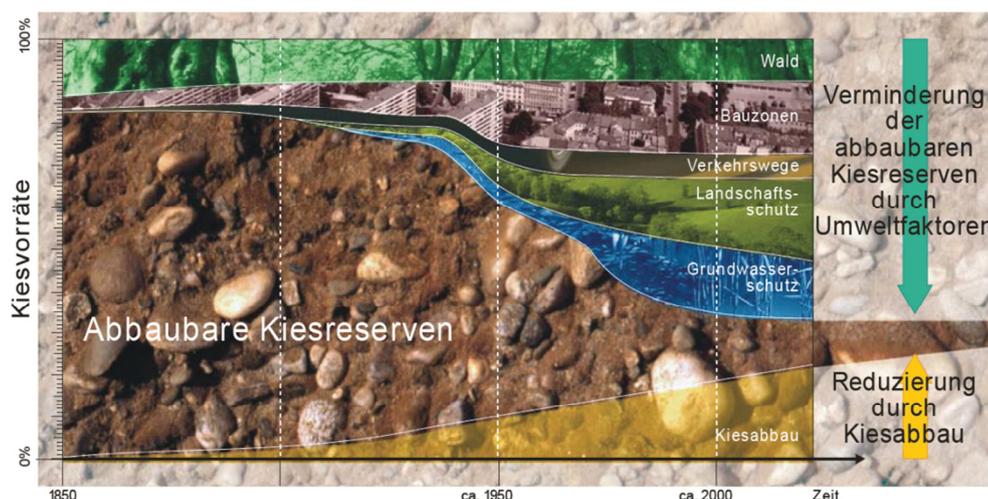


Abbildung 2: Kontinuierliche Steigerung des Kies- und Sandverbrauchs (vgl. Kündig et al 1997; Jäckli und Schindler 1986; Resch & Jodl 2009; verändert)

„Bei einem 30 Kilometer langen Tunnel mit zwei Röhren fallen ca. fünf Millionen Kubikmeter Ausbruchmaterial an. Eine effiziente Verwendung dieses Rohstoffes auf der Baustelle selbst oder, sofern technisch realisierbar, eine industrielle Nutzung sind daher von großem wirtschaftlichem und ökologischem Interesse, würden große Mengen an Primärrohstoffen ersetzen sowie Umweltprobleme und CO₂-Emissionen beträchtlich reduzieren, die durch Deponierung und Transport entstehen.“ (Galler 2012)

Dieses Zitat von Univ.-Prof. Dr. Robert Galler beschreibt die Bedeutung der Nutzung von Tunnelausbruch als Primärrohstoff sehr treffend. Zudem zeigen die Auflistungen in Tabelle 1 und Tabelle 2 das große Potential an Primärrohstoffen aus Tunnelausbruch in Europa und insbesondere in Österreich.

Der Brenner Basistunnel liegt auf einer Länge von ca. 32 km auf österreichischem Bundesgebiet. Aufgrund des komplexen Tunnelsystems wird auf österreichischer Seite ein Ausbruchvolumen von mehr als neun Mio. m³ prognostiziert (vgl. BBT 2008b). Durch Anwendung von Aufbereitungsmaßnahmen sollen bis zu 50 % des Ausbruchvolumens auf der Baustelle verwertet werden (vgl. Voit 2013, S. 356). Somit ist für einen beträchtlichen Anteil an hochwertigem Rohstoff die Deponierung angedacht.

Hauptziel dieser Diplomarbeit ist die Darlegung der Verwertungspotentiale des am österreichischen Abschnitt des Brenner Basistunnels anfallenden Tunnelausbruchmaterials. Insbesondere wird die technische Zuführbarkeit des Materials zu Bergbau- und Industriebetrieben in Nordtirol abgeschätzt. Die aktuelle rechtliche Situation in Österreich wird im Rahmen dieser Diplomarbeit ebenfalls erläutert. Idealerweise werden anhand der Forschungsergebnisse Verwertungsmöglichkeiten eröffnet, wodurch der zu deponierende Anteil gegenüber der Prognose deutlich reduziert wird.

Ferner soll durch die Darlegung von Verwertungspotentialen ein Beitrag zur Überarbeitung der aktuellen österreichischen Gesetzeslage geleistet werden. Aufgrund des stetig steigenden Bedarfs an mineralischen Rohstoffen und den im Tunnelbau verwendeten Lösemethoden, welche jenen des Bergbaues entsprechen, sollte Tunnelausbruch in Österreich in Zukunft rechtlich gesehen dem Begriff des Primärrohstoffes zugeschrieben werden und nicht wie bisher dem Abfallbegriff unterliegen.

2 Großprojekt Brenner Basistunnel

2.1 Daten und Fakten

2.1.1 Tunnelsystem

Mit einer Länge von 55 km vom Portal Innsbruck zum Portal Franzensfeste zählt der Brenner Basistunnel zu den größten Infrastrukturprojekten Europas. Zählt man die bereits bestehende Umfahrung Innsbruck dazu, ist das Tunnelsystem mit 64 km Länge die längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt. Nach Fertigstellung des Projektes soll der Tunnel in erster Linie zur Verlagerung des Gütertransportes von der Straße auf die Schiene dienen. Aufgrund der Installation entsprechender Sicherheitsausrüstung ist im Tunnel auch der Personentransport möglich. (vgl. BBT SE 2013)

Das Tunnelsystem umfasst zwei Haupttunnel, welche je eingleisig im Einbahnverkehr befahren werden. Alle 333 m werden die Hauptröhren durch Querschläge verbunden. Die drei Multifunktionsstellen in Innsbruck, St. Jodok und Trens sind je ca. 20 km voneinander entfernt und über je einen Zugangstunnel mit der Außenwelt verbunden. Sie dienen als Nothalte- und Überleitstellen der beiden Hauptröhren. (vgl. BBT SE 2013)

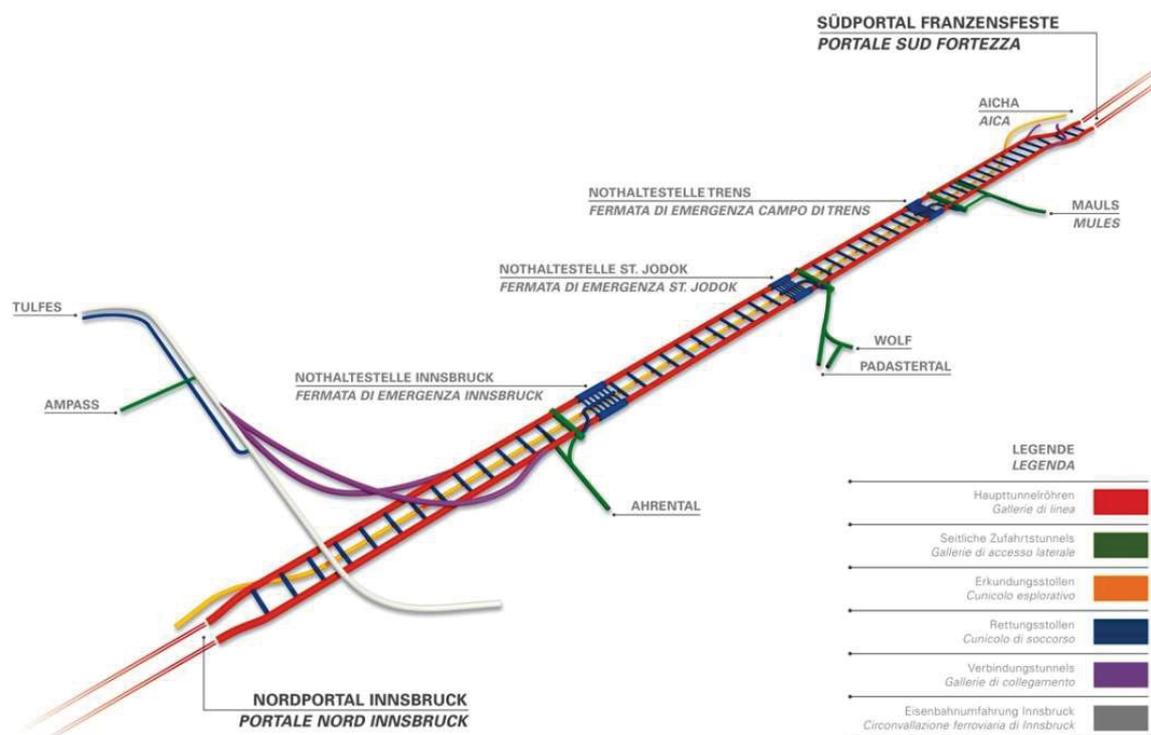


Abbildung 3: Das Tunnelsystem des Brenner Basistunnels (BBT SE 2013)

Die Haupttunnelröhren verlaufen im Abstand von 70 m zueinander und weisen einen Durchmesser von 8,1 m auf. 11 m unter dem Tunnelniveau verläuft zentral zwischen den beiden Haupttunneln der Erkundungsstollen mit einem minimalen Durchmesser von 5 m.

Der Erkundungsstollen wird vorseilend aufgeföhren und ist baugologisch während den Vortriebsarbeiten unerlässlich. Nach Fertigstellung des Bauwerkes wird der Stollen zu Entwässerungs- und Erhaltungszwecken herangezogen. (vgl. Voit 2013, S. 13)

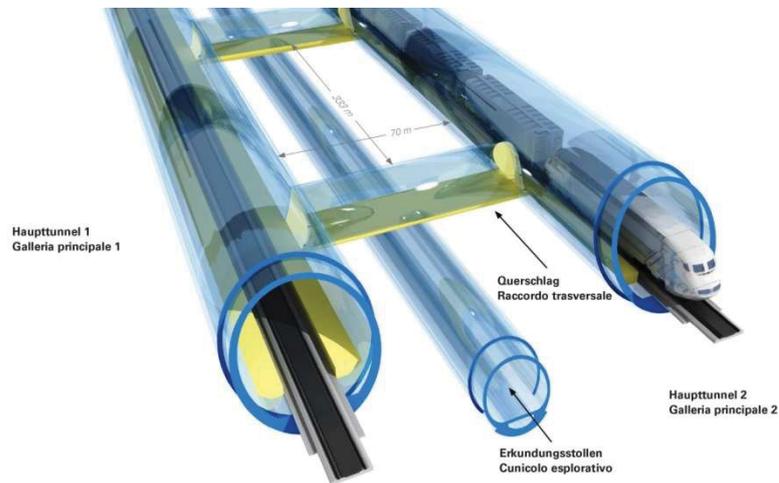


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Tunnelbauwerkes (vgl. BBT SE 2013)

2.1.2 Geplante Baudurchföhung

Im Baudurchföhungskonzept des Brenner Basistunnels ist das Projekt auf ursprünglich acht Hauptbaulose aufgeteilt. Auf der österreichischen Seite sind dies die Baulose Ampass, Innsbruck, Ahrental und Wolf. Das Baulos Pfitsch im italienischen Abschnitt wurde mittlerweile gestrichen. Die Tunnelröhren werden in diesem Bereich hauptsächlich von Mauls aus aufgeföhren. Im Südabschnitt liegen die Hauptbaulose Mauls, Franzensfeste und Aicha.

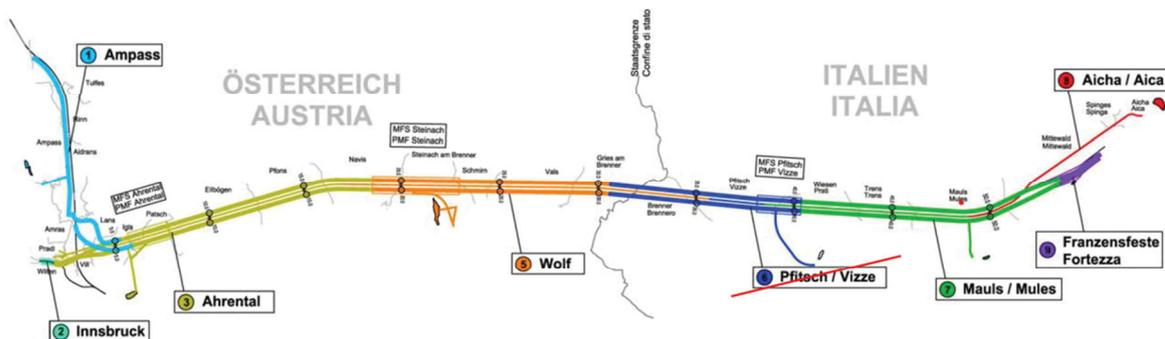


Abbildung 5: Aufteilung der Hauptbaulose (vgl. BBT 2008c; verändert)

Der Brenner Basistunnel wird laut Prognose zu ca. 30 % im zyklischen Vortrieb und zu ca. 70 % maschinell aufgeföhren. Aktuell (Stand August 2013) sind 28 km des nach Fertigstellung ca. 200 km umfassenden Tunnelsystems ausgebrochen. (vgl. BBT SE 2013)



Abbildung 6: Prognostizierte Vortriebsarten (vgl. BBT 2008c)

2.1.3 Deponierung

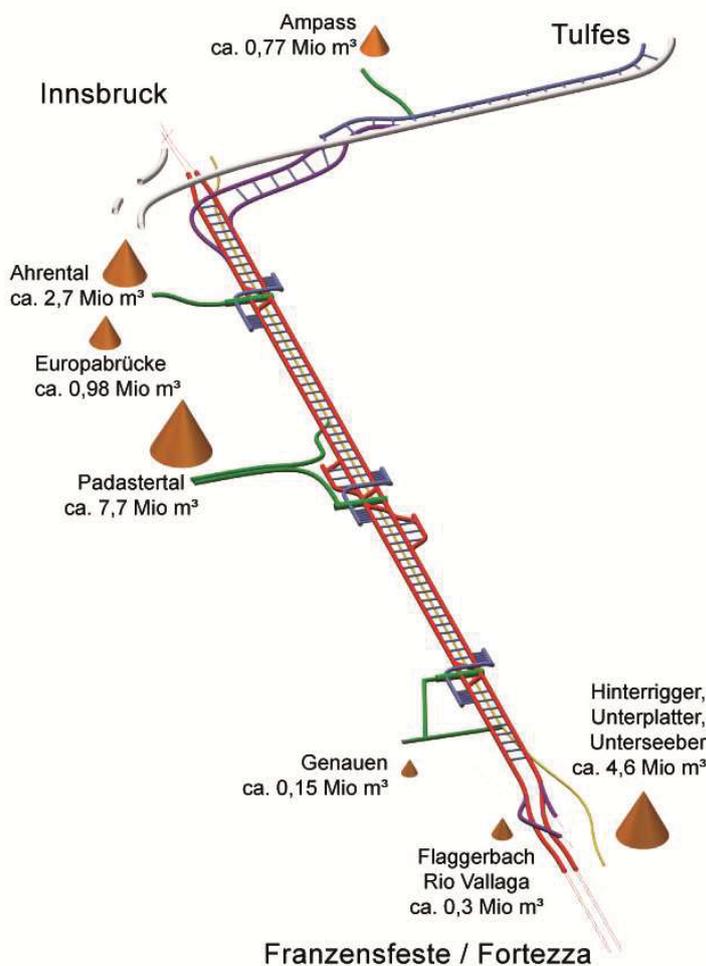


Abbildung 7: Deponiestandorte entlang des Brenner Basistunnels (vgl. Bergmeister 2008 und 2010b)

Das während der Bauausführung anfallende Gesamtausbruchvolumen wird auf etwa 16 Mio. m³ geschätzt. Im aufgelockerten Zustand entspricht dies einem Volumen von etwa 25,6 Mio. m³. Rund 57 % des Ausbruchmaterials fallen innerhalb des österreichischen Abschnittes an. Im ungelösten Zustand entspricht dies einer Kubatur von etwa 9,1 Mio. m³. Im wieder verdichteten, deponierten Zustand nimmt das Ausbruchmaterial unter Berücksichtigung des Verdichtungs-faktors von 1,14 ein Volumen von etwa 12,8 Mio. m³ ein. (vgl. BBT 2008b)

Die Deponiestandorte entlang des Tunnels sind in Abbildung 7 dargestellt.

2.2 Rahmenbedingungen

2.2.1 Geologie

Aufgrund der Einwirkung ausgeprägter Überschiebungs- und Faltentektonik in der Entstehungsgeschichte sind die geologischen Gegebenheiten im Bereich des Brenner Basistunnels sehr komplex (vgl. Voit 2013, S. 27). Der Tunnel durchörtert das empor gewölbte Zentrum der Kollisionszone der europäischen und adriatischen Kontinentalplatten (Brandner et al 2008).

Die Nummerierungen in Abbildung 8 und Abbildung 9 entsprechen den in Tabelle 3 angegebenen geologisch-tektonischen Einheiten.

Nr.	Geologisch-tektonische Einheit
1	Innsbrucker Quarzphyllit
2	Patscherkofel-Glungezer-Kristallin
3	Tarntaler Permomesozoikum und Reckner-Komplex
4	Obere Bündnerschiefer
5	Bündnerschiefer
6	Trias an der Basis der Glocknerdecke und in der Unteren Schieferhülle
7	Kaserer-Formation
8	Hochstegen-Kalkmarmor
9	Zentralgneis des Tuxer und Zillertaler Kerns
10	Tulfer-Senges-Einheit
11	Kristallines Grundgebirge
12	Maulser Trias
13	Maulser Tonalitlamelle
14	Brixner Granit

Tabelle 3: Geologisch-tektonische Einheiten im Bereich des Brenner Basistunnels (vgl. Brandner et al 2008)

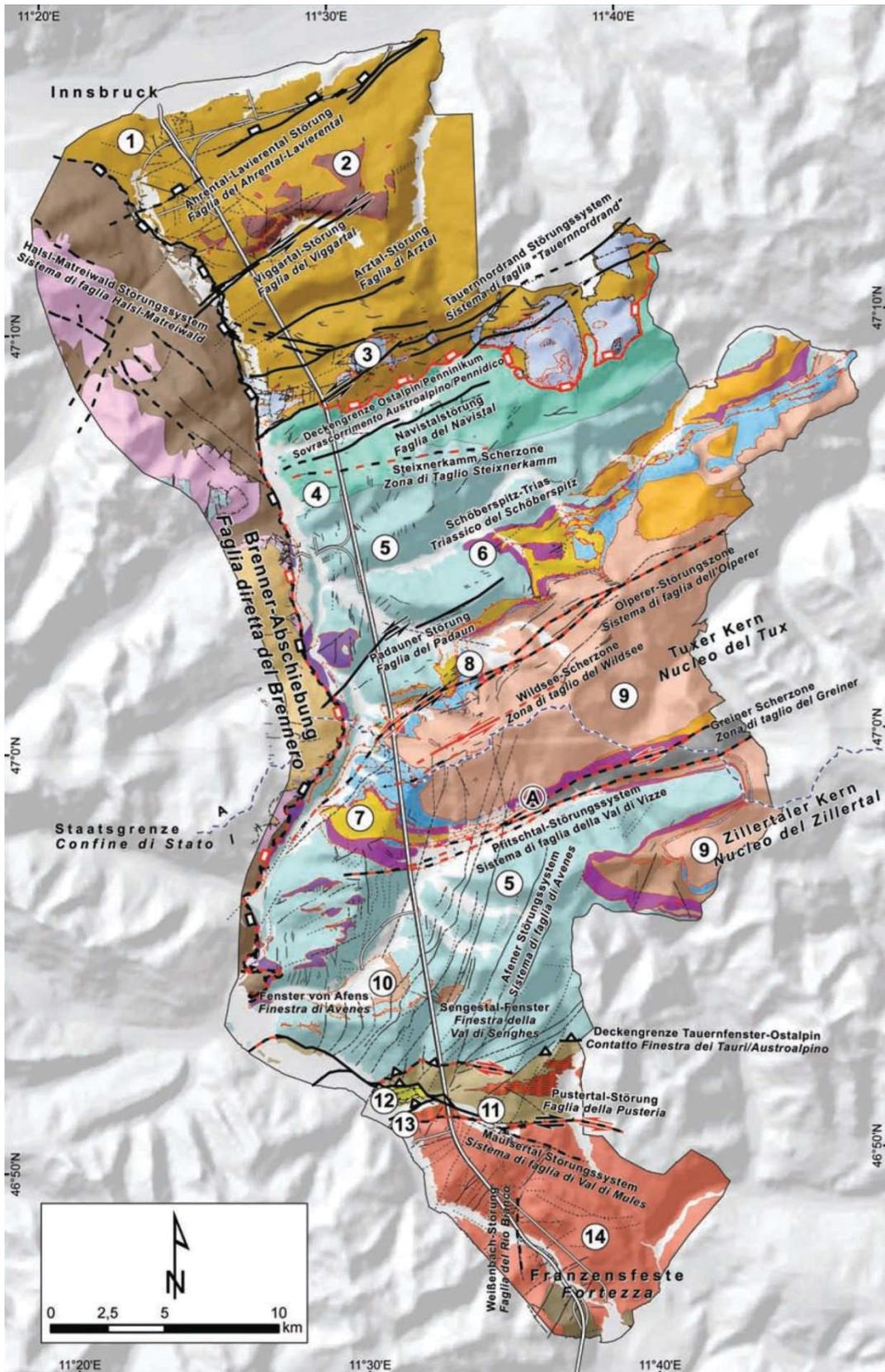


Abbildung 8: Geologisch-tektonische Einheiten im Bereich des Brenner Basistunnels (Brandner et al 2008)

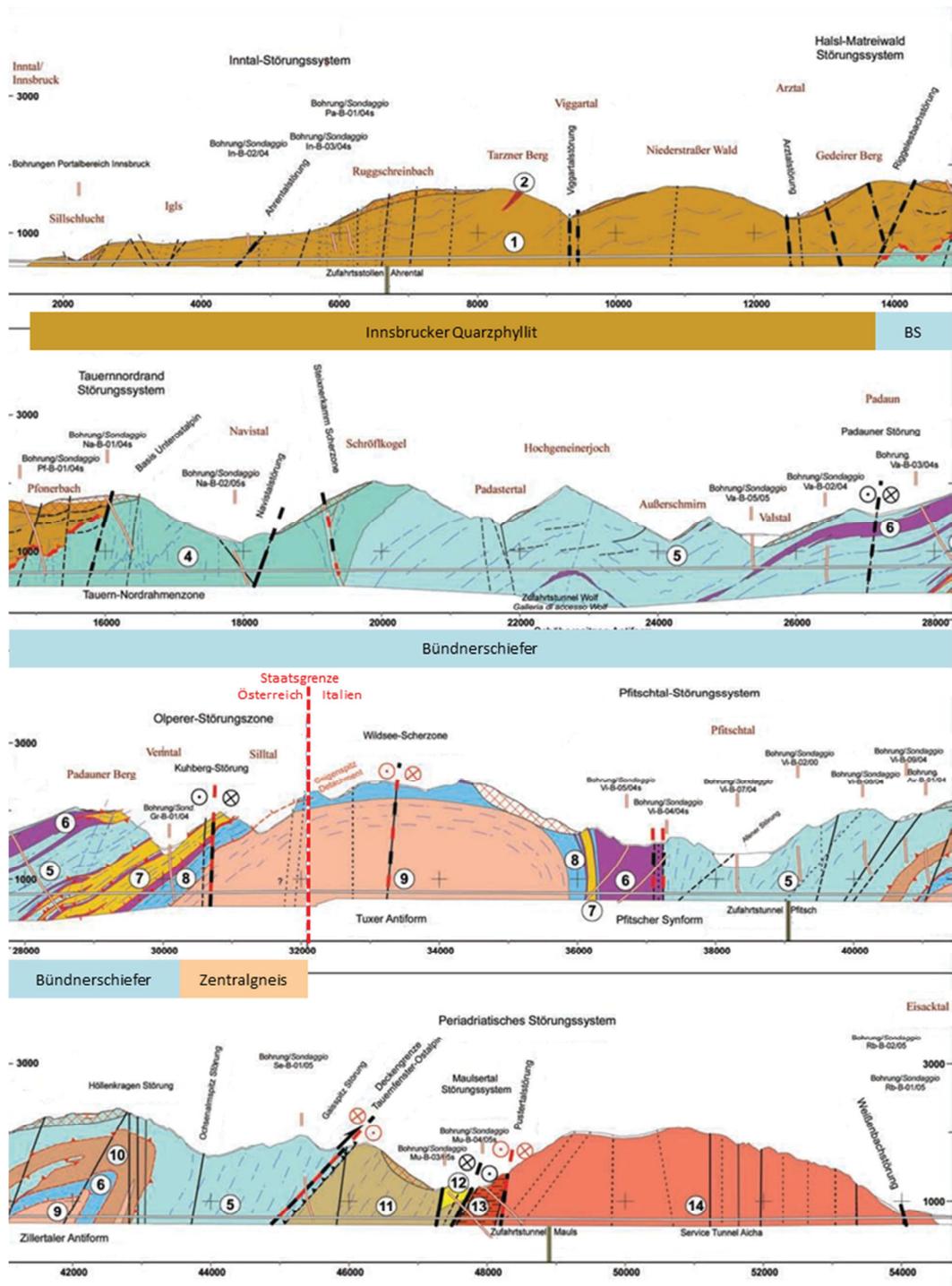


Abbildung 9: Geologischer Längsschnitt des Brenner Basistunnels (vgl. Brandner et al 2008; verändert)

2.2.2 Hauptgesteinsarten

Im nördlichen Abschnitt des Brenner Basistunnels treten laut geologischer Prognose die Hauptgesteinsarten Innsbrucker Quarzphyllit, Bündnerschiefer und Zentralgneis auf. In Abbildung 10 sind die ungefähren Volumenanteile der Hauptgesteinsarten ersichtlich.

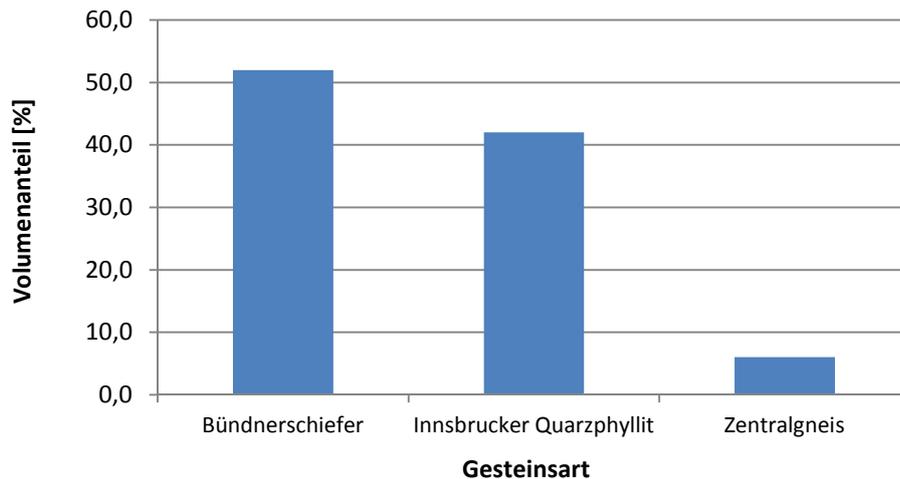


Abbildung 10: Ungefähre prozentuelle Volumenanteile der Hauptgesteinsarten

Tabelle 4 zeigt eine detaillierte Auflistung der Gesteinsarten am Nordabschnitt des Brenner Basistunnels.

Tunnelkilometer		Geologische Einheit	Hauptgesteinsart
von km	bis km		
0,0	2,14	Lockermaterial	
2,14 (Nordportal)	14,0	Innsbrucker Quarzphyllitdecke	Quarzphyllit
14,0	19,0	Nordrahmenzone	Quarzphyllit, Bündnerschiefer
19,0	28,5	Glockner Decke	Bündnerschiefer
28,5	29,8	Grenze Glockner Decke / Untere Schieferhülle	Bündnerschiefer, Aigerbach-Serie, Kaserer Serie
29,8	30,4	Untere Schieferhülle	Hochstegenmarmor, Basisquarzit
30,4	35,9 (Staatsgrenze bei km 32,2)	Zentralgneis	Zentralgneis

Tabelle 4: Durchhörterte Gesteine im österreichischen Abschnitt des Brenner Basistunnels (vgl. Brandner et al 2008)

2.2.3 Gesteinscharakterisierung

2.2.3.1 Innsbrucker Quarzphyllit

Der Innsbrucker Quarzphyllit ist ein Quarzphyllit, der sich aus verschiedenen Phyllit- und Glimmerschieferarten zusammensetzt und außerdem über einen hohen Muskovit- und Chloritgehalt verfügt. Quarz, Biotit und Calcit zählen ebenfalls zu den Hauptbestandteilen. Der Innsbrucker Quarzphyllit weist eine geringe Kornfestigkeit auf und ist aufgrund seines hohen Anteils an Schichtsilikaten stark geschiefert. Diese Schieferung beeinflusst das Bruchverhalten des Gesteins stark. Beim Ausbruch hat sich gezeigt, dass mit einem hohen



Abbildung 11: Innsbrucker Quarzphyllit, 8/16er Korn (vgl. Voit 2013)

Feinanteil und einem hohen Anteil an ungünstigen, plattigen Kornformen zu rechnen ist. Der hohe Glimmergehalt führt zumeist zu glatten Kornoberflächen, was eine Reduktion des Reibungswinkels bewirkt und somit die Verwendung als Gesteinskörnung für Beton einschränkt. (vgl. Voit 2013, S. 148f)

2.2.3.2 Bündnerschiefer

Der Bündnerschiefer ist ein graphitischer Kalkschiefer und umfasst die Hauptlithologien Glimmerschiefer, Kalkglimmerschiefer und Phyllit. Wie auch der Innsbrucker Quarzphyllit verfügen die Gesteine des Bündnerschiefers über einen hohen Anteil an Schichtsilikaten, sowie vorwiegend über eine starke Schieferung und geringe Festigkeiten. Aufgrund der glatten Kornoberflächen, welche eine Reduktion des Reibungswinkels bewirken, und der ungünstigen, plattigen Kornformen sind die Gesteine des Bündnerschiefers nur eingeschränkt für Betonanwendungen verwendbar. (vgl. Voit 2013, S. 149)



Abbildung 12: Bündnerschiefer, 8/16er Korn (vgl. Voit, 2013)

2.2.3.3 Zentralgneis

Der Zentralgneis ist ein kompakter Gneis und setzt sich aus Feldspat, Quarz und Glimmer zusammen. Aufgrund seiner hohen Qualität wird der im österreichisch-italienischen Grenzgebiet vorkommende Zentralgneis bereits in Steinbrüchen abgebaut. Der im TBM-Vortrieb des Erkundungsstollens gewonnene Brixner Granit am Südabschnitt des Tunnels weist eine ähnlich hohe Qualität auf und hat sich bei Dritten bereits sehr gut als Gesteinskörnung für Beton bewährt. (vgl. Voit 2013, S. 149)



Abbildung 13: Zentralgneis, 8/16er Korn (vgl. Voit, 2013)

Auf österreichischer Seite wird im Steinbruch Franz Auer in Gries am Brenner der Gneisabbau praktiziert.

3 Verwertung von Tunnelausbruch

3.1 Allgemeines

Die Verwertbarkeit von Tunnelausbruchmaterial hängt wesentlich von seinen Eigenschaften und der damit verbundenen Qualität ab. Es sind geologische, technische, wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. (vgl. FFG 2013, S. 359)

Eine mögliche Verwertung kann durch Beurteilung folgender Punkte abgeschätzt werden:

- Geotechnische Parameter (z.B.: einachsiale und triachsiale Druckfestigkeit, Kohäsion, Winkel der inneren Reibung, ...)
- Geochemische Zusammensetzung (z.B.: Anteile an CaO, MgO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, ...)
- Mineralogische Zusammensetzung (z.B.: Anteile an Calcit, Feldspat, Quarz, Dolomit, Glimmer, ...) (vgl. FFG 2013, S. 359)

Die Randbedingungen der Verwertbarkeit von Tunnelausbruch werden in Abbildung 14 gesamthaft dargestellt.

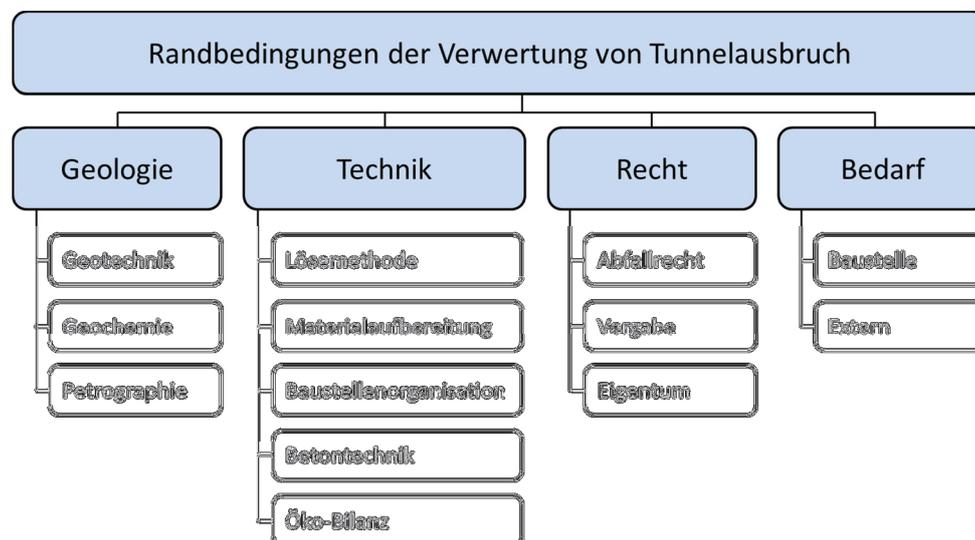


Abbildung 14: Randbedingungen der Verwertung von Tunnelausbruchmaterial (vgl. Jodl & Resch 2012; verändert)

In Kapitel 3.2 werden die wesentlichen, in Österreich geltenden rechtlichen Grundlagen, sowie eine Gegenüberstellung zum schweizerischen Recht angeführt.

3.2 Rechtsgrundlagen

3.2.1 Aktuelle Situation in Österreich

Aktuell (Stand Dez. 2013) unterliegt die Verwertung von Tunnelausbruch den jeweiligen Bundesgesetzen der europäischen Staaten. In Österreich sind diesbezüglich zahlreiche Bundes- und Landesgesetze zu beachten. (vgl. Erben & Galler 2013, S. 515)

Das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002) folgt in § 1. dem Prinzip der Nachhaltigkeit:

§ 1. (1): Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass

- 1. schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,*
- 2. die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,*
- 3. Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,*
- 4. bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und*
- 5. nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.*

Folgende Hierarchie liegt dem AWG 2002 zugrunde:

- 1. Abfallvermeidung;*
- 2. Vorbereitung zur Wiederverwendung;*
- 3. Recycling;*
- 4. sonstige Verwertung, zB energetische Verwertung;*
- 5. Beseitigung.*

Demnach ist das Recycling gegenüber der Beseitigung zu bevorzugen. Gemäß dem AWG 2002 versteht man unter Recycling sämtliche Verwertungsverfahren, welche dazu dienen, Abfallmaterialien zu Produkten, Sachen oder Stoffen für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck aufzubereiten.

Aus § 2 des AWG 2002 ergibt sich, dass Tunnelausbruch grundsätzlich dem Abfallregime zuzuordnen ist:

*§ 2. (1) Abfälle im Sinne dieses 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.*

Im Zuge der Errichtung eines Tunnelbauwerks wird das Ziel verfolgt, das Ausbruchmaterial bestmöglich zu verwerten. Dennoch liegt die primäre Aufgabe in der Errichtung des Bauwerkes. Aufgrund dieser Tatsache kommt § 2 AWG zum Tragen und das Ausbruchmaterial wird rechtlich gesehen zum Abfall. (vgl. Erben & Galler 2013, S. 516)

Neben dem AWG sind folgende Vorschriften einzuhalten:

- Altlastensanierungsgesetz (ALSAG)
- Abfallrahmenrichtlinie
- Deponieverordnung (DVO 2008)
- Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP 2011)
- Landesgesetze
- Mineralrohstoffgesetz (MinroG 1999)

Werden im Zuge eines Bauvorhabens nicht kontaminierte Böden oder andere natürlich vorkommende Materialien ausgehoben und im natürlichen Zustand vor Ort für Bauzwecke verwendet, unterliegen sie nicht dem Abfallbegriff (vgl. Erben & Galler 2013, S. 516).

In der Deponieverordnung sind die Begriffe „Böden“ und „natürlich vorkommende Materialien“ wie folgt definiert:

§3. 9.: Bodenaushubmaterial ist Material, das durch Ausheben oder Abräumen von im Wesentlichen natürlich gewachsenem Boden oder Untergrund - auch nach Umlagerung - anfällt. Der Anteil an bodenfremden Bestandteilen, z.B. mineralischen Baurestmassen, darf nicht mehr als fünf Volumsprozent betragen und es dürfen auch keine mehr als geringfügigen Verunreinigungen, insbesondere mit organischen Abfällen (Kunststoffe, Holz, Papier usw.) vorliegen; diese bodenfremden Bestandteile müssen bereits vor der Aushub- oder Abräumtätigkeit im Boden oder Untergrund vorhanden sein. Das Bodenaushubmaterial kann von einem oder mehreren Standorten stammen, wenn das Vermischungsverbot eingehalten wird.

Auch die Definition für „Tunnelausbruch“ ist in der Deponieverordnung angegeben:

§3. 55.: Tunnelausbruch ist ein Bodenaushubmaterial, das insbesondere bei untertägigen Baumaßnahmen in Fest- oder Lockergestein anfällt.

Für eine Verwertung des Ausbruchmaterials vor Ort als Baustoff sind Aufbereitungsschritte in Form von Zerkleinerungs- und Klassiervorgängen nötig. Nach entsprechender Aufbereitung würde das Material nicht mehr seinem natürlichen Zustand entsprechen und wäre dem Abfallbegriff zuzuschreiben. Eine Verwertung des Tunnelausbruchs als Industriemineral außerhalb der Baustelle ist in Österreich mit erheblichem gesetzlichem Aufwand verbunden. (vgl. Erben & Galler 2013, S. 516)

3.2.2 Vorbild Schweiz

In der Schweiz gelten laut Umweltschutzgesetz (USG) folgende Definitionen:

Art. 7-6: Abfälle sind bewegliche Sachen, deren sich der Inhaber entledigt oder deren Entsorgung im öffentlichen Interesse geboten ist.

Art. 7-6bis: Die Entsorgung der Abfälle umfasst ihre Verwertung oder Ablagerung sowie die Vorstufen Sammlung, Beförderung, Zwischenlagerung und Behandlung. Als Behandlung gilt jede physikalische, chemische oder biologische Veränderung der Abfälle.

Ebenso besagt das USG, dass Abfälle möglichst vermieden werden sollen. Ist dies nicht möglich, sind die Abfälle, wenn es wirtschaftlich tragbar und umweltschonender als eine andere Entsorgung oder die Herstellung neuer Produkte ist, zu verwerten. Ferner müssen Abfälle umweltverträglich sein und, wenn möglich und sinnvoll, im Inland entsorgt werden. (vgl. USG 1983)

Der Projektwerber hat demnach aufgrund dieser Sachlage die Pflicht, das abgebaute Material zu verwerten (Erben & Galler 2013, S. 516). Ferner sind in der Aushubrichtlinie Möglichkeiten zur Wiederverwertung und Qualitätskriterien für eine Verwertung angegeben (Entacher 2010, S. 67).

3.3 Verwertungsmöglichkeiten von Tunnelausbruchmaterial

3.3.1 Allgemeines

Um die Verwertung und Vermarktung von Tunnelausbruch gewährleisten zu können, muss das Ausbruchmaterial den Anforderungen der Abnehmerbetriebe entsprechen und ein entsprechender Markt existieren. Sofern das Material den Anforderungen als Zuschlagstoff für Betonanwendungen entspricht, kann es direkt auf der Tunnelbaustelle verwertet werden. Dies gilt ebenfalls für Schüttungen, welche im Zuge der Bauarbeiten errichtet werden (siehe Klasse 1 in Tabelle 5). Besteht ein Überschuss an qualitativ einwandfreiem, als Zuschlagstoff geeignetem Ausbruchmaterial, wird der Verkauf bzw. die Weitergabe an lokale Baustoffproduzenten angestrebt (siehe Klasse 1a in Tabelle 5). Ergibt sich aus den Analysen von in der Vorerkundung gewonnenem Material eine Verwertbarkeit als Industriemineral, wird die Verwertung in Mineralrohstoff verarbeitenden Betrieben angestrebt (siehe Klasse 2 in Tabelle 5). Bei entsprechender Qualität des Materials kann der Transport über die nähere Umgebung hinausgehen. Ist das Ausbruchmaterial für keine

höhere Verwendung geeignet, kann es bei Nachweis der Eignung für den Landschaftsbau verwendet werden. Nicht verwertbares Material ist der Deponierung zuzuführen. (vgl. Erben & Galler 2013, S. 518)

	Klasse 1	Verwertung als Baurohstoff auf der Baustelle vor Ort (Zuschläge für Innenschalen-, Tübbing- und Spritzbeton, Ringspaltmörtel, Tragschichten, ...)
	Klasse 1a	Verwertung als Baurohstoff außerhalb der Baustelle
	Klasse 2	Verwertung als industrieller Rohstoff entsprechend einem Anforderungskatalog von Industriebetrieben (Gips-, Ziegel-, Zement-, Glas-, Schleifmittel-, chemische Industrie, ...)
	Klasse 3	Keine höherwertige Verwendung
	Klasse 3a	Material für Landschaftsbau: Dammschüttungen, Verfüllungen, Straßenunterbau
	Klasse 3b	Deponierung

Tabelle 5: Grundsätzliche Verwertungsmöglichkeiten von Ausbruchmaterial (vgl. Erben & Galler 2013)

3.3.2 Prognostiziertes Verwertungspotential am Brenner Basistunnel

Am Brenner Basistunnel liegt die Prognose des zu deponierenden Materials bei nahezu 80 %. 6 % des Ausbruchs sind laut Prognose als Betonzuschlag verwendbar, 15 % sind für den Einsatz als Schütt- oder Füllmaterial geeignet. (vgl. Voit 2013, S. 354)

Voit (2013) bezeichnet die Nutzung von Tunnelausbruch als Gesteinskörnung für Beton als die höchste Form der Wiederverwertung. Ausschlaggebend sind Korngrößenverteilung, Größtkorn, Kornform, Frost-Tauwechselbeständigkeit, Abriebwiderstand, Druckfestigkeit, Wasseraufnahme, Wärmedehnzahl, Alkali-Reaktivität, sowie Sulfat- und Schwefelgehalt. (vgl. Voit 2013, S. 4)

Die Verwertung als Schütt- und Füllmaterial stellt die zweithöchste Form der Wiederverwertung dar. Diesbezügliche Anforderungen sind ein ausreichendes Drainagevermögen, welches unmittelbar mit dem Feinanteil zusammenhängt, keine Auflösungs- oder Quellerscheinungen bei Wasserbeimengung, ein optimaler Wassergehalt beim Einbau, eine ausreichende Gesteinsfestigkeit, sowie eine geringe Erosionsanfälligkeit. Kornzusammensetzung und Korngrößenverteilung beeinflussen diese Parameter erheblich. (vgl. Voit 2013, S. 4)

Werden die Anforderungen für die Verwertung als Betonzuschlag oder als Schütt- und Füllmaterial nicht erfüllt, dann ist das Material nach aktuellem Stand (Dez. 2013) zu deponieren. In Abbildung 15 ist die ursprüngliche Prognose hinsichtlich Verwertbarkeit ersichtlich.

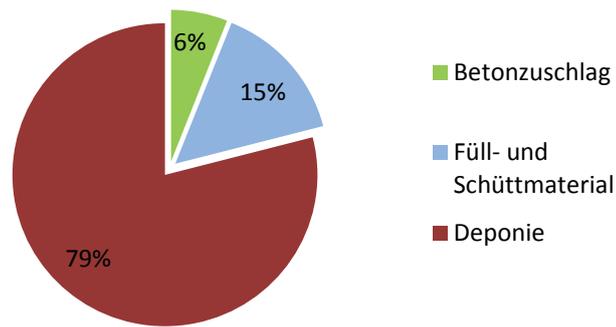


Abbildung 15: Ursprünglich prognostizierte Wiederverwertbarkeit (vgl. BBT 2008a)

3.3.3 Verwertung vor Ort

Voit (2013) hat im Rahmen seiner Dissertation mit dem Thema „Einsatz und Optimierung von Tunnelausbruchmaterial des Brenner Basistunnels“ aufgezeigt, dass ein großer Anteil des Ausbruchmaterials mit entsprechender Aufbereitung und unter Berücksichtigung bestimmter Rahmenbedingungen vor Ort verwertet werden kann. Grundlage dieser Annahme ist die Durchführung von entsprechenden Versuchen an Proben aus den drei Hauptlithologien (vgl. Voit 2013, S. 200 - 331).

Bezieht man die gewonnenen Erkenntnisse in die Prognose ein, zeigt sich in Abbildung 16 eine deutliche Reduzierung des Deponievolumens. Demnach sind nur noch 50 % des Ausbruchvolumens zu deponieren. (vgl. Voit 2013, S. 356)

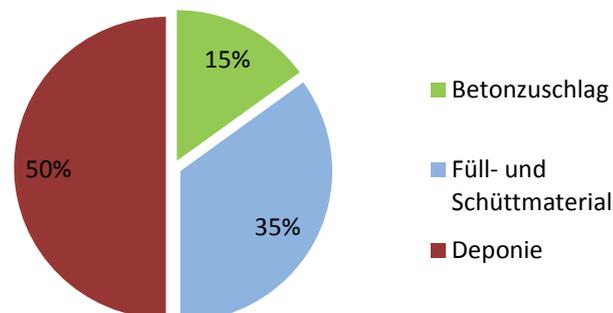


Abbildung 16: Abschätzung der Verwertbarkeit nach Durchführung entsprechender Versuche (vgl. Voit 2013)

In der Frage der Verwertbarkeit kommt folgenden Gesteinsparametern besondere Bedeutung zu:

- Kornfestigkeit
- Kornform
- Art und Menge an Feinanteilen
- Petrographie (vgl. Voit 2013, S. 347)

Tabelle 6 stellt die Einsatzmöglichkeiten von Tunnelausbruch vor Ort übersichtlich dar. Jedem Einsatzbereich unterliegen bestimmte Anforderungen, welche mit den angegebenen Aufbereitungsmethoden erreicht werden sollen.

Einsatzbereich	Anforderungen		Aufbereitung
Dämme Schüttungen Hinterfüllungen	Verdichtbarkeit		Keine, eventuell Verringerung Größtkorn (Brechen) je nach einzubauenden Schichtdicken
	Kapillarität		Verringerung der Feinanteile (Klassierung) Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang), Einsatz von Vlies (Erhöhung der Filterstabilität)
	Filterstabilität		
	Frostempfindlichkeit		
Dichtschicht	Verdichtbarkeit		Keine, eventuell Verringerung Größtkorn (Brechen) je nach einzubauenden Schichtdicken
	Geringe Wasserdurchlässigkeit		Hoher Feinkornanteil, geringes Größtkorn
Ungebundene untere Tragschicht	Verdichtbarkeit		Keine, eventuell Verringerung Größtkorn (Brechen) je nach einzubauenden Schichtdicken
	Widerstand gegen Kornzertrümmerung (LA ₄₀)		Kanten runden: Friktionstrommel, Brechen mit Vertikalbrecher für gedrungene Körnung
	Gehalt an Feinanteilen		Verringerung Feinanteile (Klassierung), Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
	Kapillarität		
	Frostsicherheit		
Ungebundene obere Tragschicht	Verdichtbarkeit		Keine, eventuell Verringerung Größtkorn (Brechen) je nach einzubauenden Schichtdicken
	Kornform (SI ₄₀)		Kanten runden: Friktionstrommel, Brechen mit Vertikalbrecher für gedrungene Körnung,
	Widerstand gegen Kornzertrümmerung (LA ₃₀ , LA ₄₀)		Kanten runden: Friktionstrommel, Brechen mit Vertikalbrecher für gedrungene Körnung, Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
	Feinanteil		Verringerung Feinanteile (Klassierung), Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
	Kapillarität		
	Frostsicherheit		
Gebundene Tragschicht	7-Tage-Druckfestigkeit		Kanten runden: Friktionstrommel, Brechen mit Vertikalbrecher für gedrungene Körnung, Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
	Frostsicherheit		Verringerung Feinanteile (Klassierung) Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
Gesteinskörnung für Beton	Geometrische Anforderungen	Sieblinie, Feinanteil	Klassierung, Waschen
		Kornform	Kanten runden: Friktionstrommel, Brechen mit Vertikalbrecher
	Physikalische Anforderungen	Gesteinsfestigkeit (Widerstand gg. Zertrümmerung)	Kanten runden: Friktionstrommel, Brechen mit Vertikalbrecher, Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
		Frostbeständigkeit	Verringerung Feinanteil (Klassierung), Aussortierung Mürbkorn (über Brechvorgang)
	Chemische Anforderungen	Petrographie	Aussortierung petrographisch ungeeigneter Komponenten

Tabelle 6: Einsatzbereiche vor Ort mit Anforderungen und Aufbereitungsart (vgl. Voit 2013)

3.3.3.1 Schütt- und Füllmaterial

Für die Verwendung des Ausbruchmaterials als Dammschütt- oder Hinterfüllmaterial sind die in Tabelle 7 angegebenen Aufbereitungsmaßnahmen durchzuführen:

Aufbereitungsart	Innsbrucker Quarzphyllit	Bündnerschiefer	Zentralgneis
Brechen (Größtkorn)	X	X	X
Sondermaßnahmen	Verhinderung Nachsaugen (z.B.: durch Dichtfolie)		-

Tabelle 7: Nutzbarmachung für Schütt- und Füllmaterial (vgl. Voit 2013)

3.3.3.2 Dichtschichten

Die getätigten Untersuchungen haben ergeben, dass die Gesteine des Innsbrucker Quarzphyllits und des Bündnerschiefers bei ausreichender Verdichtung gute Dichteigenschaften aufweisen. Der Zentralgneis ist für diesen Zweck ungeeignet und aufgrund seiner hohen Qualität ohnehin für höherwertige Anwendungsmöglichkeiten einsetzbar. (vgl. Voit 2013, S. 350)

Tabelle 8 zeigt die Aufbereitungsmaßnahmen zur Verwendung als Dichtschichtmaterial.

Aufbereitungsart	Innsbrucker Quarzphyllit	Bündnerschiefer	Zentralgneis
Brechen (Größtkorn)	X	X	Nicht geeignet
Sondermaßnahmen	Feinkornanreicherung, Einbau mit hoher Verdichtungsenergie		

Tabelle 8: Nutzbarmachung für Dichtmaterial (vgl. Voit 2013)

3.3.3.3 Ungebundene und gebundene Tragschichten

Der Zentralgneis ist für die Verwendung als Korngemisch zur Herstellung von ungebundenen oder gebundenen Tragschichten unter Durchführung einfacher Aufbereitungsmaßnahmen durchaus geeignet. Für den Innsbrucker Quarzphyllit und den Bündnerschiefer sind die Aufbereitungsmaßnahmen wesentlich aufwändiger. (vgl. Voit 2013, S. 350)

Tabelle 9 zeigt die Aufbereitungsmaßnahmen zur Verwendung in Tragschichten.

Aufbereitungsart	Innsbrucker Quarzphyllit	Bündnerschiefer	Zentralgneis
Brechen (Größtkorn)	X	X	X
Runden grober Komponenten (bei Verwendung als ungebundene oder obere Tragschicht)	X	X	-
Entfernung Feinkorn (< 0,02 mm)	X	X	-
Ersatz kleiner Korngrößen (z.B.: < 2 mm)	X	X	-

Tabelle 9: Nutzbarmachung für gebundene oder ungebundene Tragschichten (vgl. Voit 2013)

3.3.3.4 Gesteinskörnung für Beton

Für die Verwertung als Gesteinskörnung für Beton hat das Material höchsten Anforderungen Folge zu leisten. Dementsprechend ist der aufbereitungstechnische Aufwand größer als für andere Verwendungszwecke. (vgl. Voit 2013, S. 352)

Tabelle 10 zeigt die Aufbereitungsmaßnahmen zur Verwendung als Gesteinskörnung für Beton.

Aufbereitungsart	Innsbrucker Quarzphyllit	Bündnerschiefer	Zentralgneis
Brechen (Kornfraktionen)	X	X	X
Klassieren	X	X	X
Entfernung Feinkorn (< 0,063 mm)	X	X	-
Ersatz kleiner Korngrößen (z.B.: < 2 mm)	X	X	-
Runden grober Komponenten	X	X	-
Waschen grober Komponenten	X	X	-

Tabelle 10: Nutzbarmachung für Gesteinskörnung von Beton (vgl. Voit 2013)

3.3.3.5 Zusammenfassung

Die möglichen Einsatzgebiete vor Ort sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Erklärung zu Tabelle 11: + ... gut einsetzbar
 O ... mit Beschränkungen einsetzbar
 - ... für einen Einsatz ungeeignet

Verwendungszweck	Innsbrucker Quarzphyllit	Bündnerschiefer		Zentralgneis
		Graphitischer Kalkschiefer	Kalkschiefer	
Schütt- und Füllmaterial	O	O	+	+
Dichtschicht	+	+	O	-
Tragschicht	Ungebunden	O	-	+
	Gebunden	+	O	+
Gesteinskörnung für Beton	XC1	+	+	+
	XC3	+	+	+
	XC3 / XF3	+	O	+
	XC4 / XF4	O	-	O

Tabelle 11: Potentielle Einsatzgebiete vor Ort (vgl. Voit 2013)

Die in Tabelle 11 angeführten Ergebnisse von Voit (2013) stellen eine übersichtliche Auflistung der möglichen Verwertungsszenarien von Tunnelausbruch des Brenner Basistunnels vor Ort dar. In erster Instanz erweckt die Darstellung den Eindruck, dass vor allem der Innsbrucker Quarzphyllit gut verwertbar ist. An dieser Stelle ist ausdrücklich auf eine kritische Betrachtung dieser Ergebnisse hinzuweisen. Es handelt sich dabei um Ergebnisse, welche sich im Zuge der betriebenen Forschungstätigkeiten Voits eingestellt

haben. Die tatsächliche Eignung wird sich erst im Rahmen von Aufbereitungsversuchen, welche aktuell (Dez. 2013) durchgeführt werden, herausstellen. Es ist durchaus wahrscheinlich, dass für die Verwertung als Betonzuschlag die Zuführung teurer chemischer Zusatzmittel vonnöten ist, was wiederum die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens in Frage stellen würde.

3.3.4 Weiterverarbeitung in Industriebetrieben

Da der Deponieanteil mit 50 % des Ausbruchvolumens (siehe Abbildung 16) noch immer eine beträchtliche Menge darstellt, empfiehlt es sich, einen möglichst großen Anteil in nahe gelegenen Industriebetrieben weiter zu verarbeiten. Die Unterteilung gebräuchlicher Industriemineralen in 11 Gruppen ist in Tabelle 12 aufgelistet.

Gruppe	Rohstoffe	
1	Tone	Kaolin Roherz, kaolinitischer Ton, feuerfeste Tone, Illit, Halloysit, Bentonit, Hormit, Ziegelton und -lehm, Blähton und -schiefer
2a	Karbonatgesteine	Kalkstein, Dolomitstein, Magnesit
2b	Sulfatgesteine	Calciumsulfate, Baryt, Coelestin
3	Quarzrohstoffe	Bergkristall, Gangquarz, Rhyolith, Quarzsand, Felsquarzit, Zementquarzit, Quarzsandstein, Quarzkies, Diatomit, Tripel, Kieselkreide, Hornstein, Chert, Lydit, Novaculit, Flint
4	Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge	Bims, Vulkanische Tuffgesteine, Perlit, Basalt, Ignimbrit
5	Feldspäte und andere Flussmittel	Feldspat und Feldspatgesteine, Foidgesteine, Fluorit, Wollastonit-Roherz, Aluminofluorid-Mineralen, Lithium-Mineralen, Bor-Mineralen
6	Aluminiumoxidreiche Rohstoffe	Roh-Alunit, Bauxit, Korund, Schmirgel, Sillimanit-Mineralen, Pyrophyllit-Roherz
7	Magnesiumoxidreiche Rohstoffe	Talk-Roherz, Olivin, Dunit, Asbest
8	Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze	Phosphat-Mineralen, Schwefel, Steinsalz und Kalisalze, Natriumcarbonat, Natriumsulfat, Magnesiumsalze
9	Glimmer	Muskovit, Paragonit, Sericit, Glaukonit, Biotit, Phlogopit, Vermiculit, Chlorit
10	Schwerminerale	Ilmenit, Rutil, Zirkon, Granat, Chromit
11	Beryllium-Mineralen, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineralen und Zeolithe	

Tabelle 12: Industriemineral-Gruppen (vgl. Lorenz und Gwosdz 1997 - 2000, 2003, 2005, Gwosdz et al 2006 und 2008, Elsner 2006)

Die Verwertungsszenarien der Tone (Gruppe 1) sind exemplarisch in Tabelle 13 und Tabelle 14 dargestellt. Die Einsatzmöglichkeiten der Gruppen 2 bis 11 würden hier den Rahmen sprengen und sind im Anhang (Kapitel 10.3) ersichtlich.

Tonmineral	Verwendungszweck	
Kaolin Roherz	Füllstoff, Extender, Adsorptionsmittel bei der Herstellung von Papier, Gummi- produkten, Kunststoffen, Farben, Lacken, Tinten, Insektiziden, Klebstoffen, mineralischen Düngern, Pharmazeutika, Kosmetika, Waschmitteln, Blei- und Buntstiften, Asbestprodukten, thermoplastischen Bedachungsmaterialien, Linoleum, Linoleumklebern, Textilien	
	Bindemittel bei der Herstellung von Schleifscheiben, Gießereiformen, Tierfutter, Schweißelektroden	
	Keramikrohstoff bei der Herstellung von Porzellan, Steingut, Steinzeug, Feuer- festkeramik, Elektroporzellan, Keramikmonolithen, keramischen Membranen, Katalysatoren, sonstiger technischer Keramik	
	Rohstoff für die Synthese von Aluminium, Al-Sulfat, Al-Phosphat, Zeolith, Legierungen, Glasfasern, Cordierit, Mullit, Bohrstützmittel	
	Papierbeschichtungen, Spezialzementherstellung	
Feuerfeste Tone	Eisen- und Stahlindustrie Zement- und Kalkindustrie Glasindustrie chemische Industrie Feuerfestindustrie	Auskleidungen von Öfen, Brennkammern, Leitungen
	Bindemittel für säurefeste Steine, feuerfeste Massen und Mörtel	
Kaolinitischer Ton	Feinkeramik	Steingut, Sanitärkeramik, Fliesen, Elektroporzellan
	Feuerfestkeramik	Bindeton, Schamotte
	Landwirtschaft	Bindeton in Futtermitteln
	Chemische Industrie	Füllstoff
Halloysit	<i>Siehe Kaolin und kaolinitische Tone; zusätzlich:</i> Trägerstoff für Insektizide, Energieeinsparung bei der Umwandlung in Mullit und Cristobalit, Betonanwendungen (Steigerung der Betonfestigkeit), Porzellan, Spezialkeramik, Cracking-Katalysator, Knochenporzellan	
Illit	Grobkeramik	Flussmittel in der Ziegelherstellung
	Feinkeramik	Flussmittel in der Steinzeugherstellung, günstige Ein- wirkungen auf Bildsamkeit und Trockenbiegefestig- keit
	Gießereien	Bindeton
	Deponien	Basisabschichtungen
	Papierindustrie	Füllstoff

Tabelle 13: Industrielle Einsatzmöglichkeiten von Tonmineralen, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)

Tonmineral		Verwendungszweck
Bentonit	Lebensmittelindustrie	Entfärbung, Reinigung von Margarine und Speiseöl
	Mineralölindustrie	Entfärbung, Reinigung, Schmierölzusatz
	Getränke, Brauereien	Soft- und Weinschönung, Bierstabilisierung
	Chemische Industrie	Katalysatoren, Trägerstoff für Insektizide, Füllstoff, Trockenmittel
	Umweltschutz	Ölbindemittel, Feuerlöschpulver, Wasserreinigung, Absorbens, für radioaktive Stoffe, chemische Reinigung, Reinigungsmittel, Flottenregenerierung, Seifen, Polier- und Pflegemittel
	Pharmazie und Kosmetik	Heilerden, Medikamente, Salben, Kosmetika
	Gießereiindustrie	Form- und Kernsandbinder, Binder für wasserfreie Formsande, Schlichte
	Bohrindustrie	Bohrspülung
	Bergbau- und Hüttenindustrie	Bindemittel für Erzpelletierung und -brikettierung
	Bauindustrie	Gleit- und Stützmittel im Tiefbau, Schlitzwände, Untergründinjektionen, Dammabdichtung
	Farben, Lacke, Anstriche	Kitte, Füllmassen, Antiabsetzmittel
Ziegelton und -lehm	Herstellung von Mauerziegeln, Schornsteinziegeln, Schall schluckenden Ziegeln, Deckenziegeln, Dachziegeln und -pfannen, Dränrohren, Kabelschutzhauben	
	Klinker für Kanalbau, Wasserbau, Tunnelbau, Straßenbau	
	Töpferton, Steinzeugton, Baulehm, Bodenverbesserer	
Blähton und -schiefer	Leichtbetonzuschlag	
	Herstellung von Betonsteinen, Betonfertigteilen, Schüttnbeton	
	Wärmeisolierung in Form von Isolierbeton, Isolierestrich	
	Landwirtschaft	Bodenauflockerung und -belüftung, Drainage, Pflanzen-Kultursubstrat
Hormit	Palygorskite und Sepiolith	Bleicherden, Ölbindemittel für mineralische und pflanzliche Öle
		Trägerstoff für Biozide, Filter-Hilfsmittel, Katalysator, Bohrspülung
	Palygorskite	Bodenstreuemittel, Trägerstoff für Biozide, Bohrspülung bei erhöhten Salzgehalten
	Sepiolith	Bleichmittel, Sorptive Granalien, Katzenstreu, Trägerstoff für Biozide, Dispergiermittel, Bohrspülung bei erhöhten Salzgehalten, Asbestersatz, Kosmetik, Geothermikbohrungen

Tabelle 14: Industrielle Einsatzmöglichkeiten von Tonmineralen, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)

3.4 Verwertung von Tunnelausbruch am Industriestandort Nordtirol

Das Bundesland Tirol ist eines von neun österreichischen Bundesländern und unterteilt sich in Nordtirol und Osttirol. Wie in Abbildung 17 ersichtlich sind Nord- und Osttirol geographisch nicht miteinander verbunden. Aufgrund der geographischen Nähe zum Brenner Basistunnel und dem Streben nach kurzen Transportwegen werden in Kapitel 3.4 ausschließlich Industriestandorte in Nordtirol angeführt.



Abbildung 17: Österreich und seine Bundesländer (Wikipedia 2014; verändert)

In Nordtirol sind zahlreiche Industriebetriebe angesiedelt. Die für das Großprojekt Brenner Basistunnel relevanten Industriebetriebe kommen aus folgenden Sparten:

- Abbau mineralischer Rohstoffe (Steinbrüche, Schottergruben)
- Aufbereitung mineralischer Rohstoffe
- Baustoffindustrie
- Stein- und Keramikindustrie
- Glasindustrie
- Stahl- und Eisenindustrie
- Nichteisenmetallindustrie
- Gießereiindustrie
- Chemische Industrie
- Pharmazie
- Kosmetische Industrie
- Farb- und Lackindustrie
- Papierindustrie

Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch die Industriestandorte in Nordtirol. Im Detail sind die Daten der Industriestandorte von der beigelegten CD-ROM (Digitaler Anhang) abrufbar. Der Brenner Basistunnel ist auf der Landkarte in grüner Farbe dargestellt. Bezugspunkt ist das Nordportal in Innsbruck, welches von drei Kreisen in 20 km Schritten umschrieben wird. Durch diese Darstellung kann der Transportweg zu umliegenden Industriebetrieben grob abgeschätzt werden.

Die in Nordtirol ansässigen Rohstoffgewinnungsbetriebe (Abbildung 18) beschäftigen sich mit der Gewinnung von Sand, Schotter, Kies und Rohstoffen für die Baustoffproduktion, wie Gips und Kalkstein.



Abbildung 18: Rohstoffgewinnungsbetriebe in Nordtirol, Stand Juni 2013

Der Gewinnung von Rohstoffen folgt die Aufbereitung und Veredelung in Aufbereitungsanlagen. Diese sind im Regelfall den Rohstoffgewinnungsbetrieben nachgeschaltet. Nach entsprechender Aufbereitung verarbeiten Baustoffproduzenten mineralische Rohstoffe zu verkaufsfertigen Baustoffen weiter. Die Baustoffproduzenten am Industriestandort Tirol sind in Abbildung 19 dargestellt.

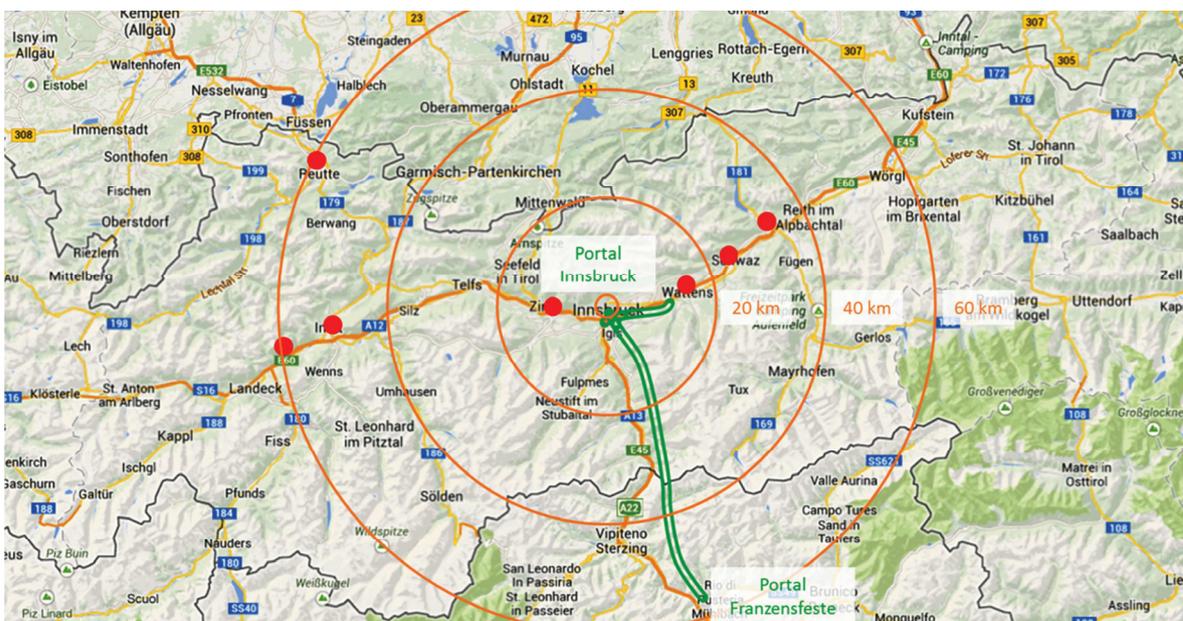


Abbildung 19: Baustoffproduzenten in Nordtirol, Stand Juni 2013

Mineralische Rohstoffe sind in der Metallindustrie unverzichtbar. Die Industriebetriebe der Stahl- und Eisenindustrie, der Nichteisenmetallindustrie und der Gießereiindustrie sind in Abbildung 20 dargestellt.

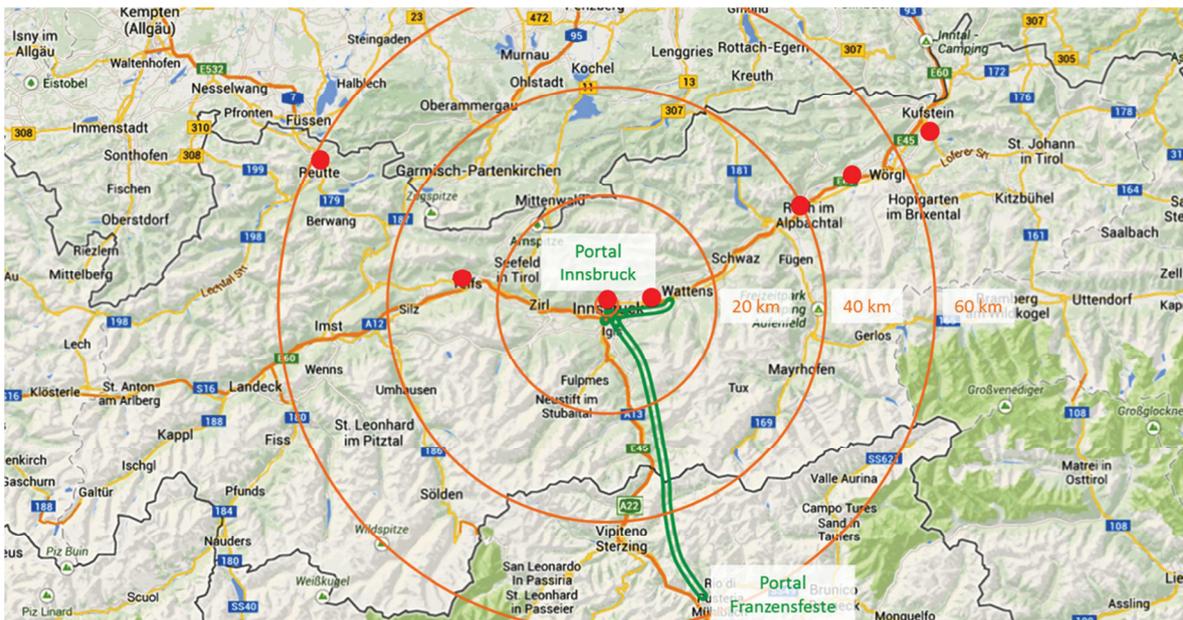


Abbildung 20: Metallerzeugende Betriebe in Nordtirol, Stand Juni 2013

Aufbereitete mineralische Rohstoffe finden auch in der keramischen Industrie, sowie in der Glas- und Schleifmittelindustrie Anwendung.

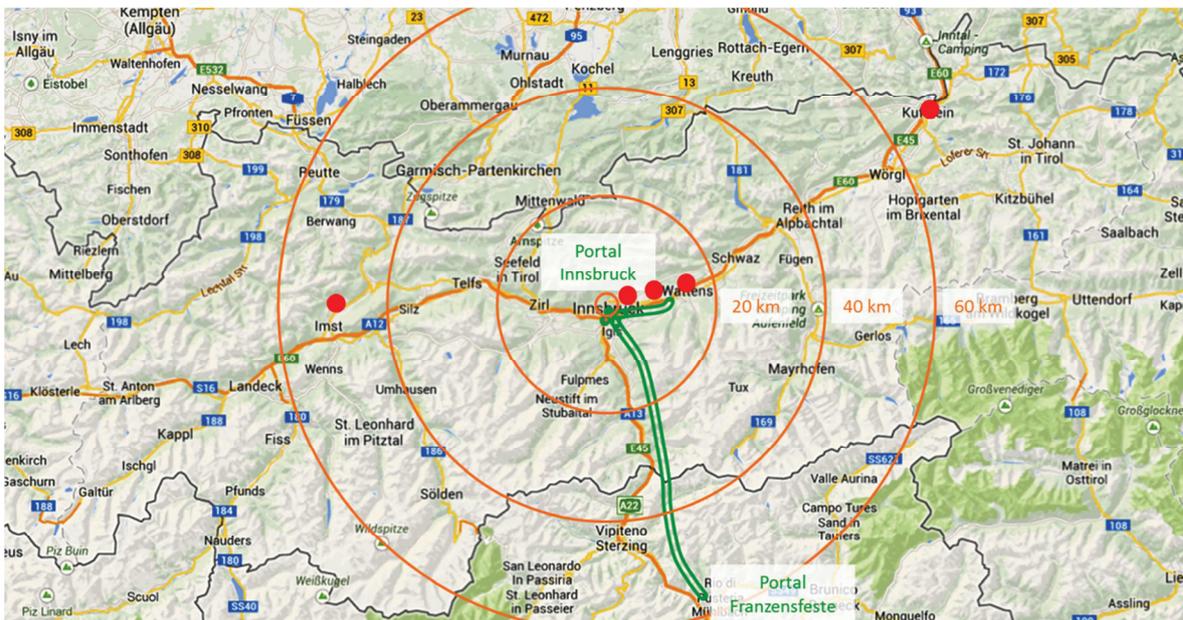


Abbildung 21: Keramik, Glas und Schleifmittel erzeugende Betriebe in Nordtirol, Stand Juni 2013

Abschließend werden in diesem Kapitel die Betriebe der chemischen Industrie mit den Sparten Kosmetika, Pharmazeutika, Farben und Lacke, Waschmittel und Chemikalien, sowie Papier erzeugende Betriebe dargestellt.

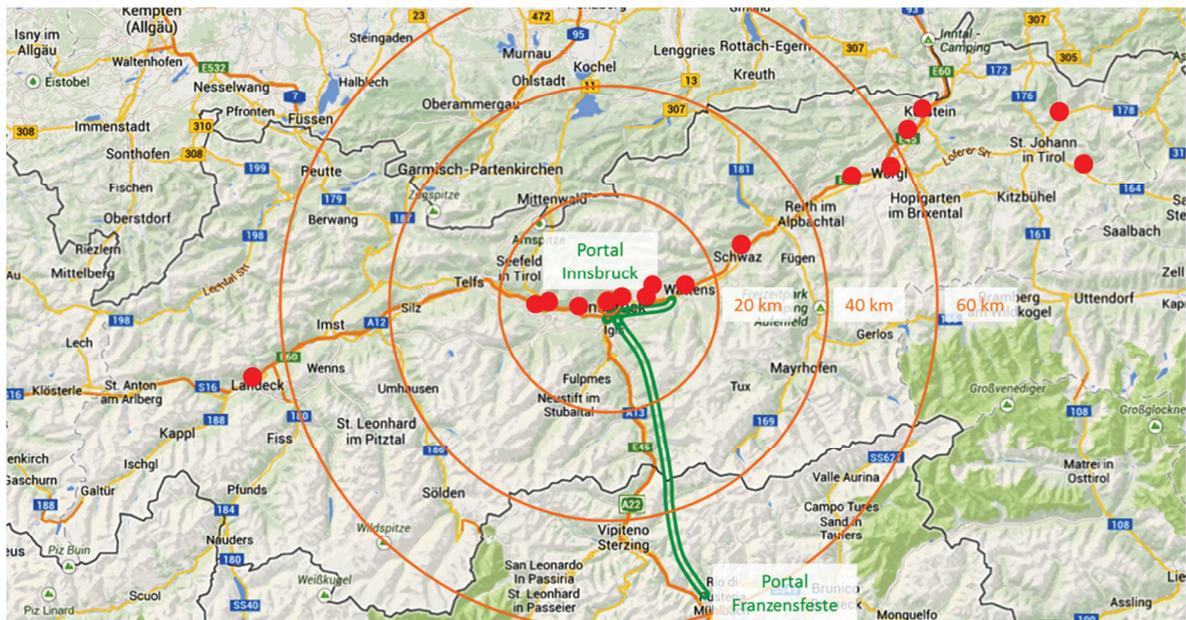


Abbildung 22: Betriebe der chemischen Industrie und der Papierindustrie in Nordtirol, Stand Juni 2013

4 Analyse und Auswertung

4.1 Vorgehensweise und Erläuterungen

4.1.1 Mineraltafeln

4.1.1.1 Allgemeines

Hauptbereich dieser Diplomarbeit war die Ausarbeitung übersichtlicher Mineraltafeln. Diese beinhalten eine gesamtheitliche tabellarische Darstellung sowohl der chemischen und mineralogischen Anforderungen, die von rohstoffgewinnenden und -verarbeitenden Industriebetrieben an Industriemineralagerstätten gestellt werden, als auch der potentiellen industriellen Einsatzbereiche der Industrieminerale und Erze.

Basis dieser Ausarbeitungen war die Literaturreihe „Bewertungskriterien für Industrieminerale, Steine und Erden, Geologisches Jahrbuch Reihe H“, die vom Autor dieser Diplomarbeit als wichtigstes Medium herangezogen wurde. Die Industrieminerale sind in elf Gruppen unterteilt und werden in diesem Kapitel näher erläutert. Ihre industriellen Einsatzgebiete werden in Kapitel 10.3 detailliert dargestellt.

4.1.1.2 Die Industrieminerale im Überblick

1 Tone

Die Tone weisen aufgrund der großen Variabilität in ihrer chemischen Zusammensetzung unterschiedliche Eigenschaften auf. Die Definitionen basieren auf der Korngröße, den Eigenschaften, der geologischen Entstehung und dem industriellen Verwendungszweck des Tonminerals. Meist wird Ton als Material mit einer Korngröße $< 2 \mu\text{m}$, oder ein erdiges, sowie sehr feinkörniges Mineral oder Mineralgemisch, das in Verbindung mit Wasser überwiegend plastisch reagiert, definiert. Tonminerale entstehen durch Alteration oder Verwitterung von Feldspäten, Pyroxenen oder Amphibolen, die der großen Gruppe der Silikate angehören. (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997, S. 13)

Die wirtschaftlich wichtigsten Tonminerale sind in der folgenden Auflistung angeführt:

- Kaolin und kaolinitische Tone
- Feuerfeste Tone (Fire clays, Flint clays)
- Halloysit
- Allophane
- Illit
- Smektite (Bentonit, Montmorillonit)
- Hormite (Palygorskit, Sepiolith)
- Ziegelton und -lehm
- Blähton und -schiefer (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997)

In Tabelle 15, Tabelle 16 und Tabelle 17 werden die Mineralbestandteile von Tonen exemplarisch mit ihrer chemischen Zusammensetzung und einer kurzen Mineralbeschreibung angeführt. Die Gemengebestandteile der Gruppen 2 bis 11 werden im Anhang unter Kapitel 10.2 näher erläutert.

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Ankerit $Ca(Fe^{2+}, Mg, Mn)(CO_3)_2$	ist ein häufig vorkommendes Karbonat. Es kristallisiert im trigonalen KS und entwickelt meist rhomboedrische Kristalle, aber auch körnige Aggregate in weißer, graubrauner oder braungelber Farbe. $H = 3,5 - 4$
Calcit $CaCO_3$	ist ein sehr häufig vorkommendes Karbonat. Es kristallisiert im trigonalen KS und entwickelt verschiedene Kristall- bzw. Aggregatformen, die entweder farblos oder von milchig weißer bis grauer, durch Verunreinigungen auch gelber, rosa, roter, blauer, grüner, brauner oder schwarzer Farbe sein können. $H = 3$
Chlorit $(Fe, Mg, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	zählt zu den Schichtsilikaten und weist eine vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung auf. Die Farbe variiert von grün bis grünschwarz, kann aber auch weiß, gelb, rot oder lila sein. $H = 2 - 3$
Cristobalit SiO_2	ist eine Hochtemperaturmodifikation von SiO_2 und kommt in der Natur eher selten vor. $H = 6,5$
Dolomit $CaMg[CO_3]_2$	ist ein sehr häufig vorkommendes Karbonat. Es kristallisiert trigonal und entwickelt vorwiegend rhomboedrische Kristalle oder massige Aggregate von weißgrauer bis hellbrauner Farbe. $H = 3,5 - 4$
Feldspat $(Ba, Ca, Na, K, NH_4)(Al, B, Si)_4O_8$	ist das am häufigsten vorkommende gesteinsbildende Mineral in der Erdkruste. Feldspäte kristallisieren im monoklinen oder triklinen KS und variieren in der Farbe von farblos über weiß, rosa, grün, blau bis braun. Die Feldspatgruppe verfügt über drei Endglieder (Albit, Anorthit, Orthoklas) und zwei Mischkristallreihen (Alkalifeldspäte und Plagioklase). $H = 6 - 6,5$

Tabelle 15: Gemengebestandteile der Tonminerale, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Gips $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$	ist ein sehr häufig vorkommendes wasserhaltiges Sulfat, das monoklin kristallisiert und tafelige, prismatische bis nadelige Kristalle, aber auch körnige bis massige Aggregate ausbildet. Gips ist farblos oder weiß, kann aber durch Verunreinigungen gelbliche, rötliche, graue oder braune Farbtöne annehmen. $H = 2$
Glimmer Allg.: $D G_{2,3} [T_4 O_{10}] X_2$ $D = K, Na, Ca, B, Rb, Cs, NH_4^+$ $G = Li, Mg, Fe^{2+}, Mn, Zn, Al, Fe^{3+}, Cr, V, Ti$ $T = Si, Al, Fe^{3+}, B, Be$ $X = OH, F, Cl, O^{2-}, S^{2-}$	bezeichnet eine Gruppe von Schichtsilikaten. Charakteristisch für Glimmer ist die perfekte Spaltbarkeit in einer Richtung. Ihre Farbe variiert von weiß bis braunschwarz und seltener grün oder rosa. $H = 2$ (parallel zu den Schichtebenen) $H = 4$ (alle anderen Richtungen)
Goethit $\alpha-Fe^{3+}O(OH)$	ist weit verbreitet und zählt zu den Oxiden und Hydroxiden. Es kristallisiert orthorhombisch und entwickelt meist nadelförmige oder prismatische Kristalle, aber auch traubige bis nierige Aggregate von schwarzbrauner bis hellgelber Farbe. $H = 5 - 5,5$
Illit $(K,H_3O)Al_2(Si_3Al)O_{10}(H_2O,OH)_2$	bezeichnet eine Serie von Tonmineralen. Es sind drei-schichtige Schichtsilikate, die den Glimmern strukturell sehr ähnlich sind und eine vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung aufweisen. $H = 1 - 2$
Kaolinit $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$	ist ein Schichtsilikat aus der Kaolinit-Serpentin-Gruppe und zählt zu den Zweischicht-Tonmineralen. Es kristallisiert triklin und bildet blättrige, schuppige, erdige oder massige Aggregate, sowie pseudo-hexagonale Kristalle in meist weißer Farbe. $H = 2 - 2,5$
Montmorillonit $(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	ist ein häufig vorkommendes Schichtsilikat und kristallisiert monoklin. Es entwickelt mikroskopisch kleine, nadelige Kristalle in weißer, gelblicher, rötlicher, bläulicher oder grünlicher Farbe. $H = 1,5 - 2$
Palygorskit $(Mg,Al)_2Si_4O_{10}(OH) \cdot 4H_2O$	ist ein wenig verbreitetes Schichtsilikat, das im monoklinen KS kristallisiert. Es bildet durchscheinende bis opake, meist nadelige Kristalle, aber auch faserige bis massige Aggregate in weißer, gräulicher bis gelblicher oder graugrüner Farbe. $H = 2 - 2,5$
Pyrit FeS_2	ist ein häufig vorkommendes Sulfid und kristallisiert im kubischen KS. Pyrit ist opak und bildet überwiegend idiomorphe Kristalle, welche starken Metallglanz aufweisen. Die Kristallflächen verfügen über eine charakteristische Streifung. $H = 6 - 6,5$
Quarz SiO_2	ist die unter Normalbedingungen stabile Form des Siliciumdioxids und nach Feldspat das häufigste Mineral der Erdkruste. Quarz zählt zu den Oxiden und kristallisiert im trigonalen KS. Er bildet Kristalle in großer Farben- und Formenvielfalt. $H = 7$
Saponit $(Ca_{1,2},Na)_{0,3}(Mg,Fe^{2+})_3(Si,Al)_4 O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$	ist ein selten vorkommendes Schichtsilikat und kristallisiert im monoklinen KS. Es bildet feinkörnige oder blättrige Aggregate und selten pseudo-hexagonale Kristalle, welche in weißer, gelber, grauer, blauer, grüner, rötlicher oder brauner Farbe auftreten. $H = 1 - 2$

Tabelle 16: Gemengebestandteile der Tonminerale, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Sepiolith $Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$	ist ein selten vorkommendes Schichtsilikat, das im orthorhombischen KS kristallisiert. Die Mineral-Aggregate treten in weißer, grauweißer bis gelblich weißer Farbe auf. $H = 2 - 2,5$
Sericit <i>Chemismus siehe Muskovit</i>	ist eine besonders feinschuppige Form des Muskovits. Er wird auch als feinschuppiger Hellglimmer bezeichnet.
Siderit $FeCO_3$	ist ein häufig vorkommendes Karbonat, das im trigonalen KS kristallisiert und vorwiegend spätige oder derbe Massen, sowie dichte, kugelige und traubenförmige Aggregate ausbildet. Selten treten rhomboedrische Kristalle auf. Es ist vorwiegend gelb, braun oder schwarz gefärbt. $H = 4 - 4,5$
Smektit <i>k. A.</i>	ist ein Mineralgemenge aus verschiedenen Phyllosilikaten. Man versteht darunter Dreischicht-Silikate mit Quellfähigkeit.

Tabelle 17: Gemengebestandteile der Tonminerale, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)

2a Karbonatgesteine

Karbonate bilden eine der wichtigsten gesteinsbildenden Mineralgruppen. Charakteristisch für Karbonate sind ihre $[CO_3]^{2-}$ -Komplexe. Ihre Systematik beruht auf den mit dem Komplex verbundenen Ionen.

Karbonatgesteine entstehen meist durch Sedimentation und sind überwiegend aus Karbonatmineralen aufgebaut (vgl. Wikipedia 2014). Die wirtschaftlich wichtigsten Karbonatgesteine sind in der folgenden Auflistung angeführt:

- Kalkstein
- Dolomitstein
- Magnesit (Spatmagnesit, Gelmagnesit) (vgl. Lorenz & Gwosdz 1998)

2b Sulfatgesteine

Sulfatgesteine sind Sedimentgesteine, welche überwiegend aus Sulfatmineralen aufgebaut sind und durch Evaporation entstehen. Die wirtschaftlich wichtigsten Sulfatgesteine sind in der folgenden Auflistung angeführt:

- Gips- und Anhydritstein
- Baryt
- Coelestin (vgl. Lorenz & Gwosdz 1998)

3 Quarzrohstoffe

Quarzrohstoffe sind natürliche mineralische Rohstoffe, welche in Sedimenten, Plutoniten und Vulkaniten sowie deren metamorphen Äquivalenten auftreten und über einen SiO_2 -Gehalt von mindestens 95 M.-% verfügen. Sande und Kiese, die als Bausande und -kiese

verwendet werden, zählen nicht zu den Quarzrohstoffen. (vgl. Lorenz & Gwosdz 1999, S. 13 und S. 33)

Die wirtschaftlich bedeutendsten Quarzrohstoffe sind in der folgenden Auflistung angeführt:

- Quarz, Cristobalit und Opal
- Quarzsand und -kies, Quarzsandstein und Quarzit
- Diatomit (Kieselgur)
- Tripel und Kieselkreide
- Hornstein (vgl. Lorenz & Gwosdz 1999)

Die Industrieminerale der Gruppe 3 setzen sich aus den in Tabelle 90 und Tabelle 91 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

Vulkanische Gesteine haben eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung, da sie in Industrieprozessen vielfältig einsetzbar sind. Leichtzuschläge verfügen über folgende Eigenschaften:

- niedrige Trockenrohichte und Schüttdichte
- niedrige Wärmeleitfähigkeit und damit hohe Wärmedämmfähigkeit
- gute akustische Isolierfähigkeit
- gute Feuerbeständigkeit

Aus praktischen Gründen erfolgt die Einteilung der wirtschaftlich bedeutenden vulkanischen Gesteine und Leichtzuschläge wie folgt:

- Bims, Bimsasche
- Vulkanische Aschen und Schlacken
- Vulkanische Tuffgesteine
- Perlit
- Basalt
- Ignimbrit (vgl. Lorenz & Gwosdz 2000. S. 15)

Die Industrieminerale der Gruppe 4 setzen sich aus den in Tabelle 92, Tabelle 93 und Tabelle 94 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

5 Feldspäte und andere Flussmittel

Die Feldspatgesteine umfassen alle Gesteine, deren Feldspatgehalt ausreichend hoch für eine wirtschaftliche Nutzung ist (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003, S. 15). Foidgesteine sind

Alumogerüstsilikate, die in einigen magmatischen Gesteinen an der Stelle von Quarz vorkommen und auch als Feldspatvertreter bezeichnet werden.

Die sehr verschiedenartigen Minerale und Gesteine dieser Gruppe werden in folgende Untergruppen unterteilt:

- Feldspat und Feldspatgesteine
- Foidgesteine
- Wollastonit
- Fluorit
- Kryolith
- Lithium-Minerale
- Bor-Minerale (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003, S. 15)

Die Industriemineralien der Gruppe 5 setzen sich aus den in Tabelle 95, Tabelle 96 und Tabelle 97 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

Die wirtschaftlich bedeutenden aluminiumoxidreichen Rohstoffe werden wie folgt unterteilt:

- Alunit
- Bauxit
- Korund und Schmirgel
- Sillimanit-Minerale (Disthen, Andalusit, Sillimanit)
- Pyrophyllit (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

Die Industriemineralien der Gruppe 6 setzen sich aus den in Tabelle 98 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

7 Magnesiumoxidreiche Rohstoffe

Die wirtschaftlich bedeutenden magnesiumoxidreichen Rohstoffe werden wie folgt unterteilt:

- Talk
- Olivin / Dunit
- Diopsid (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

Die Industriemineralien der Gruppe 7 setzen sich aus den in Tabelle 99 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

8 Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze

Phosphate, Schwefel und Salze sind für die Düngemittelindustrie von essentieller Bedeutung. In mineralischen Düngern tragen sie zur ausgewogenen Nährstoffversorgung von Pflanzen bei. Dies wirkt sich unmittelbar positiv auf den Stoffwechsel der Pflanzen aus. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind die im Gruppennamen genannten Minerale.

Die Industriemineralien der Gruppe 8 setzen sich aus den in Tabelle 100 und Tabelle 101 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

9 Glimmer

Bei den Glimmern wird zwischen der Muskovit-Gruppe (Hellglimmer) und der Biotit-Gruppe (Dunkelglimmer) unterschieden. Sie zählen zu den Phyllosilikaten und zeichnen sich durch eine charakteristische Dreischichtausbildung aus. Diese Ausbildung führt zu einer vollkommenen Spaltbarkeit nach (0001). (vgl. Gwosdz et al 2006, S. 116)

Aus praktischen Gründen unterteilen sich die Untergruppen wie folgt:

- Muskovit, Phlogopit, Sericit
- Vermiculit
- Glaukonit
- Chlorit (vgl. Gwosdz et al 2006)

Vermiculit und Chlorit zählen nicht zu den Glimmermineralen. Aufgrund ihrer ähnlichen Struktur und den damit verbundenen Eigenschaften werden sie jedoch dieser Gruppe beigelegt und in der Auswertung (Kapitel 4.3) wie ein Glimmermineral behandelt.

Die Industriemineralien der Gruppe 9 setzen sich aus den in Tabelle 102 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

10 Schwerminerale

Schwerminerale tragen ihren Namen aufgrund der Tatsache, dass sie eine höhere Dichte aufweisen als Quarz ($\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$), dem nach Feldspat zweithäufigstem gesteinsbildenden Mineral der Erde. Schwerminerale sind Bestandteile aller Sedimente und Sedimentgesteine. Aufgrund ihrer Eigenschaften sind jedoch nur wenige von wirtschaftlicher Bedeutung. (vgl. Elsner 2006, S. 15)

Die wirtschaftlich bedeutenden Schwerminerale sind in der folgenden Auflistung angeführt:

- Ilmenit und Leukoxen
- Rutil
- Zirkon
- Monazit und Xenotim
- Staurolith
- Granat
- Chromit
- Magnetit (vgl. Elsner 2006)

Die Industriemineralien der Gruppe 10 setzen sich aus den in Tabelle 103, Tabelle 104 und Tabelle 105 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

11 Beryllium-Mineralien, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineralien und Zeolithe

Die im Gruppennamen genannten Mineralien sind sowohl in wirtschaftlicher, als auch in technischer Hinsicht von großer Bedeutung. Die Industriemineralien dieser Gruppe setzen sich aus den in Tabelle 106 erläuterten Gemengebestandteilen zusammen.

4.1.1.3 Tabellarische Darstellung der Rohstoffanforderungen

Auf Basis der Literaturrecherche wurden die in Kapitel 4.1.1.1 angeführten Mineraltafeln erstellt. Diese entsprechen einer tabellarischen Darstellung der Rohstoffanforderungen an eine mögliche Abbauwürdigkeit des Vorkommens und enthalten die in Kapitel 4.1.1.2 angegebenen Industriemineral-Gruppen inklusive ihrer Mineralien und Erze. Die Anforderungen (Angaben in %) an eine chemische oder mineralogische Eigenschaft eines mineralischen Rohstoffes stellen die Minimal- und Maximalwerte, bzw. gegebenenfalls die Durchschnittswerte der Angaben einer Anzahl von weltweit verstreuten Industriemineral-lagerstätten dar. Beispielhaft werden an dieser Stelle die chemischen Anforderungen an Karbonatgesteine (Gruppe 2a) dargestellt.

	Kalkstein						
	hochrein	rein	Standard-qualität	niedrige Qualität	unrein	Steinbruch Micheldorf	Steinbruch Bad Häring
CaCO ₃	> 98,5	97,0 - 98,5	93,5 - 97,0	85,0 - 93,5	< 85,0	-	96,46
SiO ₂	-	-	-	-	-	5,64 - 11,37	1,33
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	1,03 - 3,13	0,66
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,62 - 1,28	0,24
CaO	-	-	-	-	-	43,44 - 49,26	-
MgO	-	-	-	-	-	1,66 - 3,30	2,13
K ₂ O	-	-	-	-	-	< 0,79	0,1
SO ₃	-	-	-	-	-	< 0,54	0,18
GV	-	-	-	-	-	-	43,65

Tabelle 18: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

Für den Kalkstein (Tabelle 18) sind in der Fachliteratur ausschließlich CaCO₃-Gehalte für die Qualitäten „unrein“ bis „hochrein“ angegeben. Da für eine gesamtheitliche Erfassung

auch die prozentuellen Anteile an Begleitbestandteilen interessant sind, wurden diese bei österreichischen Zementherstellern, welche den benötigten Kalkstein in betriebseigenen Steinbrüchen abbauen, eingeholt.

Ebenfalls zu den Karbonatgesteinen zählen Dolomitstein und Magnesit. Für den Magnesit wurden von einem renommierten Feuerfestproduzenten ebenfalls die an den betriebs-eigenen Steinbruch gestellten Anforderungen eingeholt. Von Betrieben eingeholte Daten sind in den jeweiligen Tabellen grün hinterlegt dargestellt (siehe Steinbruch Micheldorf und Steinbruch Bad Häring in Tabelle 18, sowie Steinbruch Weißenstein in Tabelle 19).

	Dolomitstein	Magnesit		
		Spatmagnesit	Gelmagnesit	Steinbruch Weißenstein
SiO ₂	< 3,1	< 6,0	0,16 - 5,4	< 0,5
Al ₂ O ₃	< 1,41	0,03 - 0,65	< 0,7	-
Fe ₂ O ₃	< 1,3	0,2 - 6,0	0,03 - 1,5	< 2,0
CaO	29,86 - 36,8	0,1 - 12,0	< 7,9	< 15,0
MgO	16,48 - 22,4	36,0 - 47,5	40,4 - 47,8	-
MnO	< 0,1	-	-	-
GV	43,6 - 48,0	48,0 - 52,0	46,5 - 52,1	-

Tabelle 19: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

Hinsichtlich mineralogischer Zusammensetzung werden im Folgenden beispielhaft die Anforderungen an Quarzrohstoffe (Gruppe 3) dargestellt. In der folgenden Auflistung sind sämtliche in der Literatur angegebenen Quarzrohstoffe ersichtlich:

- Bergkristall
- Gangquarz
- Rhyolith
- Quarzsand
- Felsquarzit
- Zementquarzit
- Quarzsandstein
- Quarzkies
- Diatomit
- Tripel
- Kieselkreide
- Hornstein
- Chert
- Lydit
- Novaculit (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

Die Angaben hinsichtlich der mineralogischen Zusammensetzung von Industriemineral-lagerstätten sind in der Fachliteratur deutlich eingeschränkter verfügbar, als dies hinsichtlich chemischer Zusammensetzung der Fall ist. Nur zu drei der 15 oben genannten

Quarzrohstoffe werden in der Literatur Angaben zu ihrer mineralogischen Zusammensetzung gemacht (siehe Tabelle 20). Grundlage dafür ist der Aspekt, dass z.B. der Bergkristall ein hochreines Quarzmineral ist und praktisch keine Begleitminerale aufweist. Die hohe Reinheit des Bergkristalles spiegelt sich auch in seiner chemischen Zusammensetzung wider (siehe Tabelle 60). Hingegen wird in Tabelle 20 aufgezeigt, dass z.B. der Diatomit ein Mineralgemenge ist und sich aus einer Reihe unterschiedlicher Minerale zusammensetzt. Dieser Aspekt ist auch für die Industriemineral-Gruppen 1 bis 2b und 4 bis 11 gültig.

	Rhyolith	Diatomit	Kieselkreide
Apatit	-	< 13,0	-
Calcit - Dolomit	-	< 46,0	-
Cristobalit	+	-	-
Feldspat	-	< 17,0	-
Gips	-	< 17,0	-
Halit	-	< 6,0	-
Kalifeldspat	~ 30,0	-	-
Plagioklas	8,0 - 18,0	46,0 - 55,0	-
Kaolinit	+	-	4,3 - 21,6
Muskovit-Illit	-	< 10,0	-
Opal	-	26,0 - 98,0	-
Pyrit	-	< 12,0	-
Quarz	36,0 - 41,0	< 28,0	78,4 - 95,7
Tonminerale	15,0 - 20,0	< 50,0	-
Sonstige	< 1,0	< 28,0	-

Tabelle 20: Mineralogische Zusammensetzung Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

Die chemischen Anforderungen der Gruppen 1 und 2b bis 11 sind ebenso wie die mineralogischen Anforderungen der Gruppen 1 und 4 bis 11 im Anhang detailliert angeführt (siehe Kapitel 10.1.1 und Kapitel 10.1.2).

4.1.2 Abnehmerbetriebe

Da es sich bei Tunnelausbruchmaterial um hochwertigen mineralischen Rohstoff handelt, werden als Abnehmerbetriebe solche definiert, deren Kompetenzen im Abbau und in der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe liegen. Die Abnehmerbetriebe verarbeiten das Ausbruchmaterial zu Produkten, welche z.B. als Gesteinsschüttung direkt im Baugewerbe verwendbar sind, oder zu Zwischenprodukten, welche in anderen Industriesparten zur Herstellung ihrer Fertigprodukte benötigt werden. Dieses Prinzip wird in Abbildung 23 schematisch dargestellt.

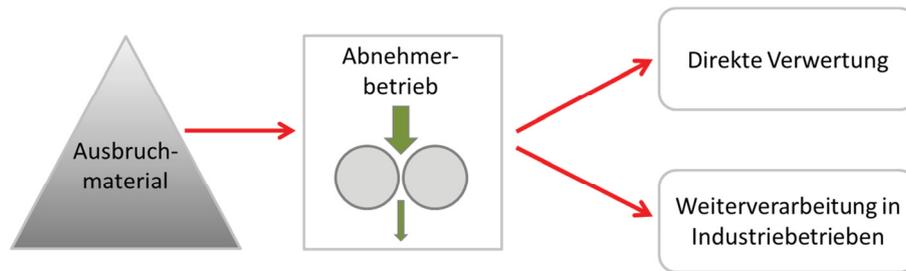


Abbildung 23: Flusschema

4.1.3 Auswerteprinzip

4.1.3.1 Begründung

Die Auswertung erfolgte durch Vergleich der Gesteinsparameter (Angaben in %) der am Brenner Basistunnel auftretenden Hauptgesteinsarten und den in der Fachliteratur („Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Geologisches Jahrbuch Reihe H“) angegebenen Vorgaben potentieller Abnehmerbetriebe.

An dieser Stelle ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass sich die Auswertung ausschließlich auf die chemische und mineralogische Zusammensetzung von Mineralen und Erzen bezieht und die metamorphen Gesteine vom Nordabschnitt des Brenner Basistunnels bewusst *allen* Industriemineral-Gruppen gegenübergestellt werden. Faktoren wie Entstehung, Mineralisation und Verwachsung, sowie die in Kapitel 3.1 genannten geotechnischen Parameter, werden bewusst außer Acht gelassen. Die am Nordabschnitt des Brenner Basistunnels auftretenden Hauptgesteinsarten zählen zu den metamorphen Gesteinen, während beispielsweise die vulkanischen Gesteine ihren Ursprung in erstarrtem Magma haben und Tone durch Verwitterung von Mineralen entstehen.

Eine detaillierte Abarbeitung unter Berücksichtigung der genannten Faktoren würde den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen. Außerdem soll mit dieser Vorgehensweise ein Pool von eventuellen industriellen Einsatzgebieten der am Nordabschnitt des Brenner Basistunnels auftretenden Hauptgesteinsarten aufgezeigt werden, welcher als Grundlage für künftige Forschungstätigkeiten dienen soll.

4.1.3.2 Vorgehensweise

Die Vorgaben der Abnehmerbetriebe entsprechen chemischen und mineralogischen Zusammensetzungen, welche die Abbauwürdigkeit eines Rohstoffes definieren und typische Lagerstättegehalte in Prozent angeben. Genügt ein untersuchtes Gesteinsmaterial den gegenübergestellten Vorgaben, so ist die technische Zuführung dieses Gesteins zu einem rohstoffgewinnenden oder -verarbeitenden Betrieb in erster Abschätzung nicht ausgeschlossen und eines von zahlreichen Kriterien, welche für eine Eignung ausschlaggebend sind, erfüllt.

Untersucht wurden chemische und mineralogische Gesteinsparameter der drei Hauptgesteinsarten. Die Gesteinsparameter wurden durch Bildung des arithmetischen Mittels

einer vorliegenden Anzahl an Stichproben gebildet. Die Auswertungen werden tabellarisch in den Kapiteln 4.2 und 4.3 dargestellt. In der jeweils letzten Zeile der Auswertetabellen wird eine Übereinstimmung zwischen analysierten Gesteinsparametern und Vorgabe entsprechend Formel 2 in Tabelle 21 angeführt. Hierbei werden die Elemente / Verbindungen / Minerale des Ausbruchmaterials mit den chemischen und mineralogischen Rohstoffanforderungen verglichen. Jene Elemente / Verbindungen / Minerale, welche nur auf Seite des Ausbruchmaterials vorliegen und im Anforderungskatalog nicht dezidiert aufscheinen, werden zu einem Restanteil summiert und in die Auswerteformel nicht miteinberechnet.

Die Auswertung in den Kapiteln 4.2 und 4.3 umfasst ausschließlich Übereinstimmungen von mindestens 60 % entsprechend Formel 2 in Tabelle 21. Ferner wird in Tabelle 21 die Bildung des arithmetischen Mittelwertes und die in der Auswertung verwendete Bandbreite erläutert.

Formel	Bezeichnung
$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$	Formel 1: Arithmetischer Mittelwert
$U = \frac{\sum_{i=1}^n [j_i + 0,5 * (j)_i]}{\sum_{i=1}^n [j_i + 1,0 * (j)_i + n_i]}$	Formel 2: Bewertung der Übereinstimmung (Erläuterungen siehe Tabelle 22)
$B = 0,2 * (G_o - G_u)$	Formel 3: Bandbreite

Tabelle 21: Verwendete Formeln

Die in Tabelle 21 erläuterte Bandbreite wird jeweils unmittelbar oberhalb des oberen Grenzwertes und unterhalb des unteren Grenzwertes angefügt. Der Faktor 0,2 in Formel 3 (Bandbreite) entspricht einer Annahme und wurde vom Autor im Zuge der Literaturrecherche und unter näherer Betrachtung der jeweiligen Rohstoffanforderungen als sinnvoll erachtet. Idealerweise liegt der analysierte Wert im grünen Bereich (Abbildung 24), welcher der Vorgabe von Industriebetrieben entspricht. Der gelbe Bereich entspricht der oben genannten Bandbreite. Der rote Bereich gibt an, dass die untersuchte Eigenschaft den Anforderungen nicht genügt.

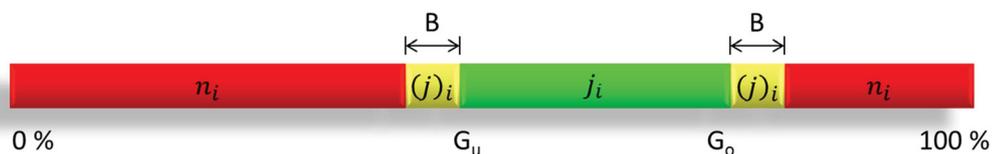


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Auswertepinzips

In der folgenden Tabelle werden die Formeln in Tabelle 21 und die Zeichen in Abbildung 24 näher erläutert.

Zeichen	Erläuterung	
\bar{x}	Arithmetischer Mittelwert	
U	Übereinstimmung	
B	Bandbreite	
G_o	Oberer Grenzwert	0 % ≤ G_u ≤ G_o ≤ 100 %
G_u	Unterer Grenzwert	
j_i	Analysewert liegt im Bereich der Vorgabe (grüner Bereich) <i>In Formel 2 (Bewertung der Übereinstimmung) wird der Analysewert mit dem Faktor 1,0 gewertet.</i>	
$(j)_i$	Analysewert liegt außerhalb der der Vorgabe, jedoch innerhalb der Bandbreite (gelber Bereich) <i>In Formel 2 (Bewertung der Übereinstimmung) wird ein konservativer Ansatz verfolgt. Der Analysewert wird im Zähler mit 0,5 und im Nenner mit 1,0 gewertet. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Ergebnisse hinsichtlich Übereinstimmung nicht optimistischer dargestellt werden, als sie tatsächlich sind.</i>	
n_i	Analysewert liegt außerhalb der Vorgabe und außerhalb der oberen und unteren Bandbreite (roter Bereich)	

Tabelle 22: Erläuterungen zu den verwendeten Formeln

Die Auswertetabellen in den Kapiteln 4.2 und 4.3 beinhalten neben Zahlen auch die folgenden Zeichen:

Zeichen	Erläuterung
x	Geringer Anteil
xx	Mittlerer Anteil
xxx	Hoher Anteil
+	Element / Verbindung / Mineral vorhanden
-	Element / Verbindung / Mineral nicht vorhanden

Tabelle 23: Erläuterungen zu den Auswertetabellen

Im Detail sind die Auswertedaten von der beigelegten CD-ROM (Digitaler Anhang) abrufbar.

4.2 Elementare Zusammensetzung

4.2.1 Allgemeines

Die elementare Zusammensetzung der analysierten Gesteinsmaterialien wurde qualitativ und quantitativ mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt. Die Beprobung erfolgte mit einem Röntgenfluoreszenz-Spektrometer der Firma PANalytical der X'Pert Powder-Serie (vgl. Voit 2013, S. 154).

Das Gesteinsmaterial für die Proben des Innsbrucker Quarzphyllits wurde im Zufahrtstunnel Ahrental aus den Stationen m 1561,20, m 1988,40 und m 2143,40 jeweils nach Ausbruch durch Sprengvortrieb entnommen. Für die Beprobung des Bündnerschiefers wurde Material aus dem Erkundungsstollen Wolf 1 ebenfalls nach Ausbruch durch Sprengvortrieb entnommen. Ferner wurde der Deponie des Tunnels Padastertal eine zweite Probe des Bündnerschiefer-Materials entnommen. Im Gegensatz zum Innsbrucker Quarzphyllit und zum Bündnerschiefer erfolgte die Entnahme des Zentralgneises aus dem Steinbruch Franz Auer in 6156 Gries am Brenner als bereits gebrochenes und auf die Fraktion 8/16 abgesiebt Material. (vgl. Voit 2013, S. 147f)

Im Zuge der Analyse wurde festgestellt, dass sich die Gesteine des Innsbrucker Quarzphyllits als recht homogen erweisen und hauptsächlich aus Quarzphylliten bestehen. Das Probematerial des Zentralgneises setzt sich vorwiegend aus Gneis und Granitgneis zusammen und ist ebenfalls recht homogen. Im Unterschied dazu zeigen sich die Gesteine des Bündnerschiefers deutlich variabler. (vgl. Voit 2013, S. 148)

Wie oben beschrieben wurde keine der genannten Proben direkt aus dem Haupttunnel, sondern im Zuge der Vorerkundung und im Fall des Zentralgneises von einem Steinbruch oberhalb der Tunneltrasse entnommen. Die Entnahmeorte befinden sich in relativer Nähe zur Tunnelachse. Aufgrund dieser Tatsache werden die Angaben in Tabelle 24, Tabelle 29 und Tabelle 33 als Richtwerte angesehen, welche die chemischen Zusammensetzungen des in den Haupttunnelröhren auftretenden Gesteinsmaterials mit hoher Wahrscheinlichkeit realitätsgetreu widerspiegeln.

Die hohen SiO₂-Gehalte im Innsbrucker Quarzphyllit (siehe Tabelle 24) und im Zentralgneis (siehe Tabelle 33) deuten darauf hin, dass diese Gesteine einen höheren Quarzgehalt als der Bündnerschiefer aufweisen und somit auch über höhere Festigkeits- und Abrasivitätseigenschaften verfügen (vgl. Voit 2013, S. 154).

4.2.2 Innsbrucker Quarzphyllit

4.2.2.1 Eingabeparameter

Für den Innsbrucker Quarzphyllit wurden die in Tabelle 24 angegebenen RFA-Daten ermittelt.

Komponente	Innsbrucker Quarzphyllit
SiO ₂	51,26
TiO ₂	1,18
Al ₂ O ₃	17,53
Fe ₂ O ₃	8,62
Mn ₃ O ₄	0,11
MgO	4,23
CaO	4,86
Na ₂ O	1,90
K ₂ O	3,24
P ₂ O ₅	0,23
SO ₃	0,78
V ₂ O ₅	0,03
Cr ₂ O ₃	0,02
SrO	0,02
ZrO ₂	0,07
BaO	0,11
NiO	0,01
ZnO	0,02
PbO	0,02
HfO ₂	0,01
Glühverlust	5,84

Tabelle 24: RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit (vgl. Voit 2013)

4.2.2.2 Auswertung

Komponente	Innsbrucker Quarzphyllit	Quarz- rohstoffe	Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge		
		Diatomit	Vulkanische Tuffgesteine	Bims	Vulkanische Gesteine allgemein
SiO ₂	51,26	38,6 – 93,8	40,0 – 74,0	51,2 – 76,0	40,6 – 72,8
TiO ₂	1,18	< 1,0	< 3,0	< 1,2	0,3 – 2,7
Al ₂ O ₃	17,53	0,3 – 21,9	10,9 – 30,0	10,5 – 23,5	13,3 – 19,0
Fe ₂ O ₃	8,62	< 9,9	1,2 – 25,0	< 7,1	1,5 – 5,5
Mn ₃ O ₄	0,11	-	-	-	-
MgO	4,23	< 6,5	0,5 – 8,5	< 4,0	0,4 – 8,5
CaO	4,86	< 17,7	1,0 – 12,5	0,2 – 9,2	1,1 – 11,9
Na ₂ O	1,90	< 8,2	0,3 – 12,0	1,2 – 11,7	2,9 – 7,8
K ₂ O	3,24	< 2,1	0,1 – 9,0	0,1 – 7,0	1,1 – 5,2
P ₂ O ₅	0,23	< 5,5	-	< 0,7	0,1 – 1,1
SO ₃	0,78	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,03	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-	-
SrO	0,02	-	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-
BaO	0,11	-	-	-	-
NiO	0,01	-	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-
Glühverlust	5,84	0,5 – 47,0	1,5 – 19,1	0,1 – 13,8	-
S	-	< 6,2	-	-	-
MnO	-	-	< 0,2	< 0,7	0,1 – 0,3
CO ₂	-	-	-	-	< 0,6
Org.	-	< 26,0	-	-	-
Bilanz	+	10	10	9	8
	O	1	0	1	1
	-	1	0	1	2
	Auswertung	87,5 %	100,0 %	86,4 %	77,3 %

Tabelle 25: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppen 3 und 4

Komponente	Innsbrucker Quarzphyllit	Feldspäte und andere Flussmittel		
		Feldspat und Feldspatgesteine	Wollastonit- Roherz	Nephelinsyenit
SiO ₂	51,26	46,6 – 88,4	32,0 – 57,0	47,1 – 64,7
TiO ₂	1,18	< 1,5	-	< 1,2
Al ₂ O ₃	17,53	6,5 – 33,3	< 9,2	17,3 – 27,6
Fe ₂ O ₃	8,62	< 4,4	32,0 – 57,0	0,1 – 6,4
Mn ₃ O ₄	0,11	-	-	-
MgO	4,23	< 3,3	< 4,6	< 1,8
CaO	4,86	< 16,9	31,6 – 51,3	0,1 – 6,3
Na ₂ O	1,90	0,2 – 15,1	-	6,2 – 14,7
K ₂ O	3,24	0,1 – 14,9	-	2,4 – 8,4
P ₂ O ₅	0,23	< 0,9	-	< 0,3
SO ₃	0,78	-	-	-
V ₂ O ₅	0,03	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-
SrO	0,02	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-
BaO	0,11	-	-	-
NiO	0,01	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-
Glühverlust	5,84	< 4,5	0,4 – 18,7	0,1 – 2,9
MnO	-	< 0,9	-	< 0,4
Bilanz	+	8	4	7
	O	0	0	0
	-	3	2	4
	Auswertung	72,7 %	66,7 %	63,6 %

Tabelle 26: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppe 5

Komponente	Innsbrucker Quarzphyllit	Aluminiumoxidreiche Rohstoffe		Beryllium-Mineralerale u.a.	
		Karst-Bauxit	Pyrophyllit- Roherz	Farberden	Zeolithe
SiO ₂	51,26	0,3 – 47,0	42,7 – 81,9	< 97,1	49,6 – 69,5
TiO ₂	1,18	0,5 – 9,0	< 2,8	0,1 – 1,3	< 0,3
Al ₂ O ₃	17,53	13,6 – 80,7	12,7 – 43,5	< 21,7	9,9 – 19,0
Fe ₂ O ₃	8,62	0,3 – 58,4	< 6,5	0,2 – 95,0	0,1 – 1,9
Mn ₃ O ₄	0,11	-	-	-	-
MgO	4,23	-	< 2,2	< 8,0	0,1 – 0,7
CaO	4,86	-	< 2,8	< 8,0	0,7 – 5,7
Na ₂ O	1,90	-	< 3,9	< 0,3	0,2 – 4,8
K ₂ O	3,24	-	< 8,7	< 2,2	1,8 – 9,4
P ₂ O ₅	0,23	-	-	< 0,1	-
SO ₃	0,78	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,03	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-	-
SrO	0,02	-	-	-	< 0,6
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-
BaO	0,11	-	-	< 0,2	0,1 – 1,0
NiO	0,01	-	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-
Glühverlust	5,84	6,0 – 30,1	2,4 – 11,2	2,9 – 9,8	15,2 – 20,9
FeO	-	-	-	< 2,0	-
MnO	-	-	-	0,1 – 17,1	< 0,2
Cl	-	-	-	~ 1,8	-
MnO ₂	-	-	-	5,0 – 20,0	-
Bilanz	+	3	6	8	8
	O	2	0	1	0
	-	0	3	5	4
	Auswertung	80,0 %	66,7 %	60,7 %	66,7 %

Tabelle 27: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppen 6 und 11

Komponente	Innsbrucker Quarzphyllit	Glimmer		
		Muskovit-Gruppe		Vermiculit
		Glaukonit	Sericit-Erze	
SiO ₂	51,26	30,0 – 77,8	41,2 – 81,5	35,9 – 45,6
TiO ₂	1,18	< 1,0	0,1 – 0,9	0,1 – 2,1
Al ₂ O ₃	17,53	4,3 – 16,2	12,4 – 39,9	8,3 – 17,3
Fe ₂ O ₃	8,62	3,5 – 28,1	0,1 – 2,0	1,4 – 13,0
Mn ₃ O ₄	0,11	-	-	-
MgO	4,23	< 6,9	< 9,6	18,3 – 29,7
CaO	4,86	< 16,0	< 0,7	0,5 – 6,9
Na ₂ O	1,90	< 11,4	< 9,7	0,1 – 0,8
K ₂ O	3,24	0,8 – 9,6		< 7,8
P ₂ O ₅	0,23	0,1 – 3,3	-	-
SO ₃	0,78	-	-	-
V ₂ O ₅	0,03	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-
SrO	0,02	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-
BaO	0,11	-	-	-
NiO	0,01	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-
Glühverlust	5,84	2,3 – 12,3	1,7 – 5,6	5,3 – 22,1
FeO	-	0,6 – 7,1	~ 0,1	0,1 – 2,0
S	-	-	< 0,005	-
P	-	-	< 0,014	-
Bilanz	+	8	7	5
	O	1	1	1
	-	1	3	3
	Auswertung	85,0 %	68,2 %	61,1 %

Tabelle 28: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppe 9

4.2.3 Bündnerschiefer

4.2.3.1 Eingabeparameter

Für den Bündnerschiefer wurden die in Tabelle 29 angegebenen RFA-Daten ermittelt.

Komponente	Bündnerschiefer
SiO ₂	49,04
TiO ₂	0,73
Al ₂ O ₃	14,99
Fe ₂ O ₃	5,60
Mn ₃ O ₄	0,08
MgO	3,26
CaO	9,82
Na ₂ O	0,96
K ₂ O	3,41
P ₂ O ₅	0,13
SO ₃	0,85
V ₂ O ₅	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02
SrO	0,03
ZrO ₂	0,07
BaO	0,06
NiO	0,01
ZnO	0,02
PbO	0,02
HfO ₂	0,01
Glühverlust	11,21

Tabelle 29: RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer (vgl. Voit 2013)

4.2.3.2 Auswertung

Komponente	Bündnerschiefer	Quarzrohstoffe	Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge		
		Diatomit	Vulkanische Tuffgesteine	Bims	Vulkanische Gesteine allgemein
SiO ₂	49,04	38,6 – 93,8	40,0 – 74,0	51,2 – 76,0	40,6 – 72,8
TiO ₂	0,73	< 1,0	< 3,0	< 1,2	0,3 – 2,7
Al ₂ O ₃	14,99	0,3 – 21,9	10,9 – 30,0	10,5 – 23,5	13,3 – 19,0
Fe ₂ O ₃	5,60	< 9,9	1,2 – 25,0	< 7,1	1,5 – 5,5
Mn ₃ O ₄	0,08	-	-	-	-
MgO	3,26	< 6,5	0,5 – 8,5	< 4,0	0,4 – 8,5
CaO	9,82	< 17,7	1,0 – 12,5	0,2 – 9,2	1,1 – 11,9
Na ₂ O	0,96	< 8,2	0,3 – 12,0	1,2 – 11,7	2,9 – 7,8
K ₂ O	3,41	< 2,1	0,1 – 9,0	0,1 – 7,0	1,1 – 5,2
P ₂ O ₅	0,13	< 5,5	-	< 0,7	0,1 – 1,1
SO ₃	0,85	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,02	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-	-
SrO	0,03	-	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-
BaO	0,06	-	-	-	-
NiO	0,01	-	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-
Glühverlust	11,21	0,5 – 47,0	1,5 – 19,1	0,1 – 13,8	-
S	-	< 6,2	-	-	-
Org.	-	< 26,0	-	-	-
MnO	-	-	< 0,2	< 0,7	0,1 – 0,3
CO ₂	-	-	-	-	< 0,6
Bilanz	+	11	10	8	7
	O	0	0	3	2
	-	1	0	0	2
	Auswertung	91,7 %	100,0 %	86,4 %	72,7 %

Tabelle 30: Vergleich RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppen 3 und 4

Komponente	Bündnerschiefer	Feldspäte und andere Flussmittel		Glimmer	
		Feldspat und Feldspat- gesteine	Wollastonit- Roherz	Muskovit-Gruppe	
				Glaukonit	Sericit-Erze
SiO ₂	49,04	46,6 – 88,4	32,0 – 57,0	30,0 – 77,8	41,2 – 81,5
TiO ₂	0,73	< 1,5	-	< 1,0	0,1 – 0,9
Al ₂ O ₃	14,99	6,5 – 33,3	< 9,2	4,3 – 16,2	12,4 – 39,9
Fe ₂ O ₃	5,60	< 4,4	32,0 – 57,0	3,5 – 28,1	0,1 – 2,0
Mn ₃ O ₄	0,08	-	-	-	-
MgO	3,26	< 3,3	< 4,6	< 6,9	< 9,6
CaO	9,82	< 16,9	31,6 – 51,3	< 16,0	< 0,7
Na ₂ O	0,96	0,2 – 15,1	-	< 11,4	< 9,7
K ₂ O	3,41	0,1 – 14,9	-	0,8 – 9,6	-
P ₂ O ₅	0,13	< 0,9	-	0,1 – 3,3	-
SO ₃	0,85	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,02	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-	-
SrO	0,03	-	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-
BaO	0,06	-	-	-	-
NiO	0,01	-	-	-	-
CuO	0	-	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-
Glühverlust	11,21	< 4,5	0,4 – 18,7	2,3 – 12,3	1,7 – 5,6
MnO	-	< 0,9	-	-	-
FeO	-	-	-	-	~ 0,1
S	-	-	-	-	< 0,005
P	-	-	-	-	< 0,014
Bilanz	+	9	4	10	8
	O	0	0	0	0
	-	2	2	0	3
	Auswertung	81,8 %	66,7 %	100,0 %	72,7 %

Tabelle 31: Vergleich RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppen 5 und 9

Komponente	Bündnerschiefer	Aluminiumoxidreiche Rohstoffe				
		Karst-Bauxit	Pyrophyllit-Roherz	Laterit-Bauxit	Sillimanit-Mineraie	
					Disthen-Roherz	Andalusit-Roherz
SiO ₂	49,04	0,3 – 47,0	42,7 – 81,9	0,1 – 37,0	20,4 – 80,0	31,3 – 65,4
TiO ₂	0,73	0,5 – 9,0	< 2,8	0,2 – 23,0	< 5,3	0,2 – 2,8
Al ₂ O ₃	14,99	13,6 – 80,7	12,7 – 43,5	20,0 – 74,0	13,2 – 77,5	19,0 – 60,5
Fe ₂ O ₃	5,60	0,3 – 58,4	< 6,5	0,5 – 64,0	< 5,8	< 7,9
Mn ₃ O ₄	0,08	-	-	-	-	-
MgO	3,26	-	< 2,2	-	< 1,4	0,3 – 2,2
CaO	9,82	-	< 2,8	-	< 3,1	< 3,3
Na ₂ O	0,96	-	< 3,9	-	< 1,1	0,2 – 2,0 0,8 – 5,0 < 7,4
K ₂ O	3,41	-	< 8,7	-	< 1,1	
P ₂ O ₅	0,13	-	-	-	-	-
SO ₃	0,85	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,02	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-	-	-	-
SrO	0,03	-	-	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-	-
BaO	0,06	-	-	-	-	-
NiO	0,01	-	-	-	-	-
CuO	0	-	-	-	-	-
ZnO	0,02	-	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-	-
Glühverlust	11,21	6,0 – 30,1	2,4 – 11,2	11,0 – 33,0	0,2 – 3,2	2,6 – 3,4
Bilanz	+	4	6	3	6	5
	O	1	1	1	0	1
	-	0	2	1	3	3
	Auswertung	90,0 %	72,2 %	70,0 %	66,7 %	61,1 %

Tabelle 32: Vergleich RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppe 6

4.2.4 Zentralgneis

4.2.4.1 Eingabeparameter

Für den Zentralgneis wurden die in Tabelle 33 angegebenen RFA-Daten ermittelt.

Komponente	Zentralgneis
SiO ₂	67,89
TiO ₂	0,44
Al ₂ O ₃	14,93
Fe ₂ O ₃	2,88
Mn ₃ O ₄	0,07
MgO	1,30
CaO	2,87
Na ₂ O	3,68
K ₂ O	4,08
P ₂ O ₅	0,21
SO ₃	0,05
V ₂ O ₅	0,01
Cr ₂ O ₃	0,01
SrO	0,06
ZrO ₂	0,07
BaO	0,13
ZnO	0,01
PbO	0,02
HfO ₂	0,01
Glühverlust	1,38

Tabelle 33: RFA-Ergebnisse Zentralgneis (vgl. Voit 2013)

4.2.4.2 Auswertung

Komponente	Zentralgneis	Quarzrohstoffe	Feldspäte und andere Flussmittel		
		Diatomit	Feldspat und Feldspatgesteine	Foidgestein	
				Nephelinsyenit	Phonolith
SiO ₂	67,89	38,6 – 93,8	46,6 – 88,4	47,1 – 64,7	48,2 – 61,5
TiO ₂	0,44	< 1,0	< 1,5	< 1,2	< 0,6
Al ₂ O ₃	14,93	0,3 – 21,9	6,5 – 33,3	17,3 – 27,6	17,4 – 24,0
Fe ₂ O ₃	2,88	< 9,9	< 4,4	0,1 – 6,4	1,0 – 7,3
Mn ₃ O ₄	0,07	-	-	-	-
MgO	1,30	< 6,5	< 3,3	< 1,8	< 1,7
CaO	2,87	< 17,7	< 16,9	0,1 – 6,3	0,6 – 8,5
Na ₂ O	3,68	< 8,2	0,2 – 15,1	6,2 – 14,7	4,3 – 10,4
K ₂ O	4,08	< 2,1	0,1 – 14,9	2,4 – 8,4	4,1 – 10,0
P ₂ O ₅	0,21	< 5,5	< 0,9	< 0,3	< 0,5
SO ₃	0,05	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,01	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,01	-	-	-	-
SrO	0,06	-	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-
BaO	0,13	-	-	-	-
ZnO	0,01	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-
Glühverlust	1,38	0,5 – 47,0	< 4,5	0,1 – 2,9	0,9 – 5,2
S	-	< 6,2	-	-	-
MnO	-	-	< 0,9	< 0,4	< 0,4
CO ₂	-	-	-	-	0,2 – 3,8
Org.	-	< 26,0	-	-	-
Bilanz	+	11	11	8	7
	O	0	0	1	3
	-	1	0	2	2
	Auswertung	91,7 %	100,0 %	75,0 %	70,0 %

Tabelle 34: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppen 3 und 5

Komponente	Zentral- gneis	Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge			
		Bims	Vulkanische Tuffgesteine	Vulkanische Gesteine allgemein	Perlit
SiO ₂	67,89	51,2 – 76,0	40,0 – 74,0	40,6 – 72,8	67,7 – 77,5
TiO ₂	0,44	< 1,2	< 3,0	0,3 – 2,7	< 0,9
Al ₂ O ₃	14,93	10,5 – 23,5	10,9 – 30,0	13,3 – 19,0	9,0 – 16,3
Fe ₂ O ₃	2,88	< 7,1	1,2 – 25,0	1,5 – 5,5	< 2,4
Mn ₃ O ₄	0,07	-	-	-	-
MgO	1,30	< 4,0	0,5 – 8,5	0,4 – 8,5	< 1,4
CaO	2,87	0,2 – 9,2	1,0 – 12,5	1,1 – 11,9	0,2 – 4,6
Na ₂ O	3,68	1,2 – 11,7	0,3 – 12,0	2,9 – 7,8	2,0 – 5,9
K ₂ O	4,08	0,1 – 7,0	0,1 – 9,0	1,1 – 5,2	0,6 – 6,6
P ₂ O ₅	0,21	< 0,7	-	0,1 – 1,1	-
SO ₃	0,05	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,01	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,01	-	-	-	-
SrO	0,06	-	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-
BaO	0,13	-	-	-	-
ZnO	0,01	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-
Glühverlust	1,38	0,1 – 13,8	1,5 – 19,1	-	-
MnO	-	< 0,7	< 0,2	0,1 – 0,3	-
CO ₂	-	-	-	< 0,6	-
FeO	-	-	-	-	0,1 – 4,8
MnO	-	-	-	-	< 0,5
H ₂ O	-	-	-	-	< 6,5
Bilanz	+	10	9	9	7
	O	1	1	1	2
	-	0	0	1	1
	Auswertung	95,5 %	95,0 %	86,4 %	80,0 %

Tabelle 35: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppe 4

Komponente	Zentralgneis	Aluminiumoxidreiche Rohstoffe				
		Sillimanit-Minerale				
		Disthen-Roherz	Andalusit-Roherz	Sillimanit-Roherz		
SiO ₂	67,89	20,4 – 80,0	31,3 – 65,4	10,3 – 78,5		
TiO ₂	0,44	< 5,3	0,2 – 2,8	0,2 – 5,6		
Al ₂ O ₃	14,93	13,2 – 77,5	19,0 – 60,5	17,8 – 88,3		
Fe ₂ O ₃	2,88	< 5,8	< 7,9	0,4 – 13,0		
Mn ₃ O ₄	0,07	-	-	-		
MgO	1,30	< 1,4	0,3 – 2,2	< 0,9		
CaO	2,87	< 3,1	< 3,3	< 1,0		
Na ₂ O	3,68	< 1,1	< 4,7	0,2 – 2,0	< 7,4	< 0,6
K ₂ O	4,08	< 1,1		0,8 – 5,0		0,1 – 4,8
P ₂ O ₅	0,21	-	-	-		
SO ₃	0,05	-	-	-		
V ₂ O ₅	0,01	-	-	-		
Cr ₂ O ₃	0,01	-	-	-		
SrO	0,06	-	-	-		
ZrO ₂	0,07	-	-	-		
BaO	0,13	-	-	-		
ZnO	0,01	-	-	-		
PbO	0,02	-	-	-		
HfO ₂	0,01	-	-	-		
Glühverlust	1,38	0,2 – 3,2	2,6 – 3,4	0,1 – 5,7		
Bilanz	+	7	5	5		
	O	0	2	1		
	-	2	2	3		
	Auswertung	77,8 %	66,7 %	61,1 %		

Tabelle 36: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppe 6, Teil 1

Komponente	Zentralgneis	Aluminiumoxidreiche Rohstoffe		
		Pyrophyllit-Roherz	Alunit	Karst-Bauxit
SiO ₂	67,89	42,7 – 81,9	< 55,8	0,3 – 47,0
TiO ₂	0,44	< 2,8	0,2 – 0,8	0,5 – 9,0
Al ₂ O ₃	14,93	12,7 – 43,5	15,0 – 45,1	13,6 – 80,7
Fe ₂ O ₃	2,88	< 6,5	< 24,7	0,3 – 58,4
Mn ₃ O ₄	0,07	-	-	-
MgO	1,30	< 2,2	0,1 – 1,6	-
CaO	2,87	< 2,8	0,5 – 4,0	-
Na ₂ O	3,68	< 3,9	0,1 – 4,2	-
K ₂ O	4,08	< 8,7	2,2 – 12,5	-
P ₂ O ₅	0,21	-	~ 3,5	-
SO ₃	0,05	-	7,7 – 38,8	-
V ₂ O ₅	0,01	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,01	-	-	-
SrO	0,06	-	-	-
ZrO ₂	0,07	-	-	-
BaO	0,13	-	-	-
ZnO	0,01	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-
H ₂ O	-	-	4,0 – 36,2	-
Glühverlust	1,38	2,4 – 11,2		6,0 – 30,1
Bilanz	+	7	6	2
	O	2	2	2
	-	0	3	1
	Auswertung	88,9 %	63,6 %	60,0 %

Tabelle 37: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppe 6, Teil 2

Komponente	Zentral- gneis	Magnesium- oxidreiche Rohstoffe	Glimmer		Beryllium-Mineraie u.a.	
			Muskovit-Gruppe		Zeolithe	Tuffe
		Talk-Roherz	Glaukonit	Sericit- Erze		
SiO ₂	67,89	6,5 – 73,2	30,0 – 77,8	41,2 – 81,5	49,6 – 69,5	51,3 – 54,1
TiO ₂	0,44	< 0,4	< 1,0	0,1 – 0,9	< 0,3	-
Al ₂ O ₃	14,93	< 37,1	4,3 – 16,2	12,4 – 39,9	9,9 – 19,0	16,0 – 18,3
Fe ₂ O ₃	2,88	< 12,3	3,5 – 28,1	0,1 – 2,0	0,1 – 1,9	2,8 – 4,3
Mn ₃ O ₄	0,07	-	-	-	-	-
MgO	1,30	13,7 – 37,1	< 6,9	< 9,6	0,1 – 0,7	0,7 – 2,1
CaO	2,87	< 6,8	< 16,0	< 0,7	0,7 – 5,7	1,4 – 4,7
Na ₂ O	3,68	< 0,3	< 11,4	< 9,7	0,2 – 4,8	0,6 – 4,0
K ₂ O	4,08	< 1,0	0,8 – 9,6		1,8 – 9,4	4,9 – 8,7
P ₂ O ₅	0,21	-	0,1 – 3,3	-	-	-
SO ₃	0,05	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,01	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,01	-	-	-	-	-
SrO	0,06	-	-	-	< 0,6	< 1,0
ZrO ₂	0,07	-	-	-	-	-
BaO	0,13	-	-	-	0,1 – 1,0	-
ZnO	0,01	-	-	-	-	-
PbO	0,02	-	-	-	-	-
HfO ₂	0,01	-	-	-	-	-
Glühverlust	1,38	1,0 – 25,6	2,3 – 12,3	1,7 – 5,6	15,2 – 20,9	12,2 – 15,1
FeO	-	-	0,6 – 7,1	~ 0,1	-	-
S	-	-	-	< 0,005	-	-
P	-	-	-	< 0,014	-	-
MnO	-	-	-	-	< 0,2	-
Cl	-	-	-	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-
Bilanz	+	5	8	8	8	6
	O	1	2	1	0	0
	-	3	0	2	4	4
	Aus- wertung	61,1 %	90,0 %	77,3 %	66,7 %	60,0 %

Tabelle 38: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppen 7, 9 und 11

4.3 Mineralogische Zusammensetzung

4.3.1 Allgemeines

Zur Ermittlung des modalen Mineralbestandes der einzelnen Typolithologien wurden im Labor Dünnschliffe angefertigt und mittels Durchlichtmikroskop analysiert und beschrieben. Die Dünnschliffe wurden senkrecht zur Schieferung orientiert angefertigt. Mit der Point-Count-Methode (Programm JMicro Vision) wurde der Mineralbestand ermittelt. Sämtliche Proben wurden aufgrund ihrer Inhomogenität an jeweils drei verschiedenen

Flächen analysiert. Die Untersuchungen erfolgten am Institut für Geologie und Paläontologie an der Universität Innsbruck, sowie in den Labors der Materialversuchsanstalt Strass und der italienischen Versuchsanstalt „gd test“ Geodesign and Testing.

Die Auswertetabellen in den Kapiteln 4.3.2, 4.3.3 und 4.3.4 weisen in ihren linken Spalten (Komponente) zum Teil Gesteins- oder Mineralgruppen zugeordnete Minerale auf, welche hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung dieser Gruppe nicht zuzuordnen sind.

Exemplarisch ist das Schichtsilikat Chlorit zu nennen, welches in den Auswertetabellen den Glimmern zugeordnet wird. Die Glimmer zählen ebenfalls zu den Schichtsilikaten, unterscheiden sich jedoch im Chemismus von Chlorit. In der Fachliteratur wird Chlorit den Glimmer-Mineralen zugeschrieben, da sich die Minerale in ihrer Struktur und in ihren Eigenschaften (z.B. vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung) ähnlich sind. Diese Zuordnung wird in dieser Diplomarbeit aus praktischen Gründen beibehalten.

4.3.2 Innsbrucker Quarzphyllit

4.3.2.1 Eingabeparameter

Durch die Angabe eines Wertebereiches (siehe Tabelle 39) wird verdeutlicht, dass die prozentuellen Anteile der jeweiligen Komponenten am Innsbrucker Quarzphyllit relativ stark schwanken. Stark schwankende Gehalte weisen auf inhomogene Materialien hin, was im Aufbereitungsprozess zu berücksichtigen ist. Sämtliche Angaben entstammen den Protokollen der Materialversuchsanstalt Strass und dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck.

Für die Ermittlung der Eingabeparameter wurden 66 Proben analysiert, welche dem Innsbrucker Quarzphyllit zuzuordnen sind. Je vier Proben wurden im Erkundungsstollen Sill und im Erkundungsstollen Innsbruck gewonnen. 21 Proben stammen aus dem Ahrental, zwölf davon aus dem Zugangstunnel und neun aus dem Erkundungsstollen. Die restlichen 29 Proben wurden durch Bohrungen gewonnen, wobei hinsichtlich Entnahmeort in den Protokollen keine Angaben vorliegen.

Die Quarzphyllit-Proben umfassen folgende Untergesteinsarten:

- Innsbrucker Quarzphyllit
- Phyllit und Graphitphyllit
- Biotitschiefer und -gneis
- Glimmerschiefer und phyllitischer Glimmerschiefer
- Grünschiefer
- Amphibolit
- Dolomitmarmor
- Quarzit und quarzitischer Phyllit

Mineralogisch setzt sich der Innsbrucker Quarzphyllit aus folgenden Bestandteilen zusammen:

Komponente		Innsbrucker Quarzphyllit	
		Wertebereich	Mittelwert
Quarz SiO_2		1,2 – 93,6	40,5
Feldspat $(Ba, Ca, Na, K, NH_4)(Al, B, Si)_4O_8$		< 68,4	16,7
Glimmer	Biotit $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}(OH)_2]$	< 58,4	11,4
	Chlorit $Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2Mg_3(OH)_6]$	< 58,0	5,4
	Muskovit $KAl_2[Si_3AlO_{10}(OH)_2]$	< 80,0	13,3
Epidot $Ca(Al, Fe^{3+})Al_2[O(OH)SiO_4](Si_2O_7)]$		< 33,2	2,7
Zoisit $Ca_2Al_3[O(OH)SiO_4Si_2O_7]$		< 20,0	0,6
Hornblende $(Na, K)(Ca, Na)_2(Mg, Fe, Al)_5(Si, Al)_8O_{22}(OH)_2$		< 64,8	3,2
Karbonat (Calcit) $CaCO_3$		< 72,0	3,1
Titanit $CaTi[O SiO_4]$		< 10,0	0,1
Granat Allg.: $A_3^{2+}B_2^{3+}[SiO_4]_3$ $A = Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca$ $B = Al, Fe^{3+}, Cr^{3+}$		< 6,4	0,2
Pyrit (Opake Körner) FeS_2		< 9,6	2,8

Tabelle 39: Modaler Mineralbestand des Innsbrucker Quarzphyllits

Abbildung 25 zeigt zwei typische Erscheinungsbilder des Innsbrucker Quarzphyllits unter dem Durchlichtmikroskop. Die linke Abbildung wurde mit einer Bildbreite von 6,3 mm erstellt, die rechte Abbildung mit einer Bildbreite von 3,2 mm. Anhand der großen Farbenvielfalt lässt sich die Inhomogenität und der somit verbundene teils große Schwankungsbereich im modalen Mineralbestand (Wertebereich Tabelle 39) des Innsbrucker Quarzphyllits erahnen.

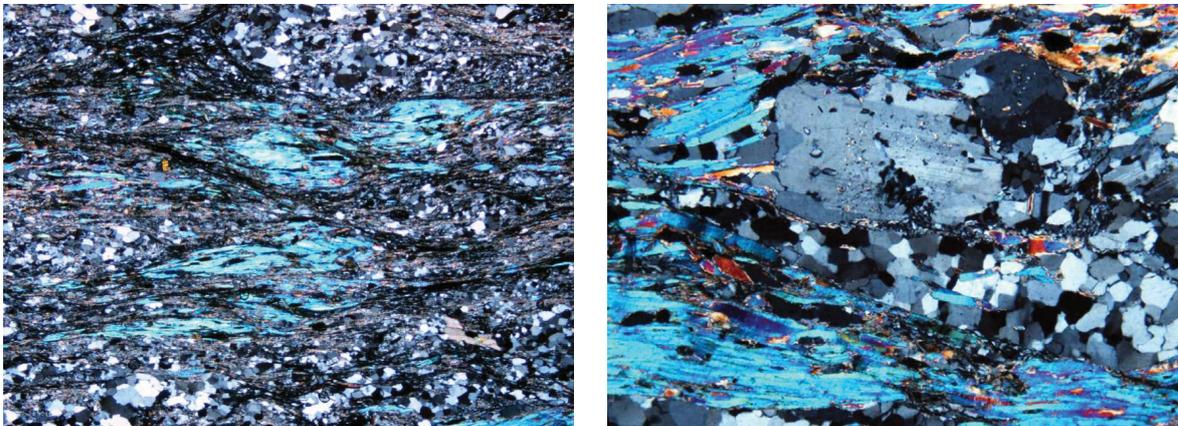


Abbildung 25: Dünnschliffaufnahme des Innsbrucker Quarzphyllits (Universität Innsbruck)

4.3.2.2 Auswertung

Komponente		Innsbrucker Quarzphyllit	Quarzrohstoffe
			Diatomit
Quarz		40,0	< 28,0
Feldspatgesteine	Feldspat	8,5	< 17,0
Glimmer	Biotit	6,3	-
	Chlorit *)	7,4	-
	Muskovit	21,2	< 10,0
	Sericit	2,2	-
Epidot		2,2	-
Zoisit		0,8	-
Hornblende		2,4	-
Karbonat		2,7	-
Calcit		2,8	< 46,0
Dolomit		-	
Titanit		0,3	-
Granat		0,01	-
Pyrit (Opake Körner)		3,3	< 12,0
Opal		-	26,0 – 98,0
Apatit		-	< 13,0
Gips		-	< 17,0
Halit		-	< 6,0
Tonminerale		-	< 50,0
Sonstige		-	< 28,0
Bilanz		+	8
		O	1
		-	1
		Auswertung	85,0 %

Tabelle 40: Vergleich Mineralbestand Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppe 3

*) aufgrund ähnlicher Eigenschaften (Struktur, Spaltbarkeit) den Glimmern zugeordnet

4.3.3 Bündnerschiefer

4.3.3.1 Eingabeparameter

Für die Ermittlung der Eingabeparameter wurden 32 Proben analysiert, welche der Bündnerschiefer-Serie zuzuordnen sind. Die Proben wurden von der italienischen Versuchsanstalt „gd test“ Geodesign and Testing und dem Institut für Geologie und Paläontologie an der Universität Innsbruck analysiert. Zu den genauen Entnahmeorten liegen in den Protokollen keine Angaben vor.

Die Bündnerschiefer-Proben umfassen folgende Untergesteinsarten:

- Calcit-Schiefer
- Kalkglimmerschiefer
 - o Calcit- und Muskovit-Schiefer, sowie Muskovit- und Calcit-Schiefer
 - o Calcit-, Biotit- und Muskovit-Schiefer
 - o Muskovit-, Calcit- und Granat-Schiefer
 - o Chlorit-, Muskovit- und Calcit-Schiefer
- Glimmerschiefer
 - o Muskovit-Schiefer (Phyllit)
- Calcit-Granofels
- Calcit- und Muskovit-Granofels
- Amphibolit

In Tabelle 41 wird der modale Mineralbestand des Bündnerschiefers erläutert.

Komponente		Bündnerschiefer	
		Wertebereich	Mittelwert
Quarz SiO_2		6,0 – 45,0	26,8
Feldspat- gesteine	Feldspat $(Ba,Ca,Na,K,NH_4)(Al,B,Si)_4O_8$	< 5,0	0,2
	Plagioklas	< 23,0	6,3
Glimmer	Biotit $K(Mg,Fe)_3[Si_3AlO_{10}(OH)_2]$	< 8,0	0,5
	Chlorit $Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2Mg_3(OH)_6]$	< 15,0	1,0
	Muskovit $KAl_2[Si_3AlO_{10}(OH)_2]$	5,0 – 60,0	20,0
Epidot / Zoisit $Ca(Al,Fe^{3+})Al_2[O(OH)SiO_4](Si_2O_7)]$		1,0 – 15,0	1,2
Turmalin Allg.: $XY_3Z_6(BO_3)[Si_6O_{18}(OH)_4]$ $X = Na, Ca$ $Y = Li, Mg, Al$ $Z = Al, Fe, Mg$		< 2,0	0,1
Hornblende $(Na,K)(Ca,Na)_2(Mg,Fe,Al)_5$ $(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$		< 36,0	2,8
Calcit $CaCO_3$		< 70,0	36,3
Titanit $CaTi[O SiO_4]$		1,0 – 16,0	1,4
Granat Allg.: $A_3^{2+}B_2^{3+}[SiO_4]_3$ $A = Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca$ $B = Al, Fe^{3+}, Cr^{3+}$		< 3,0	0,2
Pyrit (Opake Körner) FeS_2		1,0 – 10,0	3,2

Tabelle 41: Modaler Mineralbestand des Bündnerschiefers

Abbildung 26 zeigt zwei typische Erscheinungsbilder des Bündnerschiefers unter dem Durchlichtmikroskop. Beide Bilder wurden mit einer Bildweite von 6,3 mm erstellt und stellen denselben Bildausschnitt einmal mit nicht gekreuzten (linkes Bild) und einmal mit gekreuzten Polarisatoren (rechtes Bild) dar. Die Bilder in Abbildung 26 zeigen deutlich eine große Variabilität in der mineralogischen Zusammensetzung, welche in Tabelle 41 (Wertebereich) durch Zahlen ausgedrückt wird.



Abbildung 26: Dünnschliffaufnahme des Bündnerschiefers (Universität Innsbruck)

4.3.3.2 Auswertung

Komponente		Bündnerschiefer	Quarzrohstoffe
			Diatomit
Quarz		26,8	< 28,0
Opal (Quarzgruppe)		-	26,0 – 98,0
Feldspat-gesteine	Feldspat	0,2	< 17,0
	Plagioklas	6,3	-
Glimmer	Biotit	0,5	-
	Chlorit *)	1,0	-
	Muskovit	20,0	< 10,0
Illit		-	
Epidot		1,2	-
Zoisit			-
Turmalin		0,1	-
Hornblende		2,8	-
Calcit		36,3	< 46,0
Dolomit		-	
Titanit		1,4	-
Granat		0,2	-
Pyrit (Opake Körner)		3,2	< 12,0
Apatit		-	< 13,0
Gips		-	< 17,0
Halit		-	< 6,0
Tonminerale		-	< 50,0
Sonstige		-	< 28,0
Bilanz		+	9
		0	0
		-	1
		Auswertung	80,0 %

Tabelle 42: Vergleich Mineralbestand Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppe 3

*) aufgrund ähnlicher Eigenschaften (Struktur, Spaltbarkeit) den Glimmern zugeordnet

4.3.4 Zentralgneis

4.3.4.1 Eingabeparameter

Für die Ermittlung der Eingabeparameter wurden 10 Proben analysiert, welche dem Zentralgneis zuzuordnen sind. Eine von der Bohrung Griesbergtal stammende Probe wurde von der Materialversuchsanstalt Strass analysiert. Über die restlichen neun Proben, welche vom Institut für Geologie und Paläontologie an der Universität Innsbruck analysiert wurden, gibt es in den Protokollen keine Angaben zum Entnahmestort. Die Zentralgneis-Proben umfassen ausschließlich Gneise.

In Tabelle 43 wird der modale Mineralbestand vom Zentralgneis erläutert.

Komponente		Zentralgneis	
		Wertebereich	Mittelwert
Quarz SiO_2		15,9 – 80,4	48,9
Feldspat $(Ba, Ca, Na, K, NH_4)(Al, B, Si)_4O_8$		1,1 – 53,6	22,8
Glimmer	Biotit $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2$	0,4 – 35,5	14,5
	Chlorit $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2Mg_3(OH)_6$	< 0,4	0,02
	Muskovit $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$	< 21,6	5,6
	Sericit $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$		
Epidot $Ca(Al, Fe^{3+})Al_2[O(OH)SiO_4](Si_2O_7)$		< 8,9	3,1
Karbonat (Calcit) $CaCO_3$		< 6,4	0,8
Granat Allg.: $A_3^{2+}B_2^{3+}[SiO_4]_3$ $A = Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca$ $B = Al, Fe^{3+}, Cr^{3+}$		< 6,4	0,8
Pyrit (Opake Körner) FeS_2		0,8 – 8,4	3,1

Tabelle 43: : Modaler Mineralbestand vom Zentralgneis

Abbildung 27 zeigt zwei typische Erscheinungsbilder vom Zentralgneis unter dem Durchlichtmikroskop. Das linke Bild wurde mit einer Bildweite von 6,3 mm erstellt, das rechte Bild mit einer Bildweite von 3,2 mm.

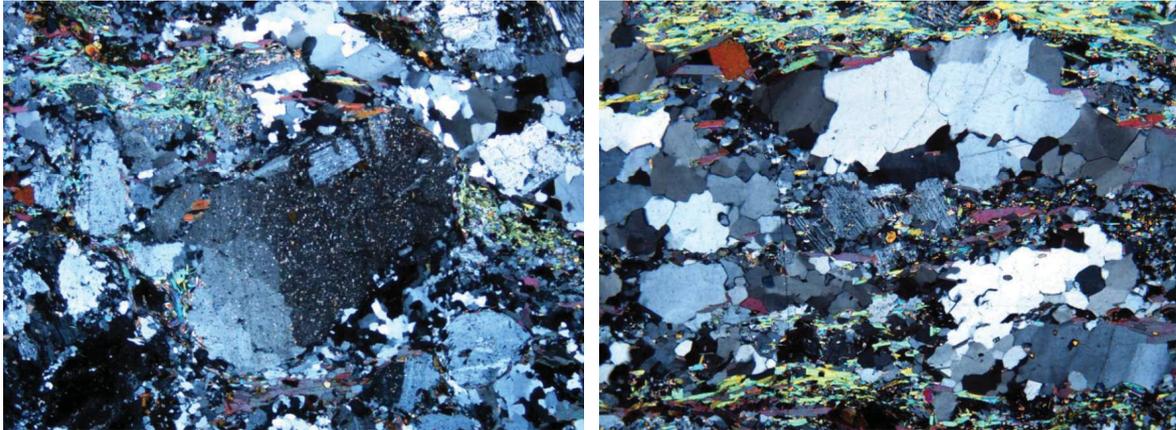


Abbildung 27: Dünnschliffaufnahme des Zentralgneises (Universität Innsbruck)

4.3.4.2 Auswertung

Komponente		Zentralgneis	Quarzrohstoffe
			Diatomit
Quarz		48,9	< 28,0
Feldspat		22,8	< 17,0
Glimmer	Biotit	14,5	-
	Chlorit *)	0,02	-
	Muskovit	5,6	< 10,0 **)
	Sericit		-
Epidot		3,1	-
Karbonat	Ankerit	0,8	-
	Dolomit		< 46,0
	Calcit		-
	Siderit		-
Granat		0,8	-
Pyrit (Opake Körner)		3,1	< 12,0
Opal		-	26,0 – 98,0
Apatit		-	< 13,0
Gips		-	< 17,0
Halit		-	< 6,0
Tonminerale		-	< 50,0
Sonstige		-	< 28,0
Bilanz		+	8
		O	1
		-	1
		Auswertung	85,0 %

Tabelle 44: Vergleich Mineralbestand Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppen 3, 5 und 6

*) aufgrund ähnlicher Eigenschaften (Struktur, Spaltbarkeit) den Glimmern zugeordnet

***) Muskovit / Illit

4.4 Industrielle Eignung

4.4.1 Allgemeines

Die Auswertungen in den Kapiteln 4.2 und 4.3 zeigen Übereinstimmungen zwischen den Gesteinsparametern der untersuchten Lithologien und den Anforderungen, welchen Industriemineralagerstätten unterliegen. In den Kapiteln 4.4.2, 4.4.3 und 4.4.4 werden potentielle Einsatzbereiche der untersuchten Gesteine für eine Übereinstimmung von mindestens 60 % entsprechend Formel 2 in Tabelle 21 aufgelistet.

4.4.2 Innsbrucker Quarzphyllit

Bezugnehmend auf die Auswertungen in den Kapiteln 4.2.2 und 4.3.2 und unter Berücksichtigung der Erläuterungen in Kapitel 4.1.3.1 könnte der Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Rohstoffe aus folgenden Gruppen geeignet sein:

- 3: Quarzrohstoffe (siehe Tabelle 45)
- 4: Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (siehe Tabelle 46)
- 5: Feldspäte und andere Flussmittel (siehe Tabelle 47)
- 6: Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (siehe Tabelle 48)
- 9: Glimmer (siehe Tabelle 49)
- 11: Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe (siehe Tabelle 50)

Die industriellen Verwendungsmöglichkeiten sind in den folgenden Tabellen detailliert angeführt.

3 Quarzrohstoffe

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich	
Diatomit	Baustoffindustrie	Isolations- und Baustoffe
	Filterhilfsmittel beim Anschwemmen von Bier, Wein, Wasser und anderen Flüssigkeiten	
	Füllstoff für Reinigungs- und Poliermittel, Silikon-Kautschuk, Kunststoffe, Gummi, Papier, Farben, Lacke, Emaille, Streichhölzer, Pharmazeutika, Kosmetika	
	Trägerstoff für Katalysatoren, Insektizide, Desinfektionsmittel, Explosivmittel	
	Sorptionsmittel für Gasreinigungsmassen, Katzenstreu, Trockenmittel	
	Puderstoff für Düngemittel- und Kunststoffindustrie	
	Schleif- und Poliermittel	

Tabelle 45: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 1999)

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich	
Vulkanische Tuffgesteine	Straßenbau	Frostschuttschicht, Tragschicht
	Zuschlagstoff für Leichtbeton, Wärmedämmmörtel, Leichtmauermörtel	
	Filterkies, Füllmaterial für die Wasserreinigung	
	Grundstoff, Flussmittel für Glasuren	
	Untergrundverbesserung, Garten- und Landschaftsbau, Natursteinmauerwerk, Beton, Zement, natürliche Puzzolane, Mauersteine, Glasfasern, Keramik, Wasserenthärtung	
Bims	Bautechnik	Landschaftsbau, dekorative Verschleißschichten, Schüttsisolierung, Dachgranalien, texturierte Beschichtungen, Bodenbedeckung
	Leichtzuschlag für Hohlblocksteine, Vollblöcke, Dachelemente, Deckenelemente, Wandelemente, Fertigteile, Leichtbeton	
	Reinigungsmittel für Grillreiniger, stone-washing für Jeans-Stoffe, Handseife, Scheuermittel, Zahnreinigung	
	Sorbentien für Blumentopferde, porösen Pflanzboden, Streumittel, Bodenbelüftung, Gartenbau, acid-washing für Jeans-Stoffe	
	Trägerstoff für Katalysatoren, Pestizide, Herbizide, Fungizide	
	Füllstoff für Gummi, Farben, Kunststoffe, Entformungsmittel, Heißasphalt, Bremsbeläge	
	Filterhilfsmittel für tierische, pflanzliche und mineralische Öle	
	Puzzolan, Schleifsteine und -blöcke, Radiergummi, Poliermittel, Holzverarbeitung, Lederverarbeitung, rutschsichere Farben, Streichholzköpfe, Reibflächen	

Tabelle 46: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz und Gwosdz 2000)

5 Feldspäte und andere Flussmittel

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich	
Feldspat und Feldspatgesteine	Keramikindustrie	Keramikmassen, Glasuren, Emaille, Flussmittel
	Glasindustrie	Flussmittel
	Füllstoff für Lacke, Farben, Klebstoffe, Gummi, Kunststoffe	
	Antislipmittel in Beschichtungen, Anstrichen	
	Schleif- und Scheuermittel, Seifen und Reinigungspasten, Aufhellung von Straßendecken, Schmuck, Dünger, Flussmittel im Hochofen und für die Herstellung von Schweißelektrodenummantelungen	
Wollastonit-Roherz	Keramik	Fliesen, Tafelgeschirr, Porzellan, Fritten, Emaille
	Farbindustrie	Dispersionsfarben, Epoxid / Teer-Anstriche, Pulverbeschichtungen, Lacke
	Füllstoff für Kunststoffe, Kunstharze, Gummi, Farben, Gieß- und Pressmassen, Perlglanzpigmente, Papier	
	Flussmittel für die Schweißelektrodenherstellung	
	Bremsbeläge (Asbest-Ersatz, Antidröhnmassen, Unterbodenschutzmassen, Korrosionsschutz, Düngemittel, Pestizide, Glasfasern, Weißzement)	
	Kunststoffputze, Feuerfestindustrie, Streichholzköpfe, Schleifmittel	
Nephelinsyenit	Füllstoff für Farben, Lacke, Kautschuk, Kunststoffe	
	Glasindustrie, Keramikindustrie	

Tabelle 47: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Feldspäte und andere Flussmittel (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich	
Bauxit	Schleif- und Poliermittel	Haushaltsreiniger, Bremsbeläge
	Stützmittel	Erdöl-, Erdgas- und Wasserbohrungen
	Aluminiumproduktion, Feuerfestindustrie, Oxidkeramik, Sorptionsmittel, Katalyse-Produkte, Trocknungsmittel, Füllstoffe, Flammenschutz, Chemikalien, Tonerde-Zement, Schweißelektroden, Eisen- und Stahlindustrie, Bauindustrie, Dammbau	
Pyrophyllit-Roherz	Feuerfestindustrie	Isoliermaterial, Gießpfannenauskleidungen, Gusspfannensteine, Tunnelwagenauskleidungen, Tunnelofenzubehör, Auskleidungen für Glasschmelzwannen
	Keramikindustrie	Fliesen, Isolatoren, Heizkörper
	Papierindustrie Kunststoffindustrie Gummiindustrie Seifenindustrie	Füll- und Trägerstoff
	Lack- und Farbenindustrie	Pigment
	Baustoffindustrie	Straßenbaumaterial, Weißzement, Fugenmassen, Abdichtungsmittel, Dachbelag, rutschfeste Beschichtungen
	Tierfutterbestandteil, Filterschichten, Rohrauskleidung, Bildhauermaterial, Glasfaserproduktion, Füll- und Trägerstoff für Asphalt, Biozide, Kosmetika und Pharmazeutika	

Tabelle 48: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)

9 Glimmer

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich	
Glaukonit	Adsorptionsmittel für Erdölprodukte, Wasserenthärtung und -aufbereitung, Bodenverbesserung, Düngemittel, Farbpigmente, Glaspoliermittel, Naturwerksteine, Dachziegel, Geruchsbindemittel	
Sericit-Erze	Keramik	Flussmittel, Töpferware, Steingut, Steinzeug, Fliesen, Kacheln, Gebrauchs- und Kunstkeramik, Sanitärkeramik, Porzellan, Feuerfestprodukte
	Füllstoff für Kunststoffe, Papier, Spachtelmassen, Gummi, Farben- und Lack-industrie	
	Pestizid-Trägerstoff, Zement, Glaswolle, Kabelindustrie	
Vermiculit	Chemische Industrie	Adsorptionsmittel, Füllstoff
	Metallurgie	Bestandteil der Metallschmelze, Stahlindustrie
	Landwirtschaft	Trägerstoff (Düngemittel), Tierfutterzusatz, Steuerung des Wasserhaushaltes
	Gipskartonplatten, Wärme- und Schallisolierung, feuerbeständige Mörtel und Putze, Gartenbau, Feuerfestindustrie	

Tabelle 49: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Glimmer (vgl. Gwosdz et al 2006)

11 Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich
Farberden	Farb- und Füllstoffe für Gummi, Kunststoffe, Baustoffe
	Polierrot für Glas
	Farben und Lacke, Beschichtungen, Gießereiindustrie, Keramik, Düngemittel, Grundierungen, Schiffsanstriche, Hausanstriche, Korrosionsschutz
Zeolithe	Ionentauscher für die Abwasserbehandlung, Behandlung radioaktiver Prozesswässer, Behandlung wässriger Lösungen im Waschmittelsektor
	Adsorptionsmittel für Trocken- und Reinigungsmittel für Gase und Luft, Kälte- und Kühlanlagen, im Innenraum von Doppelfenstern, Wärmespeicher, Behandlung von Gasgemischen, Wasserstoffreinigung, Futtermittelzusatz, Bodenverbesserung, Katzenstreu
	Trennprozesse (Paraffintrennung, Sauerstoffanreicherung)
	Katalysator bei der Herstellung von Treibstoffen und Ethylbenzol, Hydrocracken, Paraffinbehandlung
	Herstellung von Puzzolan-Zement und -Mörtel, Leichtzuschlagherstellung, Leichtbausteine, Füllstoff für Papier, Zahnpasta, Trägerstoff (Pestizide, Fungizide, Herbizide), Kunststoffe, Folien, Deodorantien, Glas

Tabelle 50: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2008)

4.4.3 Bündnerschiefer

Bezugnehmend auf die Auswertungen in den Kapiteln 4.2.2 und 4.3.2 und unter Berücksichtigung der Erläuterungen in Kapitel 4.1.3.1 könnte der Bündnerschiefer als Ersatz für Rohstoffe aus folgenden Gruppen geeignet sein:

- 3: Quarzrohstoffe (siehe Tabelle 45)
- 4: Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (siehe Tabelle 46)
- 5: Feldspäte und andere Flussmittel (siehe Tabelle 47)
- 6: Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (siehe Tabelle 51)
- 9: Glimmer (siehe Tabelle 49)

Die industriellen Verwendungsmöglichkeiten sind in den folgenden Tabellen und Auflistungen detailliert angeführt.

3 Quarzrohstoffe

Einsatzbereiche für Diatomit siehe Tabelle 45.

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

Einsatzbereiche für:

- Vulkanische Tuffgesteine
- Bims

siehe Tabelle 46.

5 Feldspäte und andere Flussmittel

Einsatzbereiche für:

- Feldspat und Feldspatgesteine
- Wollastonit-Roherz

siehe Tabelle 47.

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich
Bauxit Pyrophyllit-Roherz	Siehe Tabelle 48
Sillimanit-Minerale	Füllstoff für Kunststoffe, Lacke, Farben, Beschichtungen für mechanisch stark beanspruchte Flächen Mullit-Produktion, Feuerfestindustrie, Elektroporzellane, Trübungsmittel, Poliermittel, Tonerde-Schmelzzement

Tabelle 51: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Bündnerschiefer als Ersatz für aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)

9 Glimmer

Einsatzbereiche für:

- Glaukonit
- Sericit-Erze

siehe Tabelle 49.

4.4.4 Zentralgneis

Bezugnehmend auf die Auswertungen in den Kapiteln 4.2.2 und 4.3.2 und unter Berücksichtigung der Erläuterungen in Kapitel 4.1.3.1 könnte der Zentralgneis als Ersatz für Rohstoffe aus folgenden Gruppen geeignet sein:

- 3: Quarzrohstoffe (siehe Tabelle 45)
- 4: Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (siehe Tabelle 52)
- 5: Feldspäte und andere Flussmittel (siehe Tabelle 53)
- 6: Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (siehe Tabelle 54)
- 9: Glimmer (siehe Tabelle 49)
- 11: Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe (siehe Tabelle 50)

Die industriellen Verwendungsmöglichkeiten sind in den folgenden Tabellen und Auflistungen detailliert angeführt.

3 Quarzrohstoffe

Einsatzbereiche für Diatomit siehe Tabelle 45.

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

Rohstoff		Industrieller Einsatzbereich
Vulkanische Tuffgesteine Bims		Siehe Tabelle 46
Perlit	gebläht	Zuschlagstoff für Beton, Putze, Mörtel
		Füllstoff für Kunststoffe, Kunstharze
		Trägerstoff für Düngemittel
Sorptionsmittel für Öl, Chemikalien		
	ungebläht	Dämmschüttung, Dachkonstruktionen, Grobkeramik, Filterhilfsmittel, Gartenbau, Tief- und Tiefsttemperaturisolierung, Feuerfest- und Gießereiindustrie, Zusatzstoff in Farben und Lacken
		Scheuermittel, Strahlsand, Flussmittel (Glas und Keramik), Füllstoff

Tabelle 52: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Zentralgneis als Ersatz für vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz und Gwosdz 2000)

5 Feldspäte und andere Flussmittel

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich	
Feldspat und Feldspatgesteine Nephelinsyenit	Siehe Tabelle 47	
Phonolith	Keramikindustrie	Glasuren, Emaille
	Glasindustrie, Tiernahrung, Bodenverbesserung und -stabilisierung, Wasserreinigung, Füllstoff in Bitumen	

Tabelle 53: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Zentralgneis als Ersatz für Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 1999)

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

Rohstoff	Industrieller Einsatzbereich
Pyrophyllit-Roherz Bauxit	Siehe Tabelle 48
Sillimanit-Minerale	Siehe Tabelle 51
Alunit	Herstellung von Alaun, Al-Sulfat, Kali-Dünger, Aluminium, Zement

Tabelle 54: : Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Zentralgneis als Ersatz für aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)

9 Glimmer

Industrielle Einsatzbereiche für:

- Glaukonit
- Sericit

siehe Tabelle 49.

11 Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe

Industrielle Einsatzbereiche für Farberden siehe Tabelle 50.

5 Diskussion und Ausblick

Die Forschungsarbeiten von Voit (2013) haben ergeben, dass die am Brenner Basistunnel vorkommenden Hauptgesteinsarten unter Anwendung von Aufbereitungsmaßnahmen teilweise als Betonzuschlag, Tragschicht, Dichtschicht oder Schütt- und Füllmaterial auf der Baustelle im Zuge der Bauausführung verwertet werden können. Für den nicht verwertbaren Anteil ist nach aktuellem Stand (2013) die Deponierung angedacht.

Eine Aussage über die tatsächliche Verwertbarkeit kann zum aktuellen Zeitpunkt (Dez. 2013) nicht getroffen werden, da dies erst versuchstechnisch eruiert werden muss. Laut Aussage von Vertretern der BBT SE wurde im Dezember 2013 mit der Durchführung von Aufbereitungsversuchen begonnen, deren Ergebnisse über die Verwertbarkeit Aufschluss liefern sollen.

Zum aktuellen Zeitpunkt ist eine Verwertung des Ausbruchmaterials als Betonzuschlag vor Ort in jedem Fall kritisch zu betrachten, da die hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass teure chemische Zusatzstoffe zur Nutzbarmachung für Betonanwendungen erforderlich sind.

Ist die Verwertung vor Ort nicht möglich, sollte Tunnelausbruchmaterial, das als hochwertiger mineralischer Rohstoff zu betrachten ist, künftig in Industriebetrieben verwertet werden, wenn die Anforderungen für den jeweiligen industriellen Verwendungszweck erfüllt werden.

Zu diesem Zwecke wurden in dieser Diplomarbeit die chemischen und mineralogischen Anforderungen ermittelt, welche die Mineralrohstoffindustrie an mineralische Lagerstätten stellt. Diese Anforderungen stellen das erste Kriterium einer Reihe von Anforderungsebenen dar. Erfüllt das Material also die genannten Anforderungen, hat es nur eines von zahlreichen, für die Verwertung in Industriebetrieben erforderlichen, Kriterien erfüllt. Genügt das Ausbruchmaterial den chemischen und mineralogischen Rohstoffanforderungen, wird es im nächsten Schritt den geotechnischen Anforderungen unterzogen.

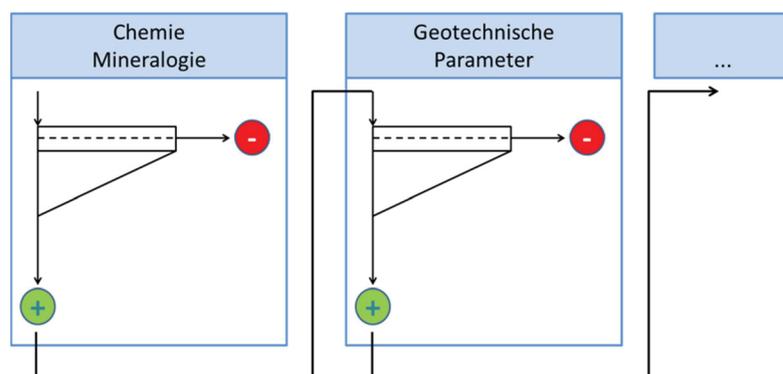


Abbildung 28: Die Rohstoffanforderungen im Siebturmprinzip

In dieser Diplomarbeit wurde intensiv Forschung in Richtung der Verwertung von Tunnelausbruch an den Industriestandorten Nordtirols betrieben. Demnach ergeben sich nach Auswertung der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzungen der drei am Brenner Basistunnel vorkommenden Hauptgesteinsarten zahlreiche grundsätzliche industrielle Einsatzmöglichkeiten. Die potentiellen Haupteinsatzgebiete betreffen die Rohstoffindustrie und in weiterer Folge die Baustoffindustrie, die Stein-, Keramik- und Glasindustrie, die Metallindustrie, sowie die chemische Industrie und die Papierindustrie.

Entsprechend den Auswertungen könnten die untersuchten Gesteinsarten als Ersatz für Quarzrohstoffe, Glimmer, aluminiumoxidreiche Rohstoffe, Feldspäte, vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge, sowie Mineralen aus der Gruppe der Beryllium-Mineralen u.a. geeignet sein und den Industriebetrieben Nordtirols zugeführt werden. Natürlich muss hier generell auf die teilweise vollkommen unterschiedliche Entstehungsgeschichte, Mineralisation und Verwachsung der untersuchten Gesteinsarten gegenüber den industriell verwertbaren Mineralen und Erzen hingewiesen werden, denn sowohl Übereinstimmung (siehe Formel 2 in Tabelle 21), als auch Eignung beziehen sich rein auf die chemische und mineralogische Zusammensetzung.

Realistisch betrachtet sind die drei untersuchten Gesteinsarten am wahrscheinlichsten als Ersatz für Diatomit (Quarzrohstoffe) geeignet, da die errechnete Übereinstimmung jeweils hinsichtlich chemischer und mineralogischer Zusammensetzung sehr hoch ist.

In der chemischen Zusammensetzung zeigen die untersuchten Gesteinsmaterialien außerdem teils sehr gute Übereinstimmungen mit Mineralen der vulkanischen Gesteine und Leichtzuschläge, sowie der Glimmer. Die Aussagekraft wird jedoch dadurch beschränkt, dass im Anforderungskatalog zu diesen Mineralen keine Angaben hinsichtlich mineralogischer Zusammensetzung vorliegen.

Der Zentralgneis genügt den chemischen Anforderungen der Feldspatgesteine ebenfalls sehr gut, jedoch ergibt sich nur eine bestenfalls mittelmäßige Übereinstimmung mit den mineralogischen Anforderungen.

Aus den Dünnschliffprotokollen (siehe digitaler Anhang) geht hervor, dass der Innsbrucker Quarzphyllit und der Bündnerschiefer über hohe Glimmergehalte verfügen. Wenn es gelingt, diese Anteile im Aufbereitungsprozess ökonomisch abzutrennen, könnte eine industrielle Nutzung als Glimmermineral in Betracht gezogen werden.

Die Darstellungen in Kapitel 3.4 zeigen, dass Nordtirol ein durchaus geeigneter Industriestandort hinsichtlich der Verwertung von Tunnelausbruch ist. Vor allem das Inntal, welches über eine Bahntrasse verfügt und somit die Möglichkeit des gleisgebundenen Transportes bietet, zeigt eine Häufung potentieller Abnehmerbetriebe.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Forschungsarbeiten zum Thema „Verwendungspotentiale von Tunnelausbruch am österreichischen Abschnitt des Brenner Basistunnels“ mit dieser Arbeit nicht abgeschlossen sind. Die Erhebung potentieller industrieller Einsatzmöglichkeiten des Tunnelausbruchs ist für weiterführende Arbeiten zu diesem

Thema essentiell. Sämtliche in dieser Arbeit getätigten Auswertungen sind als Abschätzungen zu verstehen und geben eine Tendenz vor, sagen aber noch nicht aus, dass das Ausbruchmaterial in den Industriebetrieben Nordtirols tatsächlich verwertet werden kann.

Dementsprechend wäre als nächster Schritt eine Folgearbeit sinnvoll, welche sich mit der Vertiefung in diese Materie beschäftigt und die Ergebnisse dieser Diplomarbeit als Grundlage verwendet. In der endgültigen Entscheidungsfindung, ob das Ausbruchmaterial den Anforderungen potentieller Abnehmerbetriebe genügt, ist eine Interviewführung mit diesen unerlässlich. Als Ziel sollte die gewinnbringende Zuführung des Ausbruchmaterials an Industriebetriebe in Nordtirol definiert werden.

Abschließend wird in dieser Arbeit darauf hingewiesen, dass die maximale Verwertung von Tunnelausbruchmaterial als jedenfalls sinnvoll zu erachten ist. Neben verminderter Umweltbelastung durch Problemstoffe aus Deponien gewinnt auch die wirtschaftliche Komponente zunehmend an Bedeutung. Durch Verwertung von Tunnelausbruch wird zudem nachhaltig gehandelt und soll künftigen Generationen der Zugang zu mineralischen Rohstoffen gesichert werden.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: TEN 1 Achse Berlin - Palermo (vgl. BBT SE 2013)	1
Abbildung 2: Kontinuierliche Steigerung des Kies- und Sandverbrauchs (vgl. Kündig et al 1997; Jäckli und Schindler 1986; Resch & Jodl 2009; verändert)	2
Abbildung 3: Das Tunnelsystem des Brenner Basistunnels (BBT SE 2013).....	4
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Tunnelbauwerkes (vgl. BBT SE 2013)	5
Abbildung 5: Aufteilung der Hauptbaulose (vgl. BBT 2008c; verändert)	5
Abbildung 6: Prognostizierte Vortriebsarten (vgl. BBT 2008c)	6
Abbildung 7: Deponiestandorte entlang des Brenner Basistunnels (vgl. Bergmeister 2008 und 2010b).....	6
Abbildung 8: Geologisch-tektonische Einheiten im Bereich des Brenner Basistunnels (Brandner et al 2008).....	8
Abbildung 9: Geologischer Längsschnitt des Brenner Basistunnels (vgl. Brandner et al 2008; verändert).....	9
Abbildung 10: Ungefähre prozentuelle Volumenanteile der Hauptgesteinsarten.....	10
Abbildung 11: Innsbrucker Quarzphyllit, 8/16er Korn (vgl. Voit 2013)	10
Abbildung 12: Bündnerschiefer, 8/16er (vgl. Voit, 2013)	11
Abbildung 13: Zentralgneis, 8/16er Korn (vgl. Voit, 2013).....	11
Abbildung 14: Randbedingungen der Verwertung von Tunnelausbruchmaterial (vgl. Jodl & Resch 2012; verändert).....	12
Abbildung 15: Ursprünglich prognostizierte Wiederverwertbarkeit (vgl. BBT 2008a)	17
Abbildung 16: Abschätzung der Verwertbarkeit nach Durchführung entsprechender Versuche (vgl. Voit 2013)	17
Abbildung 17: Österreich und seine Bundesländer (Wikipedia 2014; verändert).....	24
Abbildung 18: Rohstoffgewinnungsbetriebe in Nordtirol, Stand Juni 2013	25
Abbildung 19: Baustoffproduzenten in Nordtirol, Stand Juni 2013.....	25
Abbildung 20: Metall erzeugende Betriebe in Nordtirol, Stand Juni 2013	26
Abbildung 21: Keramik, Glas und Schleifmittel erzeugende Betriebe in Nordtirol, Stand Juni 2013	26

Abbildung 22: Betriebe der chemischen Industrie und der Papierindustrie in Nordtirol, Stand Juni 2013	27
Abbildung 23: Flussschema	38
Abbildung 24: Schematische Darstellung des Auswertprinzips.....	39
Abbildung 25: Dünnschliffaufnahme des Innsbrucker Quarzphyllits (Universität Innsbruck).....	58
Abbildung 26: Dünnschliffaufnahme des Bündnerschiefers (Universität Innsbruck)	62
Abbildung 27: Dünnschliffaufnahme des Zentralgneises (Universität Innsbruck).....	64
Abbildung 28: Die Rohstoffanforderungen im Siebturmprinzip.....	72

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtige Alpentransversalen (vgl. Bergmeister 2010a)	2
Tabelle 2: Wichtige Bahntunnel (vgl. Bergmeister 2010a).....	2
Tabelle 3: Geologisch-tektonische Einheiten im Bereich des Brenner Basistunnels (vgl. Brandner et al 2008)	7
Tabelle 4: Durchhörterte Gesteine im österreichischen Abschnitt des Brenner Basistunnels (vgl. Brandner et al 2008).....	10
Tabelle 5: Grundsätzliche Verwertungsmöglichkeiten von Ausbruchmaterial (vgl. Erben & Galler 2013).....	16
Tabelle 6: Einsatzbereiche vor Ort mit Anforderungen und Aufbereitungsart (vgl. Voit 2013).....	18
Tabelle 7: Nutzbarmachung für Schütt- und Füllmaterial (vgl. Voit 2013).....	19
Tabelle 8: Nutzbarmachung für Dichtmaterial (vgl. Voit 2013).....	19
Tabelle 9: Nutzbarmachung für gebundene oder ungebundene Tragschichten (vgl. Voit 2013).....	19
Tabelle 10: Nutzbarmachung für Gesteinskörnung von Beton (vgl. Voit 2013)	20
Tabelle 11: Potentielle Einsatzgebiete vor Ort (vgl. Voit 2013).....	20
Tabelle 12: Industriemineral-Gruppen (vgl. Lorenz und Gwosdz 1997 - 2000, 2003, 2005, Gwosdz et al 2006 und 2008, Elsner 2006).....	21
Tabelle 13: Industrielle Einsatzmöglichkeiten von Tonmineralen, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)	22
Tabelle 14: Industrielle Einsatzmöglichkeiten von Tonmineralen, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)	23
Tabelle 15: Gemengebestandteile der Tonminerale, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)....	29
Tabelle 16: Gemengebestandteile der Tonminerale, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)....	30
Tabelle 17: Gemengebestandteile der Tonminerale, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)....	31
Tabelle 18: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	35
Tabelle 19: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	36

Tabelle 20: Mineralogische Zusammensetzung Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	37
Tabelle 21: Verwendete Formeln	39
Tabelle 22: Erläuterungen zu den verwendeten Formeln.....	40
Tabelle 23: Erläuterungen zu den Auswertetabellen.....	40
Tabelle 24: RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit (vgl. Voit 2013).....	42
Tabelle 25: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppen 3 und 4.....	43
Tabelle 26: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppe 5	44
Tabelle 27: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppen 6 und 11	45
Tabelle 28: Vergleich RFA-Ergebnisse Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppe 9	46
Tabelle 29: RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer (vgl. Voit 2013).....	47
Tabelle 30: Vergleich RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppen 3 und 4	48
Tabelle 31: Vergleich RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppen 5 und 9	49
Tabelle 32: Vergleich RFA-Ergebnisse Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppe 6	50
Tabelle 33: RFA-Ergebnisse Zentralgneis (vgl. Voit 2013).....	51
Tabelle 34: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppen 3 und 5	52
Tabelle 35: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppe 4	53
Tabelle 36: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppe 6, Teil 1	54
Tabelle 37: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppe 6, Teil 2.....	55
Tabelle 38: Vergleich RFA-Ergebnisse Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppen 7, 9 und 11	56
Tabelle 39: Modaler Mineralbestand des Innsbrucker Quarzphyllits	58

Tabelle 40: Vergleich Mineralbestand Innsbrucker Quarzphyllit mit den Industriemineralen der Gruppe 3	59
Tabelle 41: Modaler Mineralbestand des Bündnerschiefers	61
Tabelle 42: Vergleich Mineralbestand Bündnerschiefer mit den Industriemineralen der Gruppe 3	62
Tabelle 43: : Modaler Mineralbestand vom Zentralgneis	63
Tabelle 44: Vergleich Mineralbestand Zentralgneis mit den Industriemineralen der Gruppen 3, 5 und 6	64
Tabelle 45: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 1999)	65
Tabelle 46: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz und Gwosdz 2000)	66
Tabelle 47: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Feldspäte und andere Flussmittel (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003).....	66
Tabelle 48: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)	67
Tabelle 49: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Glimmer (vgl. Gwosdz et al 2006)	67
Tabelle 50: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Innsbrucker Quarzphyllit als Ersatz für Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2008)	68
Tabelle 51: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Bündnerschiefer als Ersatz für aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)	69
Tabelle 52: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Zentralgneis als Ersatz für vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz und Gwosdz 2000).....	70
Tabelle 53: Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Zentralgneis als Ersatz für Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 1999).....	71
Tabelle 54: : Potentielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von Zentralgneis als Ersatz für aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005).....	71
Tabelle 55: Chemische Zusammensetzung Tone, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003).....	88
Tabelle 56: Chemische Zusammensetzung Tone, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003).....	89
Tabelle 57: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	89

Tabelle 58: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	89
Tabelle 59: Chemische Zusammensetzung Sulfatgesteine (vgl. Lorenz & Gwosdz 1998 und 2003).....	90
Tabelle 60: Chemische Zusammensetzung Quarzrohstoffe, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	90
Tabelle 61: Chemische Zusammensetzung Quarzrohstoffe, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	91
Tabelle 62: Chemische Zusammensetzung Quarzrohstoffe, Teil 3 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	91
Tabelle 63: Chemische Zusammensetzung Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)	91
Tabelle 64: Chemische Zusammensetzung Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)	92
Tabelle 65: Chemische Zusammensetzung Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)	92
Tabelle 66: Chemische Zusammensetzung Aluminiumoxidreiche Rohstoffe, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)	93
Tabelle 67: Chemische Zusammensetzung Aluminiumoxidreiche Rohstoffe, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)	93
Tabelle 68: Chemische Zusammensetzung Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005).....	94
Tabelle 69: Chemische Zusammensetzung Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze (vgl. Gwosdz et al 2006).....	94
Tabelle 70: Chemische Zusammensetzung Glimmer, Teil 1 (vgl. Gwosdz et al 2006).....	95
Tabelle 71: Chemische Zusammensetzung Glimmer, Teil 2 (vgl. Gwosdz et al 2006).....	95
Tabelle 72: Chemische Zusammensetzung Schwerminerale (vgl. Elsner 2006)	96
Tabelle 73: Chemische Zusammensetzung Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2006)	97
Tabelle 74: Mineralogische Zusammensetzung Tone, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003).....	98
Tabelle 75: Mineralogische Zusammensetzung Tone, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003).....	98
Tabelle 76: Mineralogische Zusammensetzung Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	99

Tabelle 77: Mineralogische Zusammensetzung Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003).....	100
Tabelle 78: Mineralogische Zusammensetzung Feldspäte und andere Flussmittel (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)	101
Tabelle 79: Mineralogische Zusammensetzung Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)	102
Tabelle 80: Mineralogische Zusammensetzung Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)	102
Tabelle 81: Mineralogische Zusammensetzung Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze (vgl. Gwosdz et al 2006).....	103
Tabelle 82: Mineralogische Zusammensetzung Glimmer (vgl. Gwosdz et al 2006)	103
Tabelle 83: Mineralogische Zusammensetzung Schwerminerale (vgl. Elsner 2006).....	104
Tabelle 84: Mineralogische Zusammensetzung Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2006)	104
Tabelle 85: Umrechnungsfaktoren, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003; Lorenz & Gwosdz 2000).....	105
Tabelle 86: Umrechnungsfaktoren, Teil 2 (vgl. Gwosdz et al 2006; Gwosdz et al 2008)	106
Tabelle 87: Untergeordnete Minerale der Gruppe 1, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	106
Tabelle 88: Untergeordnete Minerale der Gruppe 1, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	107
Tabelle 89: Untergeordnete Minerale der Gruppe 1, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	108
Tabelle 90: Untergeordnete Minerale der Gruppe 3, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	108
Tabelle 91: Untergeordnete Minerale der Gruppe 3, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	109
Tabelle 92: Untergeordnete Minerale der Gruppe 4, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	109
Tabelle 93: Untergeordnete Minerale der Gruppe 4, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	110
Tabelle 94: Untergeordnete Minerale der Gruppe 4, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	111
Tabelle 95: Untergeordnete Minerale der Gruppe 5, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	111
Tabelle 96: Untergeordnete Minerale der Gruppe 5, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	112
Tabelle 97: Untergeordnete Minerale der Gruppe 5, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)..	113
Tabelle 98: Untergeordnete Minerale der Gruppe 6 (vgl. Mineralienatlas 2014).....	114
Tabelle 99: Untergeordnete Minerale der Gruppe 7 (vgl. Mineralienatlas 2014).....	115
Tabelle 100: Untergeordnete Minerale der Gruppe 8, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)	115
Tabelle 101: Untergeordnete Minerale der Gruppe 8, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)	116
Tabelle 102: Untergeordnete Minerale der Gruppe 9 (vgl. Mineralienatlas 2014).....	116

Tabelle 103: Untergeordnete Minerale der Gruppe 10, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)	116
Tabelle 104: Untergeordnete Minerale der Gruppe 10, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)	117
Tabelle 105: Untergeordnete Minerale der Gruppe 10, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)	118
Tabelle 106: Untergeordnete Minerale der Gruppe 11 (vgl. Mineralienatlas 2014).....	118
Tabelle 107: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Tonminerale, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)	119
Tabelle 108: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Tonminerale, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)	120
Tabelle 109: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Karbonatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003).....	121
Tabelle 110: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Karbonatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003).....	122
Tabelle 111: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Sulfatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 1998 und 2003).....	122
Tabelle 112: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Sulfatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 1998 und 2003).....	123
Tabelle 113: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Quarzrohstoffe, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003).....	123
Tabelle 114: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Quarzrohstoffe, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003).....	124
Tabelle 115: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003).....	125
Tabelle 116: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)	126
Tabelle 117: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)	127
Tabelle 118: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)	127
Tabelle 119: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)	128
Tabelle 120: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2006)	128

Tabelle 121: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2006) 129

Tabelle 122: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Glimmer (vgl. Gwosdz et al 2006) .. 130

Tabelle 123: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Schwerminerale (vgl. Gwosdz et al 2006)..... 131

Tabelle 124: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2008)..... 132

8 Literaturverzeichnis

Abfallwirtschaftsgesetz AWG (2002): Verfügbar unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20002086/AWG%202002%2c%20Fassung%20vom%2003.12.2013.pdf> (Stand 2013-12-03).

BBT (2008a): UVE – Ausbruchmaterial und Eigenschaften. Technische Projektaufbereitung. Fachbereich Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie. Haupttunnel, Technischer Bericht G 1.2a-03. Verfasser: Geoteam.

BBT (2008b): Ausbruchmaterialbewirtschaftungskonzept. Eisenbahnrecht, Technische Projektaufbereitung. Fachbereich Bauphasen. KL-D0118-BR-04340-10.

BBT (2008c): UVE – Baulogistikkonzept Österreich. Technische Projektaufbereitung. Fachbereich Bauphasen. KL-D0118-TB-02369-10.

BBT SE (2013): Verfügbar unter:

<http://www.bbt-se.com/> (Stand 2013-12-08).

Bergmeister, Konrad (2010b): Brenner Basistunnel: Aktueller Stand. Tunnel 1/2010. Gütersloh: Bauverlag BV GmbH.

Bergmeister, Konrad (2008): Brenner Basistunnel. Lebensräume und Verkehrswege. 1. Auflage. Innsbruck: Tappeiner.

Bergmeister, Konrad (2010a): Herausforderungen für den Massivbau bei großen Alpentransversalen. 14. Münchner Massivbau Seminar, 5.10.2010, Technische Universität München.

Brandner, Rainer; Reiter, Franz & Töchterle, Andreas (2008): Überblick zu den Ergebnissen der geologischen Vorerkundung für den Brenner-Basistunnel. In: Geo.Alp, Vol.5, S. 165-174.

Bundesgesetz über den Umweltschutz USG (1983): Verfügbar unter:

<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19830267/201311010000/814.01.pdf> (Stand 2013-12-03).

Deponieverordnung DVO (2008): Verfügbar unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20005653/DVO%202008%2c%20Fassung%20vom%2003.12.2013.pdf> (Stand 2013-12-03).

Elsner, Harald (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 12: Schwerminerale. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 13. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Entacher, Martin (2010): Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial. Rechtliche Grundlagen in Österreich, der Schweiz und Italien. Diplomarbeit, Sep. 2010, Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen.

Erben, Hartmut & Galler, Robert (2013): Ressourceneffizienz im Tunnelbau – On-site Analysemöglichkeiten für die Weiterverwertung von Tunnelausbruchmaterial. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 2013, Vol. 158 (12), S. 514-520.

FFG – Recycling von Tunnelausbruchmaterial (2013): Endbericht. Projektnummer 827425, Leitung: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler (Montanuniversität Leoben), Dipl.-Ing. Michael Pauser. Projektzeitraum: 1.1.2010 – 31.12.2012. Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH, Wien.

Gwosdz, Werner & Lorenz, Walter (2005): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 8: Aluminiumoxidreiche Rohstoffe & Teil 9: Magnesiumoxidreiche Rohstoffe. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 11. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Gwosdz, Werner; Röhling, Simone & Lorenz, Walter (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 10: Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze & Teil 11: Glimmer (Muskovit, Phlogopit, Sericit, Vermiculit, Glaukonit, Chlorit). Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 12. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Gwosdz, Werner; Röhling, Simone & Lorenz, Walter (2008): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 13: Beryllium-Mineralien, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineralien und Zeolithe. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 14. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Lorenz, Walter & Gwosdz, Werner (1997): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 1: Tone. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 2. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Lorenz, Walter & Gwosdz, Werner (1998): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 2: Karbonat- und Sulfatgesteine. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 4. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Lorenz, Walter & Gwosdz, Werner (1999): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 3: Quarzrohstoffe. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 6. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Lorenz, Walter & Gwosdz, Werner (2000): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 4: Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 7. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Lorenz, Walter & Gwosdz, Werner (2003): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 7: Feldspäte und andere Flussmittel. Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 10. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Lorenz, Walter & Gwosdz, Werner (2003): Handbuch zur geologisch-technischen Bewertung von mineralischen Baurohstoffen. Geologisches Jahrbuch Sonderheft Reihe H, Heft SH 16. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

Mineralienatlas (2014): Verfügbar unter:
<http://www.mineralienatlas.de/> (Stand 2014-01-25).

Montanuniversität Leoben (2013): Verfügbar unter:
<https://www.unileoben.ac.at/content/view/2937/464/lang,de/> (Stand 2013-12-21).

Voit, Klaus (2013): Einsatz und Optimierung von Tunnelausbruchmaterial des Brenner Basistunnels. Dissertation, Juli 2013, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für konstruktiven Ingenieurbau.

Wikipedia (2014): Verfügbar unter:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite> (Stand 2014-01-25).

Wikipedia (2014): Verfügbar unter:
http://de.wikipedia.org/wiki/Tirol_%28Bundesland%29 (Stand 2014-01-22).

9 Abkürzungsverzeichnis

allg.	allgemein
Bgld.	Burgenland
BS	Bündnerschiefer
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
GA	Gesteinsart
gg.	gegen
GV	Glühverlust
H	Härte nach Mohs
IQP	Innsbrucker Quarzphyllit
k. A.	keine Angabe
km	Kilometer
KS	Kristallsystem
Ktn.	Kärnten
lt.	laut
m	Meter
m ³	Kubikmeter
M.-%	Massenprozent
Mio.	Millionen
µm	Mikrometer
NÖ	Niederösterreich
OÖ	Oberösterreich
Org.	organische Substanz
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
Sbg.	Salzburg
t	Tonne, Tonnen
u. a.	unter anderem, und andere
TBM	Tunnelbohrmaschine
t/Jahr	Tonnen pro Jahr
Vbg.	Vorarlberg
W	Wien
z.B.	zum Beispiel
ZG	Zentralgneis

10 Anhang

10.1 Typische Lagerstättengehalte

10.1.1 Geochemische Zusammensetzung

Die Angabe der chemischen und mineralogischen Zusammensetzungen in Kapitel 10.1.1 und Kapitel 10.1.2 erfolgt in Prozent (%). Ausnahmen sind in den Tabellen entsprechend gekennzeichnet.

1 Tone

	Kaolin Roherz		Kaolin- itischer Ton	Siliceous ball clay	Feuerfeste Tone	Halloysit
	Primär (in situ)	Sekundär (umgelagert)				
SiO ₂	62,0 - 87,0	43,7 - 44,8	45,0 - 60,0	60,0 - 80,0	39,0 - 81,6	27,2 - 74,1
Al ₂ O ₃	12,0 - 23,0	38,4 - 39,9	25,0 - 35,0	15,0 - 25,0	11,9 - 40,1	18,1 - 41,3
TiO ₂	0,1 - 0,2	1,4 - 1,8	~ 1,0		0,3 - 2,3	< 1,3
Fe ₂ O ₃	0,2 - 4,5	0,2 - 1,9	< 2,0		0,1 - 5,6	0,1 - 4,2
FeO	-	-	-		-	-
CaO	0,2 - 0,7	-	< 1,0		< 1,6	< 2,3
MgO	0,1 - 1,5	-	< 0,75		< 1,7	< 1,2
Na ₂ O	< 0,1	-	0,5 - 4,0		0,05 - 1,1	0,01 - 2,45
K ₂ O	0,2 - 4,7	0,1 - 0,5			0,07 - 4,2	0,02 - 2,3
Org.	-	-	-	-	< 9,9	-
GV	2,5 - 9,5	-	-	-	5,0 - 19,6	12,7 - 30,6

Tabelle 55: Chemische Zusammensetzung Tone, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003)

	Illit	Bentonit	Hornit		Blähton und -schiefer
			Palygorskit	Sepiolith	
SiO ₂	47,0 - 54,2	40,9 - 72,5	46,7 - 57,9	28,2 - 64,0	44,4 - 80,0
Al ₂ O ₃	14,2 - 35,6	11,3 - 33,0	7,9 - 15,7	0,2 - 7,1	8,0 - 25,0
TiO ₂	0,2 - 1,4	0,1 - 12,0	0,2 - 0,6	< 0,05	0,2 - 1,1
Fe ₂ O ₃	0,7 - 13,1	0,9 - 13,2	0,9 - 6,3	< 9,1	2,6 - 12,0
FeO	0,2 - 2,4	< 2,2	0,2 - 1,2	< 2,4	
CaO	0,1 - 0,7	< 7,0	0,1 - 8,4	< 30,5	0,5 - 5,9
MgO	0,3 - 4,3	0,8 - 6,8	4,6 - 13,4	9,7 - 24,5	0,3 - 4,6
Na ₂ O	0,05 - 0,5	0,1 - 3,4	< 0,6	< 0,7	0,2 - 6,0
K ₂ O	6,1 - 10,3	< 5,4	< 3,9	< 1,4	1,5 - 5,1
MnO	-	-	-	-	< 0,5
SO ₃	-	-	-	-	< 0,8
H ₂ O	-	4,0 - 23,0	< 19,54	~ 21,0	-
Org.	-	-	-	< 3,0	-
GV	-	5,9 - 16,3	9,9 - 28,0	-	0,38 - 15,1

Tabelle 56: Chemische Zusammensetzung Tone, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003)

2a Karbonatgesteine

	Kalkstein						
	hochrein	rein	Standard- qualität	niedrige Qualität	unrein	Steinbruch Micheldorf	Steinbruch Bad Häring
CaCO ₃	> 98,5	97,0 - 98,5	93,5 - 97,0	85,0 - 93,5	< 85,0	-	96,46
SiO ₂	-	-	-	-	-	5,64 - 11,37	1,33
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	1,03 - 3,13	0,66
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,62 - 1,28	0,24
CaO	-	-	-	-	-	43,44 - 49,26	-
MgO	-	-	-	-	-	1,66 - 3,30	2,13
K ₂ O	-	-	-	-	-	< 0,79	0,1
SO ₃	-	-	-	-	-	< 0,54	0,18
GV	-	-	-	-	-	-	43,65

Tabelle 57: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

	Dolomitstein	Magnesit		
		Spatmagnesit	Gelmagnesit	Steinbruch Weißenstein
SiO ₂	< 3,1	< 6,0	0,16 - 5,4	< 0,5
Al ₂ O ₃	< 1,41	0,03 - 0,65	< 0,7	-
Fe ₂ O ₃	< 1,3	0,2 - 6,0	0,03 - 1,5	< 2,0
CaO	29,86 - 36,8	0,1 - 12,0	< 7,9	< 15,0
MgO	16,48 - 22,4	36,0 - 47,5	40,4 - 47,8	-
MnO	< 0,1	-	-	-
GV	43,6 - 48,0	48,0 - 52,0	46,5 - 52,1	-

Tabelle 58: Chemische Zusammensetzung Karbonatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

2b Sulfatgesteine

	Calciumsulfate		Baryt		Coelestin
	Natürlicher Gipsstein	Natürlicher Anhydritstein	Schichtgebundene Lagerstätten	Ganglagerstätten	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	91,7 - 96,61	0,29 - 6,2	-	-	-
CaSO ₄ II	0,29 - 6,4	50,5 - 94,9	-	-	-
CaSO ₄	-	-	-	-	< 4,0
SrSO ₄	-	-	0,03 - 4,1	0,07 - 13,59	8,8 - 99,8
BaSO ₄	-	-	10,0 - 99,8	30,6 - 99,9	< 13,4
MgCO ₃	0,1 - 0,6	2,0 - 3,6	-	-	-
CaCO ₃	1,3 - 1,9	2,27 - 5,3	-	-	0,13 - 60,0
SiO ₂	-	-	-	-	< 30,0
Al ₂ O ₃	0,01 - 4,69	0,01 - 3,32	-	-	< 12,0
Fe ₂ O ₃			-	-	< 13,0
CaO	24,4 - 33,6	25,5 - 41,44	-	-	-
MgO	0,05 - 3,8	0,33 - 4,5	-	-	-
Na ₂ O	< 0,06	0,04 - 0,27	-	-	-
K ₂ O	~ 1,0	~ 1,0	-	-	-
P ₂ O ₅	< 0,05	< 0,08	-	-	-
SO ₃	31,3 - 46,4	29,7 - 55,95	-	-	-
SrO	< 0,16	0,17 - 0,24	-	-	-
F	< 0,05	< 0,06	-	-	-
Cl	~ 0,04	~ 0,3	-	-	-
H ₂ O	15,2 - 20,22	0,06 - 1,3	-	-	-
HCl-Unlösliches	0,1 - 14,9	0,1 - 26,2	-	-	-

Tabelle 59: Chemische Zusammensetzung Sulfatgesteine (vgl. Lorenz & Gwosdz 1998 und 2003)

3 Quarzrohstoffe

	Bergkristall	Gangquarz	Rhyolith	Quarzsand	Felsquarzit
SiO ₂	> 99,75	98,38 - 99,8	~ 75,0	> 74,4	94,1 - 99,27
Al ₂ O ₃	< 0,024	< 1,27	~ 15,0	0,04 - 9,6	0,1 - 3,46
TiO ₂	< 0,01	< 0,034	~ 0,33	< 0,58	< 0,17
Fe ₂ O ₃	< 0,02	< 0,28	< 2,1	< 2,04	< 1,6
CaO	< 0,013	< 0,12	~ 0,11	< 8,5	< 0,13
MgO	< 0,0001	< 0,141	< 0,2	< 1,3	< 0,16
Na ₂ O	< 0,005	< 0,18	< 0,1	< 1,65	< 0,13
K ₂ O	< 0,011	< 0,21	~ 0,03	< 1,18	0,01 - 1,08
MnO	-	-	< 0,005	-	< 0,06
P ₂ O ₅	-	-	< 0,04	< 0,01	< 0,03
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	< 0,003
CoO	-	-	-	-	< 0,004
Cr	-	-	-	0,0004 - 0,017	-
Co	-	-	-	< 0,0005	-
GV	< 0,132	0,07 - 0,46	7,39 - 7,72	0,13 - 6,87	< 0,97

Tabelle 60: Chemische Zusammensetzung Quarzrohstoffe, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

	Zementquarzit	Quarzsandstein	Quarzkies	Diatomit
SiO ₂	96,5 - 99,5	~ 97,55	> 98,0	38,59 - 93,8
Al ₂ O ₃	0,25 - 1,0	0,64 - 2,49	0,3 - 0,7	0,34 - 21,9
TiO ₂	-		0,04 - 0,1	< 1,0
Fe ₂ O ₃	0,05 - 1,0	~ 0,41	0,015 - 0,5	< 9,92
CaO	< 0,2	~ 0,05	-	< 17,69
MgO	Spuren	-	-	< 6,5
Na ₂ O	-	~ 0,25	-	< 8,18
K ₂ O	-	-	-	0,02 - 2,11
P ₂ O ₅	-	-	-	< 5,53
S	-	-	-	< 6,2
Org.	-	-	-	< 26,0
GV	< 1,13	-	< 0,13	0,5 - 47,0

Tabelle 61: Chemische Zusammensetzung Quarzrohstoffe, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

	Tripel	Kieselkreide	Hornstein	Chert, Lydit, Novaculit
SiO ₂	84,51 - 99,64	88,2 - 97,04	95,3 - 99,53	86,1 - 99,6
Al ₂ O ₃	0,16 - 10,38	1,17 - 7,78	0,01 - 3,01	< 9,7
TiO ₂	0,01 - 0,48	0,09 - 0,36	< 0,01	< 0,67
Fe ₂ O ₃	0,04 - 2,1	0,09 - 0,27	< 0,33	< 3,85
CaO	0,04 - 1,76	0,1 - 0,28	< 0,7	< 1,68
MgO	0,01 - 0,46	< 0,09	< 0,22	0,02 - 0,03
Na ₂ O	< 0,23	0,02 - 0,24	< 0,1	< 0,12
K ₂ O	< 0,56	0,21 - 0,39	< 0,1	< 2,63
MnO	< 0,02	-	< 0,07	-
GV	0,43 - 3,67	1,05 - 2,93	0,33 - 1,76	0,1 - 3,5

Tabelle 62: Chemische Zusammensetzung Quarzrohstoffe, Teil 3 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

	Vulkanische Gesteine allgemein	Bims	Vulkanische Tuffgesteine	Perlit	Basalt
SiO ₂	40,6 - 72,8	51,2 - 76,0	40,0 - 74,0	67,7 - 77,5	41,85 - 49,93
Al ₂ O ₃	13,27 - 19,04	10,5 - 23,5	10,9 - 30,0	9,0 - 16,3	11,85 - 13,09
TiO ₂	0,28 - 2,66	< 1,22	< 3,0	< 0,92	2,36 - 2,48
Fe ₂ O ₃	1,48 - 5,48	< 7,12	1,22 - 25,0	0,04 - 2,4	4,71 - 6,15
FeO	1,11 - 7,5	< 5,81	1,32 - 8,74	0,12 - 4,84	5,0 - 6,23
CaO	1,14 - 11,89	0,24 - 9,16	1,0 - 12,48	0,16 - 4,61	8,77 - 13,25
MgO	0,39 - 8,54	< 3,98	0,5 - 8,46	< 1,38	9,59 - 12,95
Na ₂ O	2,91 - 7,79	1,23 - 11,7	0,27 - 12,0	1,98 - 5,93	2,81 - 3,34
K ₂ O	1,1 - 5,24	0,06 - 7,04	0,12 - 8,95	0,64 - 6,6	0,63 - 1,58
MnO	0,06 - 0,26	0,04 - 0,73	< 0,21	0,01 - 0,5	0,17 - 0,24
P ₂ O ₅	0,07 - 1,07	< 0,73	-	-	0,36 - 0,74
SO ₃	-	-	-	-	~ 0,03
CO ₂	0,02 - 0,6	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	0,01 - 6,48	-
GV	-	0,13 - 13,8	1,5 - 19,1	-	0,63 - 2,06

Tabelle 63: Chemische Zusammensetzung Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

5 Feldspäte und andere Flussmittel

	Feldspat und Feldspatgesteine	Foidgesteine		Wollastonit-Roherz	Alumino-fluorid-Mineraler
		Nephelinsyenit	Phonolith		Kryolith
SiO ₂	46,6 - 88,4	47,13 - 64,7	48,2 - 61,5	32,0 - 57,0	-
Al ₂ O ₃	6,47 - 33,3	17,3 - 27,55	17,4 - 24,0	< 9,22	-
TiO ₂	< 1,48	< 1,2	< 0,63	-	-
Fe ₂ O ₃	< 4,4	0,08 - 6,43	0,98 - 7,25	< 16,06	-
CaO	< 16,9	0,13 - 6,26	0,64 - 8,5	31,6 - 51,3	-
MgO	< 3,3	< 1,8	< 1,7	< 4,59	-
Na ₂ O	0,2 - 15,1	6,24 - 14,71	4,34 - 10,4	-	-
K ₂ O	0,14 - 14,94	2,40 - 8,36	4,1 - 10,0	-	-
MnO	< 0,92	< 0,35	< 0,38	-	-
P ₂ O ₅	0,02 - 0,86	< 0,27	< 0,46	-	-
F	-	-	-	-	35,0 - 60,79
CO ₂	-	-	0,2 - 3,8	-	-
GV	0,04 - 4,5	0,1 - 2,91	0,91 - 5,22	0,4 - 18,7	-

Tabelle 64: Chemische Zusammensetzung Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

	Lithium - Minerale					Bor - Minerale
	Spodumen - Konzentrat	Petalit - Konzentrat	Lepidolith - Konzentrat	Amblygonit - Konzentrat	Lithium - Carbonat	
Fe ₂ O ₃	< 0,2	< 0,15	< 0,2	< 0,2	< 0,005	-
Na ₂ O	< 0,6	< 0,5	-	-	< 0,2	-
K ₂ O	< 0,1	< 0,15	-	-	-	-
P ₂ O ₅	> 4,8	-	-	-	-	-
Li ₂ O	> 3,5	> 4,0	> 7,0	-	-	-
Li ₂ CO ₃	-	-	-	-	> 99,0	-
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	21,8 - 62,16
B	-	-	-	-	-	6,8 - 20,0
SO ₄	-	-	-	-	< 0,3	-
Cl	-	-	-	-	< 0,003	-
H ₂ O	< 0,1	-	-	-	< 0,5	15,4 - 47,2
Unlösliches	-	-	-	-	< 0,02	-

Tabelle 65: Chemische Zusammensetzung Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

	Roh-Alunit	Bauxit		Korund	Schmirgel
		Laterit - Bauxit	Karst - Bauxit		
SiO ₂	< 55,77	0,1 - 37,0	0,3 - 47,0	3,0 - 11,6	1,61 - 28,0
Al ₂ O ₃	15,0 - 45,1	20,0 - 74,0	13,6 - 80,7	> 82,8	44,0 - 84,0
TiO ₂	0,2 - 0,8	0,2 - 23,0	0,5 - 9,0	0,1 - 2,7	~ 2,0
Fe ₂ O ₃	< 24,7	0,5 - 64,0	0,3 - 58,4	0,3 - 3,3	8,62 - 50,21
CaO	0,45 - 4,0	-	-	0,3 - 2,3	0,48 - 1,8
MgO	0,1 - 1,6	-	-	< 1,8	-
Na ₂ O	0,1 - 4,2	-	-	-	-
K ₂ O	2,2 - 12,5	-	-	-	-
P ₂ O ₅	~ 3,50	-	-	-	-
SO ₃	7,69 - 38,83	-	-	-	-
H ₂ O		-	-	-	-
GV	4,0 - 36,2	11,0 - 33,0	6,0 - 30,1	0,1 - 2,8	1,9 - 5,62

Tabelle 66: Chemische Zusammensetzung Aluminiumoxidreiche Rohstoffe, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

	Sillimanit - Minerale				Pyrophyllit-Roherz
	Disthen-Roherz	Andalusit-Roherz	Sillimanit-Roherz	Natürlicher Mullit	
SiO ₂	20,38 - 80,0	31,34 - 65,38	10,28 - 78,5	29,17 - 31,93	42,7 - 81,94
Al ₂ O ₃	13,16 - 77,5	19,0 - 60,5	17,77 - 88,25	64,35 - 68,16	12,7 - 43,48
TiO ₂	< 5,27	0,17 - 2,78	0,15 - 5,55	0,55 - 2,27	< 2,8
Fe ₂ O ₃	< 5,83	< 7,92	0,38 - 13,0	0,62 - 5,93	< 6,5
CaO	< 3,1	< 3,28	< 1,0	-	< 2,8
MgO	< 1,4	0,28 - 2,15	< 0,92	-	< 2,24
Na ₂ O	< 1,12	0,16 - 2,02	0,02 - 0,62	-	< 3,9
K ₂ O	< 1,13	0,80 - 4,96	0,12 - 4,84	-	< 8,71
GV	0,24 - 3,2	2,59 - 3,35	0,12 - 5,65	-	2,4 - 11,18

Tabelle 67: Chemische Zusammensetzung Aluminiumoxidreiche Rohstoffe, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

7 Magnesiumoxidreiche Rohstoffe

	Talk-Roherz	Olivin / Dunit	Asbest *)	
			Serpentin - Gruppe	Amphibol - Gruppe
SiO ₂	6,45 - 73,2	37,4 - > 44,87	35,0 - 44,0	45,0 - 64,0
Al ₂ O ₃	< 37,09	0,16 - 2,0	3,09 - 4,66	< 4,0
Fe - Oxide	-	-	< 9,0	1,0 - 46,0
TiO ₂	< 0,37	-	-	-
Fe ₂ O ₃	< 12,32	0,18 - 6,21	0,1 - 1,59	0,03 - 18,55
FeO	-	5,79 - 7,18	2,0 - 9,0	2,0 - 39,7
MgO	13,74 - 37,1	35,58 - 50,5	36,0 - 44,0	1,06 - 35,0
CaO	< 6,8	0,2 - 2,2	< 2,03	0,49 - 12,34
Na ₂ O	< 0,29	-	< 0,1	< 5,0
K ₂ O	< 1,0	-	0,04 - 0,18	0,09 - 6,91
MnO	-	0,04 - 0,22	0,03 - 0,26	< 0,63
NiO	-	0,02 - 0,38	-	< 1,76
CoO	-	< 0,02	-	-
Cr ₂ O ₃	-	0,16 - 2,2	-	-
CO ₂	-	-	0,44 - 2,13	< 0,45
Alkalien	-	< 0,12	-	-
H ₂ O	-	-	12,0 - 15,0	1,0 - 5,0
GV	1,0 - 25,63	0,33 - 3,0	-	-

Tabelle 68: Chemische Zusammensetzung Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

*) heute durch physiologisch unschädliche Fasern ersetzt

8 Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze

	Phosphat-Mineraie	Schwefel	Natrium-, Kalium- und Magnesium-Salze		
		Sulfide / Sulfate	Natriumcarbonat	Natriumsulfat	Magnesium-Salze
			Mineral		
P ₂ O ₅	4,0 - 42,4	-	-	-	-
S	-	13,4 - 53,3	-	-	-
Na ₂ CO ₃	-	-	13,6 - 85,5	-	-
Na ₂ SO ₄	-	-	-	42,5 - 100,0	-
Na	-	-	-	-	13,75 - 25,25
K	-	-	-	-	12,97 - 21,33
Mg	-	-	-	-	4,03 - 17,57
Ca	-	-	-	-	7,74 - 13,29
SO ₄	-	-	-	-	38,97 - 70,3
Cl	-	-	-	-	14,5 - 41,1
H ₂ O	-	-	-	-	5,98 - 53,16

Tabelle 69: Chemische Zusammensetzung Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze (vgl. Gwosdz et al 2006)

9 Glimmer

Glimmer				
Muskovit - Gruppe				
	Muskovit	Paragonit	Sericit-Erze	Glaukonit
SiO ₂	42,5 - 49,7	43,9 - 45,9	41,2 - 81,48	30,0 - 77,8
Al ₂ O ₃	31,0 - 37,2	37,4 - 41,05	12,42 - 39,9	4,30 - 16,22
TiO ₂	0,02 - 0,7	0,06 - 1,5	0,08 - 0,89	0,03 - 0,95
Fe ₂ O ₃	0,4 - 4,8	0,31 - 1,27	0,1 - 2,03	3,54 - 28,07
FeO	0,76 - 1,76	-	~ 0,1	0,61 - 7,05
CaO	0,05 - 0,4	0,3 - 0,89	< 0,68	< 16,0
MgO	0,1 - 1,2	0,29 - 0,8	< 9,61	< 6,93
Na ₂ O	0,4 - 1,34	4,59 - 8,2	0,28 - 0,5	< 11,38
K ₂ O	8,1 - 10,8	0,47 - 2,15	2,1 - 9,51	0,80 - 9,64
F	0,26 - 0,74	-	-	-
S	-	-	< 0,005	-
P	-	-	< 0,014	-
P ₂ O ₅	-	0,05 - 0,33	-	0,12 - 3,3
SO ₃	-	0,09 - 0,6	-	-
H ₂ O	-	-	-	-
GV	4,1 - 6,5	4,47 - 5,82	1,67 - 5,62	2,26 - 12,3

Tabelle 70: Chemische Zusammensetzung Glimmer, Teil 1 (vgl. Gwosdz et al 2006)

Glimmer				
Biotit - Gruppe				
	Biotit	Phlogopit	Vermiculit	Chlorit
SiO ₂	35,13	39,8 - 49,35	35,93 - 45,6	22,0 - 38,26
Al ₂ O ₃	12,6	7,35 - 23,0	8,31 - 17,26	10,0 - 48,4
TiO ₂	2,14	0,42 - 4,0	0,05 - 2,11	0,03 - 0,06
Fe ₂ O ₃	5,67	0,74 - 3,0	1,40 - 13,0	0,1 - 4,84
FeO	20,37	2,8 - 8,55	0,09 - 1,98	< 36,27
CaO	0	< 12,25	0,5 - 6,86	< 1,82
MgO	9,48	10,62 - 22,0	18,32 - 29,66	0,05 - 35,56
Na ₂ O	0,62	0,06 - 1,40	0,06 - 0,8	0,01 - 1,08
K ₂ O	9,01	5,12 - 12,03	0,03 - 7,84	-
F	1,56	0,02 - 2,33	-	-
P ₂ O ₅	-	0,17 - 5,57	-	-
SO ₃	-	0,07 - 0,28	-	-
Cr ₂ O ₃	-	0,06 - 0,32	-	< 9,3
MnO	-	0,07 - 0,11	-	< 43,4
NiO	-	-	-	0,2 - 29,49
CoO	-	-	-	~ 0,38
BaO	-	0,45 - 0,9	-	0,03 - 1,33
ZnO	-	-	-	~ 30,5
LiO ₂	-	-	-	0,04 - 2,45
H ₂ O	-	-	-	-
GV	3,49	1,02 - 3,67	5,29 - 22,1	-

Tabelle 71: Chemische Zusammensetzung Glimmer, Teil 2 (vgl. Gwosdz et al 2006)

10 Schwerminerale

	Ilmenit	Rutil	Zirkon (Konzentrat)	Granat	Chromit
SiO ₂	0,1 - 1,52	< 2,5	30,33 - 35,0	35,47 - 44,71	0,09 - 8,1
Al ₂ O ₃	0,1 - 1,5	< 0,6	< 17,0	20,48 - 25,29	8,12 - 25,7
TiO ₂	45,0 - 60,0	> 85,0	< 3,22	-	0,15 - 0,72
Fe ₂ O ₃	5,0 - 27,0	< 12,0	< 0,98	~ 31,4	4,48 - 12,8
FeO	9,5 - 40,0	0,1 - 2,0	-	~ 43,3	3,7 - 31,2
CaO	0,01 - 1,0	< 0,7	-	33,11 - 37,35	0,01 - 0,94
MgO	0,01 - 0,8	< 0,4	-	~ 30,0	0,65 - 20,84
P ₂ O ₅	0,01 - 0,2	< 0,17	< 0,46	-	~ 0,1
SO ₃	~ 0	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,01 - 0,2	< 0,3	< 140 ppm	-	30,34 - 59,0
MnO	0,1 - 3,0	< 2,0	-	~ 43,0	0,13 - 0,65
V ₂ O ₅	0,01 - 0,3	< 0,65	-	-	-
Nb ₂ O ₅	0,01 - 0,21	< 0,6	-	-	-
ThO ₂	< 0,02	-	-	-	-
ZrO ₂	-	< 1,0	> 27,0	-	-
HfO ₂	-	-	-	-	-
U ₃ O ₈	< 0,001	-	-	-	-
SnO ₂	-	< 100 ppm	-	-	-
As	-	< 20 ppm	-	-	-
C	-	0,04 - 0,15	-	-	-
Fe	-	1,0 - 3,6	-	-	-
P	-	< 0,05	-	-	-
S	-	< 0,2	-	-	-
Th	-	< 450 ppm	< 290 ppm	-	-
U	-	< 10 ppm	< 500 ppm	-	-
Y	-	-	< 800 ppm	-	-
Zn	-	-	< 1600 ppm	-	-
GV	-	0,05 - 3,8	0,04 - 2,23	-	0,24 - 2,8

Tabelle 72: Chemische Zusammensetzung Schwerminerale (vgl. Elsner 2006)

11 Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe

	Beryllium - Minerale		Farberden	Mangan-Mineraie	Tuffe	Zeolithe
	Beryll	Helvin				
SiO ₂	62,84 - 65,74	25,48 - 33,33	< 97,11	1,8 - 8,5	51,32 - 54,06	49,6 - 69,54
Al ₂ O ₃	16,79 - 19,17	0,03 - 4,16	< 21,68	3,12 - 7,0	16,0 - 18,34	9,86 - 19,0
TiO ₂	< 0,05	~ 0,3	0,08 - 1,3	0,04 - 0,11	-	< 0,32
Fe ₂ O ₃	< 1,37	-	0,22 - 95,0	3,0 - 5,3	2,75 - 4,28	0,06 - 1,92
FeO	< 0,52	2,03 - 18,02	< 2,0	-	-	-
CaO	0,12 - 0,71	< 1,7	< 8,0	0,1 - 0,2	1,43 - 4,73	0,7 - 5,74
MgO	0,02 - 0,52	< 2,24	< 8,0	0,18 - 0,53	0,72 - 2,05	0,09 - 0,74
BeO	11,35 - 14,28	8,9 - 14,92	-	-	-	-
MnO	< 0,19	26,51 - 51,64	0,05 - 17,13	-	-	< 0,2
Na ₂ O	< 1,54	-	0,02 - 0,29	0,04 - 0,25	0,6 - 3,99	0,17 - 4,83
Li ₂ O	< 1,39	-	-	-	-	-
K ₂ O	0,04 - 0,27	-	0,01 - 2,17	0,58 - 1,95	4,91 - 8,67	1,81 - 9,43
Rb ₂ O	< 1,09	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	0,27 - 3,1	-	-	-	-	-
ZnO	-	< 7,8	-	-	-	-
S	-	4,5 - 6,01	-	-	-	-
Cl	-	-	~ 1,8	-	-	-
MnO ₂	-	-	5,0 - 20,0	71,8 - 79,0	-	-
BaO	-	-	< 0,21	< 2,3	0,04 - 0,35	0,1 - 1,0
P ₂ O ₅	-	-	< 0,05	0,07 - 0,12	-	-
Ni	-	-	-	< 0,05	-	-
Cu	-	-	-	0,007 - 0,05	-	-
Co	-	-	-	0,012 - 0,07	-	-
Cr	-	-	-	< 0,003	-	-
Pb	-	-	-	< 0,02	-	-
Zn	-	-	-	0,001 - 0,07	-	-
Mo	-	-	-	0,003 - 0,008	-	-
SrO	-	-	-	-	< 0,98	0,02 - 0,64
Sonstige *)	-	< 5,1	-	-	-	-
H ₂ O	0,42 - 2,57	-	-	-	-	-
GV	~ 1,75	-	2,92 - 9,75	-	12,2 - 15,14	15,2 - 20,88

Tabelle 73: Chemische Zusammensetzung Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2006)

*) CaO, Al₂O₃, Na₂O, K₂O TiO₂, H₂O

10.1.2 Mineralogische Zusammensetzung

Dieses Kapitel beinhaltet typische mineralogische Zusammensetzungen von Industriemineralagerstätten. Am Ende des Kapitels werden einige Umrechnungsfaktoren angegeben, welche für die Interpretation von chemischen Analysen wichtig sind.

1 Tone

	Kaolin Roherz		Kaolinitischer Ton	Siliceous ball clay	Feuerfeste Tone
	Primär (in situ)	Sekundär (umgelagert)			
Kaolingehalt (= Tonanteil)	20,0 - 40,0	50,0 - > 90,0	-	-	-
Chlorit	-	-	-	-	< 2,0
Feldspat	1,0 - 30,0	-	-	-	-
Glimmer	3,0 - 20,0	~ 3,0	15,0 - 30,0	< 20,0	2,0 - 30,0
Illit	40,0 - 80,0	> 80,0	35,0 - 80,0	> 20,0 - 35,0	23,0 - 95,0
Kaolinit	3,0 - 11,0	-	-	-	< 20,0
Mixed layer - Mineral	10,0 - 45,0	-	8,0 - 35,0	35,0 - 60,0	< 67,0
Quarz	-	-	< 16,0		-
Org.	-	-			-

Tabelle 74: Mineralogische Zusammensetzung Tone, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003)

	Hornit		Ziegelton und -lehm	Blähton und -schiefer
	Palygorskit	Sepiolith		
Chlorit	+	-	3,0 - 8,0	5,0 - 15,0
Cristobalit	+	+	-	-
Ankerit	-	-	3,0 - 5,0	-
Dolomit	+	+	-	1,0 - 10,0
Calcit	< 15,0	5,0 - 50,0	2,0 - 20,0	1,0 - 10,0
Feldspat	+	+	3,0 - 15,0	< 10,0
Gips	-	-	~ 3,0	2,0 - 4,0
Goethit	-	-	3,0 - 5,0	-
Illit	20,0 - 40,0	+	-	< 32,0
Sericit	-	-	20,0 - 50,0	5,0 - 75,0
Kaolinit	+	-	8,0 - 80,0	-
Kaolinit fire clay	-	-	5,0 - 75,0	5,0 - 45,0
Montmorillonit	-	-	3,0 - 70,0	2,0 - 8,0
Palygorskit	< 85,0	< 40,0	-	-
Pyrit	-	-	2,0 - 4,0	1,0 - 4,0
Siderit	-	-	-	1,0 - 5,0
Quarz	+	< 5,0	8,0 - 58,0	15,0 - 45,0
Saponit	+	-	-	-
Sepiolith	< 5,0	< 95,0	-	-
Smektit	< 5,0	+	-	-
Org.	+	-	-	-
röntgenamorpher Rest	-	-	1,0 - 18,0	2,0 - 13,0

Tabelle 75: Mineralogische Zusammensetzung Tone, Teil 2 (vgl. Lorenz & Gwosdz 1997 und 2003)

2 Karbonatgesteine und Sulfatgesteine

Zu den Karbonatgesteinen und Sulfatgesteinen sind in der Fachliteratur keine Anforderungen an die mineralogische Zusammensetzung angegeben.

3 Quarzrohstoffe

	Rhyolith	Diatomit	Kieselkreide
Apatit	-	< 13,0	-
Calcit - Dolomit	-	< 46,0	-
Cristobalit	+	-	-
Feldspat	-	< 17,0	-
Gips	-	< 17,0	-
Halit	-	< 6,0	-
Kalifeldspat	~ 30,0	-	-
Plagioklas	8,0 - 18,0	46,0 - 55,0	-
Kaolinit	+	-	4,3 - 21,6
Muskovit-Illit	-	< 10,0	-
Opal	-	26,0 - 98,0	-
Pyrit	-	< 12,0	-
Quarz	36,0 - 41,0	< 28,0	78,4 - 95,7
Tonminerale	15,0 - 20,0	< 50,0	-
Sonstige	< 1,0	< 28,0	-

Tabelle 76: Mineralogische Zusammensetzung Quarzrohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

	Vulkanische Gesteine allgemein	Vulkanische Tuffgesteine	Basalt
Akzessorien	-	-	1,4 - 3,0
Albit	8,8 - 46,2	-	-
Alkali-Feldspat	-	-	~ 2,2
Anorthit	1,5 - 26,6	-	-
Apatit	0,2 - 2,5	-	-
Biotit	-	-	< 6,1
Calcit	0,05 - 1,4	~ 1,0	-
Diopsid	0,1 - 32,4	-	-
Erz	-	-	4,8 - 8,7
Fe-Oxide	-	2,0 - 9,0	-
Foid	-	-	-
Nephelin	2,2 - 21,9	-	8,6 - 10,9
Leucit	~ 13,5	-	-
Hämatit	0,5 - 5,1	-	-
Hypersthen	1,3 - 15,2	-	-
Korund	< 1,0	-	-
Magnetit	2,1 - 7,9	-	-
Orthoklas	3,1 - 30,9	-	-
Olivin	1,5 - 12,3	-	10,9 - 19,6
Plagioklas	-	1,0 - 13,0	0,5 - 47,8
Pyroxen	-	-	24,4 - 60,1
Palagonit	-	3,0 - 55,0	-
Quarz	5,0 - 32,8	-	-
Vulkanisches Glas	-	37,0 - 93,0	-
Wollastonit	~ 0,7	-	-
Zeolithe	-	3,0 - 11,0	-
Sonstige	-	-	0,8 - 14,2

Tabelle 77: Mineralogische Zusammensetzung Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

5 Feldspäte und andere Flussmittel

	Feldspat und Feldspatgesteine		Foidgesteine		Wollastonit Roherz	Fluorit
			Nephelinsyenit	Phonolith		
K - Feldspat	1,0 - 32,0	41,0	-	32,0 - 70,0	-	-
Na - Feldspat	2,0 - 67,0	-	-	-	-	-
Ca - Feldspat	~ 6,0	71,0	-	-	-	-
Albit	-		< 52,0	-	-	-
Apatit	-		-	-	-	-
Muskovit	-		~ 0,7	~ 2,0	-	-
Ägirin	-		< 6,0	-	-	-
Analcim	-		-	< 7,0	-	-
Biotit	-		< 5,5	-	-	-
Calcit	-		0,1 - 5,0	1,0 - 7,0	-	+
Fluorit	-		-	-	-	2,0 - 95,0
Glimmer	< 12,0		-	-	-	-
Hornblende	-		1,0 - 7,0	-	-	-
Kaolin / Ton	3,0 - 24,0		-	-	-	-
Melanit	-		-	< 6,0	-	-
Mikroklin	-		16,5 - 22,7	~ 38,0	-	-
Perthit	-		< 67,0	-	-	-
Nephelin	-		23,7 - 37,0	5,0 - 20,0	-	-
Plagioklas	-		-	< 7,0	-	-
Pyroxen	-		0,2 - 6,1	5,0 - 20,0	-	-
Quarz	17,0 - 80,0		-	-	-	+
Wollastonit	-		-	~ 10,0	15,0 - 95,0	-
Zeolith	-		6,5 - 8,7	< 20,0	11,0	-
Sodalith	-		-	-	-	-
Hauyn	-		-	-	45,0	-
Ägirindiopsid	-		-	-	10,0	-
Leucit	-		-	-	-	-
Magnetit	-		0,4 - 1,5	-	20,0	-
Nosean	-		-	-	-	-
Baryt, Bastnäsit, Bertrandit, Bleiglanz, Cassiterit, Coelestin, Cu-, Mo- und U-Erze, Gips, Markasit, Molybdänit, Pyrit, Scheelit, Siderit, Sulfide, Tonminerale, Wolframit, Zinn, Zinkblende	-		-	-	-	+
Sonstige	~ 1,0		-	3,0 - 7,0	-	-

Tabelle 78: Mineralogische Zusammensetzung Feldspäte und andere Flussmittel (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003)

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

	Roh-Alunit	Schmirgel	Sillimanit - Minerale	Pyrophyllit-Roherz
			Disthen-Roherz	
Alunit	20,0 - 55,0	-	-	-
Calcit	-	-	-	~ 2,0
Chloritoid	-	-	-	~ 9,0
Diaspor	-	-	-	0,5 - 22,0
Disthen	-	-	20,0 - 93,0	1,0 - 2,0
Glimmer	15,0 - 40,0	-	-	-
Goethit	5,0 - 20,0	-	-	-
Kaolinit	5,0 - 27,0	-	-	4,0 - 26,0
Korund	-	~ 50,0	-	-
Magnetit	-	~ 32,0	-	-
Muskovit	-	~ 2,0	-	8,0 - 12,0
Paragonit	-	-	-	~ 2,0
Pyrophyllit	-	-	-	40,0 - 90,0
Sericit	-	-	-	1,0 - 49,0
Quarz	1,0 - 5,0	-	-	< 47,0
Rutil	-	-	-	~ 1,0
Turmalin	-	~ 10,0	-	-
Sonstige	3,0 - 19,0	~ 5,0	-	-

Tabelle 79: Mineralogische Zusammensetzung Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

7 Magnesiumoxidreiche Rohstoffe

	Talk-Roherz
Amphibol	~ 28,0
Anthophyllit	< 10,0
Calcit	1,0 - 2,0
Chlorit	2,0 - 42,0
Dolomit	< 17,0
Magnesit	< 39,0
Magnetit	< 21,0
Quarz	< 3,0
Serpentin	< 5,0
Talk	27,0 - 95,0
Tremolit	< 55,0
Sonstige	1,0 - 10,0

Tabelle 80: Mineralogische Zusammensetzung Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz & Gwosdz 2005)

8 Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze

	Steinsalz und Kalisalze
	Kaligesteine
Anhydrit	< 1,7
Carnallit	0,2 – 86,0
Halit	8,0 – 59,5
Kainit	< 7,2
Kieserit	2,3 – 29,0
Langbeinit	< 2,5
Polyhalit	~ 0,5
Sylvin	0,7 – 52,0

Tabelle 81: Mineralogische Zusammensetzung Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze (vgl. Gwosdz et al 2006)

9 Glimmer

	Glimmer	
	Sericit-Erze	Chlorit
Chlorit	~ 33,0	xxx
Calcit	-	x
Dolomit	-	x
Feldspat	0,5 - 3,0	-
Kaolinit	7,0 - 20,0	-
Pyrophyllit	x - xxx	-
Quarz	33,0 - 70,0	x
Sericit	15,0 - 50,0	xx
Talk	-	xx

Tabelle 82: Mineralogische Zusammensetzung Glimmer (vgl. Gwosdz et al 2006)

10 Schwerminerale

	Zirkon	Granat
Andalusit	~ 0,9	-
Brookit	~ 0,2	-
Disthen	0,2 - 10,9	-
Epidot	~ 0,1	-
Granat	~ 0,3	-
Ilmenit	0,6 - 1,6	-
Korund	0,1 - 4,4	-
Leukoxen	0,2 - 0,6	-
Monazit	gering	-
Quarz	2,0 - 4,5	-
Rutil	< 2,1	-
Sillimanit	0,1 - 6,0	-
Spinell	~ 0,4	-
Staurolith	0,2 - 7,2	-
Topas	0,1 - 1,2	-
Turmalin	0,1 - 1,3	-
Zirkon	> 65,6	-
Almandin, Andradit, Grossular, Pyrop, Spessartin	-	+

Tabelle 83: Mineralogische Zusammensetzung Schwerminerale (vgl. Elsner 2006)

11 Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe

	Graphit- Roherz	Farberden
Biotit	1,0 - 7,0	-
Feldspat	-	~ 10,0
Graphit	30,0 - 39,0	-
Hämatit	-	~ 17,0
K - Feldspat	6,0 - 58,0	-
Orthopyroxen	2,0 - 10,0	-
Phyllosilikate	-	~ 54,0
Plagioklas	1,0 - 13,0	-
Quarz	1,0 - 53,0	~ 19,0
Sonstige	1,0 - 3,0	-

Tabelle 84: Mineralogische Zusammensetzung Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2006)

Umrechnungsfaktoren

Gruppe	Mineral / Erz	Umrechnung					
2a	Dolomit Dolomitstein	CaO	x	1,7800	=	CaCO ₃	
		CaCO ₃	x	0,5600	=	CaO	
		CaMg(CO ₃) ₂	x	0,5400	=	CaCO ₃	
	Magnesit	MgCO ₃	x	0,4781	=	MgO	
		MgO	x	2,0916	=	MgCO ₃	
		MgO	x	1,4469	=	Mg(OH) ₂	
2b	Gips und Gipsstein Anhydrit und Anhydritstein	CaSO ₄ ·2H ₂ O	x	0,7907	=	CaSO ₄	
		CaSO ₄	x	1,2646	=	CaSO ₄ ·2H ₂ O	
		SO ₃	x	1,7005	=	CaSO ₄	
		SO ₃	x	2,1460	=	CaSO ₄ ·2H ₂ O	
		CaSO ₄	x	0,4119	=	CaO	
		CaO	x	2,4276	=	CaSO ₄	
	Baryt	BaSO ₄	x	0,5884	=	Ba	
		Ba	x	1,6995	=	BaSO ₄	
		BaSO ₄	x	0,6570	=	BaO	
		BaO	x	1,5221	=	BaSO ₄	
		BaCO ₃	x	0,6959	=	Ba	
		Ba	x	1,4370	=	BaCO ₃	
		BaCO ₃	x	0,7770	=	BaO	
		BaO	x	1,2870	=	BaCO ₃	
	Coelestin	SrSO ₄	x	0,4470	=	Sr	
		Sr	x	2,0963	=	SrSO ₄	
		SrSO ₄	x	0,5641	=	SrO	
		SrO	x	1,7726	=	SrSO ₄	
		SrCO ₃	x	0,5935	=	Sr	
		Sr	x	1,6849	=	SrCO ₃	
		SrCO ₃	x	0,7019	=	SrO	
		SrO	x	1,4247	=	SrCO ₃	
	5	Lithium-Mineraie	Li ₂ CO ₃	x	0,1878	=	Li
			Li ₂ O	x	0,4645	=	Li
Li ₂ O			x	2,4734	=	Li ₂ CO ₃	
Li ₂ CO ₃			x	0,4043	=	Li ₂ O	
Bor-Mineraie		B	x	3,2202	=	B ₂ O ₃	
		B	x	8,8198	=	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	
		B ₂ O ₃	x	1,7763	=	H ₃ BO ₃	

Tabelle 85: Umrechnungsfaktoren, Teil 1 (vgl. Lorenz & Gwosdz 2003; Lorenz & Gwosdz 2000)

Gruppe	Mineral / Erz	Umrechnung				
8	Phosphat-Roherze	P	x	2,2914	=	P ₂ O ₅
		P ₂ O ₅	x	0,4364	=	P
	Natrium-, Kalium- und Magnesium-Salze	K	x	1,2046	=	K ₂ O
		KCl	x	0,6300	=	K ₂ O
		K ₂ SO ₄	x	0,5406	=	K ₂ O
		K ₂ O	x	0,8302	=	K
		K ₂ O	x	1,5830	=	KCl
		K ₂ O	x	1,8499	=	K ₂ SO ₄
		Cl	x	1,3430	=	MgCl ₂
		MgCl ₂	x	0,7446	=	Cl
		SO ₃	x	1,5035	=	MgSO ₄
		MgSO ₄	x	0,6651	=	SO ₃
		MgO	x	2,9860	=	MgSO ₄
		MgSO ₄	x	0,3349	=	MgO
MgO	x	2,3610	=	MgCl ₂		
MgCl ₂	x	0,4235	=	MgO		
11	Beryllium-Mineraie	Be	x	2,7754	=	BeO
		BeO	x	0,3603	=	Be
	Mangan-Mineraie	MnCO ₃	x	0,4779	=	Mn
		Mn	x	2,0923	=	MnCO ₃
		MnO ₂	x	0,6319	=	Mn
		Mn	x	1,5825	=	MnO ₂
		Mn ₂ O ₃	x	0,6960	=	Mn
		Mn	x	1,4368	=	Mn ₂ O ₃
		Mn ₃ O ₄	x	0,7204	=	Mn
		Mn	x	1,3882	=	Mn ₃ O ₄

Tabelle 86: Umrechnungsfaktoren, Teil 2 (vgl. Gwosdz et al 2006; Gwosdz et al 2008)

10.2 Gemengebestandteile der Industriemineraie

1 Tone

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Ankerit $Ca(Fe^{2+}, Mg, Mn)(CO_3)_2$	ist ein häufig vorkommendes Karbonat. Es kristallisiert trigonal und entwickelt meist rhomboedrische Kristalle, aber auch körnige Aggregate in weißer, graubrauner oder braungelber Farbe. $H = 3,5 - 4$
Calcit $CaCO_3$	ist ein sehr häufig vorkommendes Karbonat. Es kristallisiert im trigonalen KS und entwickelt verschiedene Kristall- bzw. Aggregatformen, die entweder farblos oder von milchig weißer bis grauer, durch Verunreinigungen auch von gelber, rosa, roter, blauer, grüner, brauner oder schwarzer Farbe sein können. $H = 3$
Chlorit $(Fe, Mg, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	zählt zu den Schichtsilikaten und weist eine vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung auf. Die Farbe variiert von grün bis grünschwarz, kann aber auch weiß, gelb, rot oder lila sein. $H = 2 - 3$
Cristobalit SiO_2	ist eine selten vorkommende Hochtemperaturmodifikation von SiO ₂ . $H = 6,5$

Tabelle 87: Untergeordnete Minerale der Gruppe 1, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Dolomit $CaMg[CO_3]_2$	ist ein sehr häufig vorkommendes Karbonat. Es kristallisiert im trigonalen KS und entwickelt vorwiegend rhomboedrische Kristalle oder massige Aggregate von weißgrauer bis hellbrauner Farbe. $H = 3,5 - 4$
Feldspat $(Ba, Ca, Na, K, NH_4)(Al, B, Si)_4O_8$	ist das am häufigsten vorkommende gesteinsbildende Mineral in der Erdkruste. Feldspäte kristallisieren im monoklinen oder triklinen KS und variieren in der Farbe von farblos über weiß, rosa, grün, blau bis braun. $H = 6 - 6,5$
Gips $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$	ist ein sehr häufig vorkommendes wasserhaltiges Sulfat. Es kristallisiert im monoklinen KS und entwickelt meist tafelige, prismatische bis nadelige Kristalle, aber auch körnige bis massige Aggregate. Gips ist farblos oder weiß, kann aber durch Verunreinigungen gelbliche, rötliche, graue oder braune Farbtöne annehmen. $H = 2$
Glimmer Allg.: $D G_{2,3} [T_4 O_{10}] X_2$ $D = K, Na, Ca, B, Rb, Cs, NH_4^+$ $G = Li, Mg, Fe^{2+}, Mn, Zn, Al, Fe^{3+}, Cr, V, Ti$ $T = Si, Al, Fe^{3+}, B, Be$ $X = OH, F, Cl, O^{2-}, S^{2-}$	bezeichnet eine Gruppe von Schichtsilikaten. Charakteristisch für Glimmer ist die perfekte Spaltbarkeit in einer Richtung. Ihre Farbe variiert von weiß bis braunschwarz und seltener grün oder rosa. $H = 2$ (parallel zu den Schichtebenen) $H = 4$ (alle anderen Richtungen)
Goethit $\alpha-Fe^{3+}O(OH)$	ist weit verbreitet und zählt zu den Oxiden und Hydroxiden. Es kristallisiert orthorhombisch und entwickelt meist nadelförmige oder prismatische Kristalle, aber auch traubige bis nierige Aggregate von schwarzbrauner bis hellgelber Farbe. $H = 5 - 5,5$
Illit $(K, H_3O)Al_2(Si_3Al)O_{10}(H_2O, OH)_2$	bezeichnet eine Serie von Tonmineralen. Es sind dreischichtige Schichtsilikate, die den Glimmern strukturell sehr ähnlich sind und eine vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung aufweisen. $H = 1 - 2$
Kaolinit $Al_4[(OH)_8]Si_4O_{10}$	ist ein Schichtsilikat aus der Kaolinit-Serpentin-Gruppe und zählt zu den Zweischicht-Tonmineralen. Es kristallisiert im triklinen KS und bildet blättrige, schuppige, erdige oder massige Aggregate, sowie pseudohexagonale Kristalle in meist weißer Farbe. $H = 2 - 2,5$
Montmorillonit $(Na, Ca)_{0,3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	ist ein häufig vorkommendes Schichtsilikat und kristallisiert im monoklinen KS. Es entwickelt mikroskopisch kleine, nadelige Kristalle in weißer, gelblicher, rötlicher, bläulicher oder grünlicher Farbe. $H = 1,5 - 2$
Palygorskit $(Mg, Al)_2Si_4O_{10}(OH) \cdot 4H_2O$	ist ein wenig verbreitetes Schichtsilikat, das im monoklinen KS kristallisiert. Es bildet durchscheinende bis opake, meist nadelige Kristalle, aber auch faserige bis massige Aggregate in weißer, gräulicher bis gelblicher oder graugrüner Farbe. $H = 2 - 2,5$
Pyrit FeS_2	ist ein häufig vorkommendes Sulfid und kristallisiert im kubischen KS. Pyrit ist opak und bildet überwiegend idiomorphe Kristalle, welche starken Metallglanz aufweisen. Die Kristallflächen verfügen über eine charakteristische Streifung. $H = 6 - 6,5$

Tabelle 88: Untergeordnete Minerale der Gruppe 1, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Quarz SiO_2	ist die unter Normalbedingungen stabile Form des Siliciumdioxids und nach Feldspat das zweithäufigste Mineral der Erdkruste. Quarz zählt zu den Oxiden und kristallisiert trigonal. Er bildet Kristalle in großer Farben- und Formenvielfalt. $H = 7$
Saponit $(Ca _2,Na)_{0,3}(Mg,Fe^{2+})_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$	ist ein selten vorkommendes Schichtsilikat und kristallisiert im monoklinen KS. Es bildet feinkörnige oder blättrige Aggregate und selten pseudohexagonale Kristalle in weißer, gelber, grauer, blauer, grüner, rötlicher oder brauner Farbe. $H = 1 - 2$
Sepiolith $Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$	ist ein selten vorkommendes Schichtsilikat, das im orthorhombischen KS kristallisiert. Die Mineral-Aggregate treten in weißer, grauweißer bis gelblich weißer Farbe auf. $H = 2 - 2,5$
Sericit <i>Chemismus siehe Muskovit</i>	ist eine besonders feinschuppige Form des Muskovits. Er wird auch als feinschuppiger Hellglimmer bezeichnet.
Siderit $FeCO_3$	ist ein häufig vorkommendes Karbonat, das im trigonalen KS kristallisiert und vorwiegend spätige oder derbe Massen, sowie dichte, kugelige und traubenförmige Aggregate ausbildet. Selten treten rhomboedrische Kristalle auf. Es ist vorwiegend gelb, braun oder schwarz gefärbt. $H = 4 - 4,5$
Smektit	ist ein Mineralgemenge aus verschiedenen Phyllosilikaten. Man versteht darunter Dreischicht-Silikate mit Quellfähigkeit.

Tabelle 89: Untergeordnete Minerale der Gruppe 1, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)

2 Karbonatgesteine und Sulfatgesteine

Zu den Karbonatgesteinen und Sulfatgesteinen sind in der Fachliteratur keine Anforderungen an die mineralogische Zusammensetzung angegeben.

3 Quarzrohstoffe

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Calcit Cristobalit Feldspat Gips Illit Pyrit Quarz Tonminerale (Kaolinit, Illit, Smektit)	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Apatit $(Ca,Ba,Pb,Sr,etc.)_5(PO_4,CO_3)_3(F,Cl,OH)$	ist eine Gruppe chemisch ähnlicher Minerale der Mineralgruppe der Phosphate, Arsenate und Vanadate. Sie kristallisieren im hexagonalen KS und bilden tafelige bis prismatische Kristalle, sowie verschiedene Aggregatformen. Die Farben gehen von farblos bis grün, braun oder weiß. $H = 5$

Tabelle 90: Untergeordnete Minerale der Gruppe 3, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Dolomit $CaMg(CO_3)_2$	ist ein häufig vorkommendes Karbonat und kristallisiert im trigonalen KS. Es entwickelt rhomboedrische oder massige Kristalle, die farblos, weiß, gelb, oder braun auftreten. $H = 3,5 - 4$
Halit $NaCl$	ist ein häufig vorkommendes Halogenid, welches im kubischen KS kristallisiert und meist kubische Kristalle, aber auch körnige bis massige oder faserige Aggregate bildet. Reiner Halit ist farblos. Durch Einlagerungen kann die Farbe von weiß bis grau, rot, gelb und blau variieren. $H = 2$
Muskovit (Hellglimmer) $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	ist ein sehr häufig vorkommender Glimmer, der je nach Modifikation im monoklinen oder trigonalen KS kristallisiert. Er bildet tafelige, blättrige und schuppige Kristalle, aber auch massige Aggregate in gelblicher, bräunlicher, rötlicher oder grünlicher Farbe und verfügt über eine vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung. $H = 2,5$
Opal $SiO_2 \cdot n H_2O$	ist ein häufig vorkommendes Mineral der Oxide und Hydroxide. Es verfügt über keine Kristallstruktur und tritt meist als massige Adernfüllung oder in Knollenform in unterschiedlichsten Farben auf. $H = 5,5 - 6,5$
Orthoklas $KAlSi_3O_8$	ist ein sehr häufig vorkommender Feldspat, der im monoklinen KS kristallisiert. Er entwickelt prismatische bis tafelige Kristalle, sowie körnige bis massige Aggregate in den Farben weiß, grau, gelb, rot und braun, aber auch farblos. $H = 6 - 6,5$
Plagioklas	bezeichnet die Albit-Anorthit-Mischkristallreihe der Feldspäte und umfasst die Mischkristalle Oligoklas, Andesin, Labradorit und Bytownit.

Tabelle 91: Untergeordnete Minerale der Gruppe 3, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Apatit Calcit Quarz	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Orthoklas Plagioklas	Siehe Quarzrohstoffe (Tabelle 90 und Tabelle 91)
Albit $NaAlSi_3O_8$	bildet das Na-reiche Feldspat-Endglied und bildet hauptsächlich tafelige bis prismatische Kristalle und Zwillinge, sowie körnige bis massige Aggregate. Er tritt farblos oder in den Farben weiß, grau, gelb, rot, grün, und blau auf. $H = 6 - 6,5$
Alkalifeldspat	bezeichnet die Albit-Orthoklas-Mischkristallreihe der Feldspäte und umfasst die Mischkristalle Anorthoklas und Sanidin.
Anorthit $CaAl_2Si_2O_8$	bildet das Ca-reiche Feldspat-Endglied und kristallisiert im triklinen KS. Er bildet meist kurzprismatische Kristalle, aber auch verschiedene Aggregatformen und tritt in den Farben weiß, grau, grün und rot auf. $H = 6 - 6,5$

Tabelle 92: Untergeordnete Minerale der Gruppe 4, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Biotit (Dunkelglimmer) $K(Mg, Fe^{2+})_3(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$	ist ein häufig vorkommender Glimmer-Mischkristall der Annit-Phlogopit-Mischreihe. Er kristallisiert im monoklinen KS und bildet opake, biegsame und teils pseudo-hexagonale Kristalle. Charakteristisch ist die vollkommene Spaltbarkeit in einer Richtung. $H = 2 - 3$
Diopsid $CaMgSi_2O_6$	zählt zur Pyroxen-Gruppe der Inosilikate und kommt sehr häufig vor. Es kristallisiert im monoklinen KS und bildet Kristalle und Aggregate in unterschiedlichen Formen. Die Farbe variiert von farblos über weiß, gelb, hell- bis dunkelgrün und schwarz $H = 5,5 - 6,5$
Hämatit Fe_2O_3	ist ein häufig vorkommendes Oxid und kristallisiert im trigonalen KS. Es bildet unterschiedliche Kristall- und Aggregatformen in den Farben grau, schwarz oder rotbraun aus. $H = 5,5 - 6,5$
Hypersthen $(Fe, Mg)_2[Si_2O_6]$	bezeichnet eine Enstatit-Ferrosilit-Mischkristallreihe, deren Endglieder zu den Pyroxenen zählen. Hypersthen kristallisiert im orthorhombischen KS und bildet massige bis körnig-blättrige Aggregate aus. Die Farbe variiert von grünlich grau bis schwarz. $H = 5,5 - 6$
Korund Al_2O_3	ist ein häufig vorkommendes Oxid, welches im trigonalen KS kristallisiert und nach Diamant das zweithärtste Mineral ist. Das Mineral bildet Kristalle und Aggregate in unterschiedlichen Formen, welche farblos oder, je nach Verunreinigung, in ihrer Farbe variierend auftreten können. $H = 9$
Leucit $K(AlSi_2)O_6$	gehört zur Zeolith-Gruppe und ist ein Tektosilikat, welches selten vorkommt und bei gleicher chemischer Zusammensetzung in unterschiedlichen kristallinen Formen auftritt. Es bildet Kristalle und Aggregate verschiedener Formen aus, deren Farbe von farblos bis grau, weiß, gelblich oder rötlich variiert. $H = 5,5 - 6$
Magnetit Fe_3O_4	ist ein Oxid und wichtiges Eisenerz, welches über die stabilste Verbindung zwischen Eisen und Sauerstoff verfügt. Es kristallisiert im kubischen KS und bildet oktaederförmige Kristalle oder körnige bis massige Aggregate in graubrauner bis schwarzer Farbe aus. $H = 5,5 - 6,5$
Nephelin $(Na, K)AlSi_3O_8$	ist ein häufig vorkommendes Tektosilikat, das im hexagonalen KS kristallisiert. Es gehört zur Gruppe der Foide und bildet weiße, graue, grüne, gelbe und braune, sowie farblose Kristalle aus. $H = 5,5 - 6$
Olivin $(Mg, Mn, Fe)_2[SiO_4]$	bezeichnet eine Gruppe von Nesosilikaten ähnlicher Zusammensetzung. Olivine kristallisieren im orthorhombischen KS und bilden durchsichtige bis durchscheinende Kristalle mit starkem Glasglanz. Ihre Farbe variiert zwischen hell- und dunkelgrün, sowie gelbbraun und schwarz. $H = 6,5 - 7$
Palagonit	ist ein gelblich-braunes Gesteinsglas, das seinen Ursprung in basaltischer Lava hat.
Pyroxen Allg.: $X^{[6]}Y^{[4]}[Si_2O_6]$ $X = Ca, Na, Li, Mg, Fe^{2+}$ $Y = Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al$	bezeichnet eine Gruppe von Inosilikaten, deren Kristallstruktur sich durch Bildung von Einfachketten aus SiO_4 -Tetraedern auszeichnet. Pyroxene zeigen eine große Variabilität in ihrem Chemismus und sind bleich grün bis bräunlich grün oder bronzefärbt. $H = 5 - 6,5$

Tabelle 93: Untergeordnete Minerale der Gruppe 4, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Vulkanisches Glas	ist ein vulkanisches Gestein, das in amorphem Zustand als Glas vorliegt und nicht aus Mineralien besteht. Dies wird durch die schnelle Abkühlung von Magma bewirkt, wodurch eine Kristallisation nicht möglich ist
Wollastonit $CaSiO_3$	ist ein häufig vorkommendes Inosilikat. Es zählt zu den Einfachkettensilikaten, die den Pyroxenen ähnlich sind (Pyroxenoide). Wollastonit kristallisiert im triklinen KS und ist farblos. $H = 4,5 - 5$
Zeolithe	sind Tektosilikate, die über eine weitmaschige Gerüststruktur verfügen. Diese ermöglicht den Einbau von Wassermolekülen, welche reversibel abgegeben und wieder aufgenommen werden können. Zeolithe sind hell bis farblos. $H = 3,5 - 5,5$

Tabelle 94: Untergeordnete Minerale der Gruppe 4, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)

5 Feldspäte und andere Flussmittel

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Calcit Gips Glimmer Pyrit Quarz Siderit Tonminerale	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Apatit Orthoklas Muskovit Plagioklas	Siehe Quarzrohstoffe (Tabelle 90 und Tabelle 91)
Albit Anorthit Biotit Leucit Magnetit Nephelin Pyroxen Wollastonit Zeolith	Siehe Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (Tabelle 92, Tabelle 93 und Tabelle 94)
Ägirin $NaFe^{3+}[Si_2O_6]$	ist ein selten vorkommendes Inosilikat, das im monoklinen KS kristallisiert und lange prismatische oder nadelige Kristalle, sowie strahlige Aggregate in den Farben grün bis schwarz ausbildet. $H = 6$
Ägirindiopsid	k. A.
Analcim $Na(Si_2Al)O_6 \cdot H_2O$	zählt zur Zeolithgruppe und ist den Tektosilikaten zuzuordnen. Die Zeolithe sind in Tabelle 94 beschrieben. $H = 5 - 5,5$
Baryt $BaSO_4$	ist ein häufig vorkommendes Sulfat und kristallisiert im orthorhombischen KS. Es bildet meist prismatische Kristalle, aber auch massige Aggregate, die farblich von weiß bis grau, rötlich, gelblich, bräunlich oder schwarz variieren. $H = 3 - 3,5$

Tabelle 95: Untergeordnete Minerale der Gruppe 5, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Bastnäsit <i>(Ce,La,Nd,Y)(F,OH)CO₃</i>	Bezeichnet eine Gruppe von Mineralen, welche hexagonal kristallisieren und den Karbonaten angehören. Die Ausbildung erfolgt meist in Form von körnigen bis massigen Aggregaten, aber auch in Form von sechseckigen Kristallen in gelblicher, rötlicher oder bräunlicher Farbe. <i>H = 4 - 4,5</i>
Bertrandit <i>Be₄Si₂O₇(OH)₂</i>	zählt zu den Sorosilikaten und kristallisiert im orthorhombischen KS. Es wird meist in Verbindung mit Beryllium reichen Pegmantiten gefunden und ist farblos oder blass gelb gefärbt. <i>H = 6 - 7</i>
Bleiglanz <i>PbS</i>	ist ein weit verbreitetes Sulfid, das im kubischen KS kristallisiert. Es entwickelt oft Kristalle in vollkommener Würfelform, aber auch tafelige bis skelettförmige Kristalle oder massige Aggregate, die sich durch einen ausgeprägten Metallglanz auszeichnen. Bleiglanz ist üblicherweise bleigrau, kann aber auch in bunten Anlauffarben auftreten. <i>H = 2,5 - 3</i>
Cassiterit <i>SnO₂</i>	ist ein häufig vorkommendes Oxid und kristallisiert im tetragonalen KS. Es entwickelt Kristalle und Aggregate in verschiedenen Formen, welche farblich von braunschwarz bis grau, gelbbraun, grün oder rot variieren. <i>H = 6 - 7</i>
Coelestin <i>SrSO₄</i>	ist ein häufig vorkommendes Sulfat, das orthorhombisch kristallisiert und prismatische oder tafelige Kristalle ausbildet. Die Spaltbarkeit ist in zwei Richtungen ausgezeichnet. Farblich variiert das Mineral von weiß, gelblich, blau und farblos. <i>H = 3 - 3,5</i>
Fluorit <i>CaF₂</i>	ist ein häufig vorkommendes Halogenid, welches im kubischen KS kristallisiert. Es bildet kubische Kristalle in vorwiegend würfelig oder oktaedrischer Form, aber auch körnige bis massige Aggregate. Reiner Fluorit ist farblos, Verunreinigungen führen aber zu einer großen Vielfalt an Farbvariationen. <i>H = 4</i>
Hauyn <i>Na₃Ca(Si₃Al₃)O₁₂(SO)₄</i>	ist ein selten vorkommendes Tektosilikat (Sodalith-Reihe), das im kubischen KS kristallisiert. Es entwickelt meist kleine Kristalle in überwiegend blauer Farbe und glasähnlichem Glanz. Die Spaltbarkeit ist in drei Richtungen vollkommen. <i>H = 5,5 - 6</i>
Hornblende <i>(Ca,Na,K)₂₋₃(Mg,Fe,Al)₅[(OH,F)₂](Si,Al)₂Si₆O₂₂</i>	zählt zu den calcischen Amphibolen und kristallisiert monoklin. Die Amphibole sind in Tabelle 99 beschrieben. <i>H = 5,5</i>
Markasit <i>FeS₂</i>	ist ein häufig vorkommendes Sulfid (polymorph mit Pyrit, Tabelle 88), das orthorhombisch kristallisiert. Markasit entwickelt Kristalle und Aggregate unterschiedlicher Formen und tritt im Vergleich zu Pyrit mehr grünlich gelb und in bunten Anlauffarben auf. Die Spaltbarkeit ist in einer Richtung vollkommen. <i>H = 6 - 6,5</i>
Melanit	gehört der in Tabelle 104 beschriebenen Gruppe der Granate an. <i>H = 6,5 - 7</i>
Mikroklin <i>K[AlSi₃O₈]</i>	zählt zur Mischkristallreihe der Alkalifeldspäte (Beschreibung der Feldspäte in Tabelle 87) und ist dimorph mit dem monoklin kristallisierenden Orthoklas. Mikroklin kristallisiert triklin. <i>H = 6 - 6,5</i>

Tabelle 96: Untergeordnete Minerale der Gruppe 5, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Molybdänit MoS_2	ist ein häufig vorkommendes Sulfid, das im hexagonalen KS kristallisiert. Es entwickelt meist sechseckige, tafelige bis schuppige Kristalle, sowie massige Aggregate, die farblich von bleigrau bis blauviolett variieren. $H = 1 - 1,5$
Nosean $Na_8[AlSiO_4]_6(SO_4)$	ist ein selten vorkommendes Tektosilikat (Sodalith-Reihe), das im kubischen KS kristallisiert. Es bildet kleine dodekaedrische Kristalle und massige Aggregate und ist in reiner Form farblos. Durch Einschlüsse kann die Farbe von weiß bis blau, grün, graubraun und schwarz variieren. $H = 5,5$
Perthit	ist eine entmischte Tieftemperaturmodifikation der Alkalifeldspatreihe. Die Feldspäte sind in Tabelle 87 beschrieben.
Scheelit $Ca[WO_4]$	ist ein häufig vorkommendes Wolframat, das im tetragonalen KS kristallisiert. Die Ausbildung erfolgt meist in Form von dipyramidalen, pseudooktaedrischen Kristallen, aber auch in Form von körnigen bis massigen Aggregaten. Der in reiner Form farblose Scheelit kann durch Beimengungen in den Farben grau, braun, gelb, rot oder grün auftreten. $H = 4,5 - 5$
Sodalith $Na_4Al_3Si_3O_{12}Cl$	zählt neben Nosean und Hauyn zu den selten vorkommenden Mineralen der Sodalith-Reihe, die den Tektosilikaten angehört. Es kristallisiert im kubischen KS und bildet körnige bis massige Aggregate, sowie Kristalle aus, die in reiner Form farblos sind und durch Beimengungen auch weiß, blau, gelb, lila oder rosa sein können. $H = 5,5 - 6$
Wolframit $(Fe,Mn)WO_4$	ist ein Mischkristall der Minerale Ferberit und Hübnerit und zählt zu den Wolframat. Es kristallisiert monoklin und bildet meist massige Aggregate, aber auch prismatische bis tafelige Kristalle in braunschwarzer bis schwarzer Farbe aus. $H = 4 - 5,5$ (je nach chemischer Zusammensetzung)
Zinkblende ZnS	ist ein häufig vorkommendes Sulfid, das im kubischen KS kristallisiert. Es bildet Kristalle und Aggregate in verschiedenen Formen aus und tritt oft in Verbindung mit Bleiglanz auf. Die Zinkblende kann farblos auftreten, farblich aber, je nach Gehalt an Eisensulfid, auch von gelbbraun bis schwarz variieren. $H = 3,5 - 4$
Zinn Sn	ist ein Element, das tetragonal kristallisiert. Es ist opak und zeichnet sich durch seine zinnweiße Farbe und den charakteristischen Metallglanz aus. $H = 1,5 - 2$

Tabelle 97: Untergeordnete Minerale der Gruppe 5, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Calcit Glimmer Goethit Kaolinit Quarz Sericit	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Korund Magnetit Muskovit	Siehe Quarzrohstoffe (Tabelle 90 und Tabelle 91)
Alunit $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	ist ein eher selten vorkommendes Sulfat, das im trigonalen KS kristallisiert. Es bildet würfelförmige, rhomboedrische Kristalle oder poröse, körnige Aggregate von weißer, grauer oder gelblicher bis rötlicher Farbe. $H = 3,5 - 4$
Chloritoid $(Fe^{2+}, Mg, Mn)_2Al_4Si_2O_{10}(OH)_4$	zählt zu den Nesosilikaten und kristallisiert triklin oder monoklin. Chloritoid bildet blättrige Plättchen oder massige Aggregate, aber auch pseudohexagonale Tafelkristalle aus. Farblich variiert er von dunkelgrün oder grüngrau bis schwarz. $H = 6,5$
Diaspor $AlO(OH)$	ist ein selten vorkommendes Hydroxid, das im orthorhombischen KS kristallisiert. Es bildet blättrige bis massige Aggregate, sowie Kristalle mit charakteristischer Längsstreifung. Reiner Diaspor ist farblos, durch Verunreinigungen kann er farblich stark variieren. $H = 6,5 - 7$
Disthen Al_2SiO_5	ist ein häufig vorkommendes Nesosilikat, das triklin kristallisiert und überwiegend prismatische bis tafelige Kristalle, aber auch verschiedene Formen von Aggregaten ausbildet. In reiner Form ist das Mineral farblos, kann aber durch Einschlüsse farblich stark variieren. $H = 4,5 - 7$ (abhängig von der Richtung)
Paragonit $NaAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	ist ein Phyllosilikat und zählt zu den Glimmern. Paragonit kristallisiert monoklin und ist weiß oder gelb gefärbt. In einer Richtung besteht vollkommene Spaltbarkeit. $H = 2,5$
Pyrophyllit $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	ist ein häufig vorkommendes Phyllosilikat, das im triklinen oder monoklinen KS kristallisiert. Es entwickelt radialstrahlige Büschel aus nadeligen Kristallen oder blättrige bis massige Aggregate in weißer, grauer, grünlicher oder gelber Farbe. $H = 1 - 2$
Rutil TiO_2	ist ein häufig vorkommendes Oxid und kristallisiert im tetragonalen KS. Neben Kristallen bilden sich auch häufig Kristallzwillinge, sowie körnige bis massige Aggregate. Farblich variiert Rutil von rötlich braun bis rot, gelb, bläulich oder violett. $H = 6 - 6,5$
Turmalin Allg.: $XY_3Z_6(BO_3)[Si_6O_{18}](OH)_4$ $X = Na, Ca$ $Y = Li, Mg, Al$ $Z = Al, Fe, Mg$	beschreibt eine Gruppe von Cyclosilikaten, die im trigonalen KS eine Mischreihe bilden. Turmalin bildet prismatische Kristalle mit dreieckigen Querschnitten aus, welche häufig über eine markante Längsstreifung verfügen. Neben zahlreichen unterschiedlichen Endgliedern besteht auch in der Färbung eine große Vielfalt. $H = 7 - 7,5$

Tabelle 98: Untergeordnete Minerale der Gruppe 6 (vgl. Mineralienatlas 2014)

7 Magnesiumoxidreiche Rohstoffe

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Calcit Chlorit Dolomit Quarz	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Magnetit	Siehe Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (Tabelle 93)
Amphibol <i>Allg.: $A_{0-1}X_2Y_5[Si_8O_{22}](OH,F)_2$</i> <i>A = Na, K</i> <i>X = Ca, Na, Mg, Fe²⁺</i> <i>Y = Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Al</i>	bezeichnet eine Gruppe von Inosilikaten, die durch verknüpfte SiO ₄ -Tetraeder Doppelketten ausbilden. Die Amphibole sind in ihrer chemischen Zusammensetzung überaus variabel und kristallisieren monoklin oder orthorhombisch. Sie bilden langprismatische bis nadelig, faserige Kristalle in unterschiedlichen Farben aus. <i>H = 5 - 6</i>
Anthophyllit <i>(Mg,Fe²⁺)₇Si₈O₂₂(OH)₂</i>	ist ein häufig vorkommendes Inosilikat und zählt zu Amphibolen. <i>H = 5,5 - 6</i>
Magnesit MgCO ₃	ist ein häufig vorkommendes Karbonat, das im trigonalen KS kristallisiert. Es entwickelt rhomboedrische, prismatische Kristalle, sowie erdige, massige Aggregate, deren Farbe von weiß bis gelblich, bräunlich oder schwarz reicht. <i>H = 4 - 4,5</i>
Serpentin	bezeichnet eine Gruppe im monoklinen KS kristallisierender Minerale, welche den Phyllosilikaten zuzuordnen sind. Serpentin ist olivgrün, gelegentlich aber auch gelb, braun, rot, grau, schwarz oder weiß gefärbt. <i>H = 2,5 - 4</i>
Talk <i>Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂</i>	ist ein häufig vorkommendes Phyllosilikat, das im triklinen oder im monoklinen KS kristallisiert. Es bildet blättrige bis derbe Aggregate, aber auch Kristalle verschiedener Formen aus. Talk variiert farblich von weiß bis grau, grünlich oder gelblich, tritt aber auch farblos auf. Die Spaltbarkeit ist in einer Richtung vollkommen. <i>H = 1</i>
Tremolit <i>Ca₂Mg₅[(OH,F)Si₄O₁₁]₂</i>	ist ein häufig vorkommendes Inosilikat und zählt zu den Amphibolen. <i>H = 5 - 6</i>

Tabelle 99: Untergeordnete Minerale der Gruppe 7 (vgl. Mineralienatlas 2014)

8 Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Halit	Siehe Quarzrohstoffe (Tabelle 90 und Tabelle 91)
Anhydrit <i>CaSO₄</i>	ist ein häufig vorkommendes Sulfat und kristallisiert im orthorhombischen KS. Es entwickelt grobkörnige, massige Aggregate, sowie würfelige und prismatische Kristalle. Reiner Anhydrit ist farblos oder weiß, durch Beimengungen kann er in blau, rot, violett oder braun auftreten. <i>H = 3 - 3,5</i>
Carnallit <i>KMgCl₃·6H₂O</i>	ist ein wasserhaltiges Halogenid (Bittersalz) und kristallisiert im orthorhombischen KS. Es bildet Kristalle in verschiedenen Formen, sowie körnige Aggregate aus. Die Farbe variiert von farblos bis weiß, gelb, rot und blau. <i>H = 1 - 2</i>

Tabelle 100: Untergeordnete Minerale der Gruppe 8, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Kainit $KMg[Cl SO_4] \cdot 3H_2O$	ist ein selten vorkommendes wasserhaltiges Sulfat, das im monoklinen KS kristallisiert. Es entwickelt körnige bis massige Aggregate, selten auch tafelige Kristalle, die farblos sind oder durch Beimengungen gelblich weiß, grau bis graublau, blau oder violett gefärbt sein können. $H = 2,5 - 3$
Kieserit $Mg[SO_4] \cdot H_2O$	ist ein selten vorkommendes wasserhaltiges Sulfat, das im monoklinen KS kristallisiert. Es bildet meist körnige oder massige Aggregate, selten auch dipyramidale Kristalle. In reiner Form ist Kieserit farblos, Beimengungen bewirken weiße, hellgraue oder hellgelbe Verfärbungen. $H = 3,5$
Langbeinit $K_2Mg_2(SO_4)_3$	ist ein selten vorkommendes Sulfat, das im kubischen KS kristallisiert. Selten bildet es gut entwickelte Kristalle aus, meist treten unterschiedliche Aggregatformen auf. Langbeinit ist in reiner Form farblos und durchsichtig, kann aber auch weiße, gelbliche, rosa bis rote, grüne oder graue Farbtöne annehmen. $H = 3,5 - 4$
Polyhalit $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	ist ein selten vorkommendes wasserhaltiges Sulfat, das im triklinen KS kristallisiert und Kristalle, sowie Aggregate in verschiedenen Formen ausbildet. Die Farben variieren von farblos bis grauweiß, braun, rosa oder rotbraun. $H = 3,5$
Sylvin KCl	ist ein selten vorkommendes Halogenid und kristallisiert im kubischen KS. Es bildet würfelförmige oder oktaedrische Kristalle in unterschiedlichen Kombinationen aus. In reiner Form ist Sylvin farblos, Beimengungen bewirken hellgraue, hellblaue, gelbliche bis rötliche oder violette Verfärbungen. $H = 2$

Tabelle 101: Untergeordnete Minerale der Gruppe 8, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

9 Glimmer

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Calcit Chlorit Dolomit Feldspat Kaolinit Quarz Sericit	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Pyrophyllit	Siehe Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (Tabelle 98)
Talk	Siehe Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (Tabelle 99)

Tabelle 102: Untergeordnete Minerale der Gruppe 9 (vgl. Mineralienatlas 2014)

10 Schwerminerale

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Quarz	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Disthen Korund Rutil	Siehe Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (Tabelle 98)

Tabelle 103: Untergeordnete Minerale der Gruppe 10, Teil 1 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral Chemismus	Kurzbeschreibung Härte nach Mohs
Almandin $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$	Siehe Granat $H = 7 - 7,5$
Andalusit Al_2SiO_5	ist ein häufig vorkommendes Nesosilikat aus der trimorphen Gruppe der Aluminium-Silikate. Andalusit kristallisiert orthorhombisch und bildet prismatische Kristalle in rosa bis rötlicher Farbe aus. $H = 6,5 - 7,5$
Andradit $Ca_3Fe^{3+}_2[SiO_4]_3$	Siehe Granat $H = 6,5 - 7$
Brookit TiO_2	ist ein sehr selten vorkommendes Oxid und polymorph zu Rutil. Brookit kristallisiert orthorhombisch und entwickelt bildet prismatische oder tafelige Kristalle in verschiedenen Brauntönen aus. $H = 5,5 - 6$
Epidot $Ca_2(Fe^{3+}, Al)Al_2[O OH]SiO_4Si_2O_7$	bildet mit Klinozoisit eine Mischkristallreihe und bezeichnet eine Gruppe von Mineralen, die den Sorosilikaten zuzuordnen sind. Die Kristallisation erfolgt im monoklinen KS. Neben prismatischen Kristallen treten auch unterschiedliche Aggregate in dunkelgrüner bis gelbbrauner Farbe auf. $H = 6 - 7$
Granat Allg.: $X_3^{[8]}Y_2^{[6]}[SiO_4]_3$ $X = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}$ $Y = Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, Ti^{3+}, Zr^{4+}, Sn^{4+}$	bezeichnet eine Gruppe von Mineralen, die den Nesosilikaten angehören und im kubischen KS kristallisieren. Die Granat-Gruppe unterteilt sich u. a. in die Pyralspit-Reihe, bestehend aus den Mineralen Pyrop, Almandin und Spessartin, sowie die Ugrandit-Reihe, bestehend aus den Mineralen Uwarowit, Grossular und Andradit. Granate bilden überwiegend isometrische Kristalle in Rhombendodekaeder- oder Ikositetraederform, aber auch Aggregate. Ihre Farben variieren von vorwiegend rötlich bis grünlich oder schwarz. $H = 6,5 - 7,5$
Grossular $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$	Siehe Granat $H = 6,5 - 7$
Ilmenit $FeTiO_3$	ist ein häufig vorkommendes Oxid, das im trigonalen KS kristallisiert. Es entwickelt vorwiegend dicktafelige Kristalle, aber auch körnige bis massige Aggregate in schwarzgrauer Farbe. $H = 5 - 6$
Leukoxen	ist ein selten vorkommendes Mineralgemenge. Es ist ein Alterungsprodukt und eine Mixtur von Eisen- und Titan-Mineralien.
Monazit $(Ce, La, Nd, Sm)PO_4$	bezeichnet die Endglieder einer zu den Phosphaten gehörenden Mischkristallreihe, die im monoklinen KS kristallisieren. Sie beinhalten Metalle der Seltenen Erden (SEE) und treten in den Farben braun, gelb, rötlich und grünlich, aber auch farblos auf. $H = 5 - 5,5$
Pyrop $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$	Siehe Granat $H = 7 - 7,5$
Sillimanit $Al_2[O SiO_4]$	gehört zur Gruppe der Aluminium-Silikate, welche den Nesosilikaten angehören. Sillimanit kristallisiert orthorhombisch und bildet kleine Kristalle aus, die farblos bzw. weiß gelblichgrau, graugrün oder hellbraun gefärbt sind. $H = 6,5 - 7,5$
Spessartin $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$	Siehe Granat $H = 7 - 7,5$

Tabelle 104: Untergeordnete Minerale der Gruppe 10, Teil 2 (vgl. Mineralienatlas 2014)

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Spinell $MgAl_2O_4$	ist ein selten vorkommendes Oxid, das im kubischen KS kristallisiert. Es entwickelt meist oktaedrische Kristalle, aber auch körnige bis massige Aggregate in den Farben violett, rot, grün, blau, braun oder schwarz. Ferner ist Spinell Namensgeber für die Spinellgruppe, einer Gruppe mit ähnlicher Zusammensetzung und Kristallstruktur, welche die Minerale Gahnit, Hercynit und Galaxit umfasst. $H = 7,5 - 8$
Staurolith $(Fe, Mg)_2Al_9[O_6(O, OH)_2 SiO_4]_4$	zählt zu den Nesosilikaten und kristallisiert orthorhombisch. Die flächenarmen, meist prismatisch-stengeligen Kristalle sind immer in Stein eingewachsen und treten in unterschiedlichen Braunvariationen auf. $H = 7 - 7,5$
Topas $Al_2[F_2 SiO_4]$	ist ein häufig vorkommendes Nesosilikat, das orthorhombisch kristallisiert und meist flächenreiche kurz- bis langprismatische Kristalle ausbildet. Reiner Topas ist farblos, durch Verunreinigungen kann seine Farbe von gelbbraun bis blau, violett oder rot variieren. $H = 8$
Turmalin Allg.: $XY_3Z_6(BO_3)[Si_6O_{18}](OH)_4$ $X = Na, Ca$ $Y = Li, Mg, Al$ $Z = Al, Fe, Mg$	ist eine Mischkristallreihe mit zahlreichen Endgliedern, die den Cyclosilikaten angehören und trigonal kristallisieren. Turmaline bilden prismatische Kristalle aus, die über eine charakteristische Längsstreifung verfügen und schwarz, braun, rosa oder blau gefärbt sind. $H = 7 - 7,5$
Zirkon $ZrSiO_4$	zählt zu den Nesosilikaten und kristallisiert tetragonal. Die kurz-säuligen, prismatischen Kristalle sind meist in Gestein eingewachsen und variieren in ihrer Farbe von gelb bis orange und braun, treten aber auch farblos auf. $H = 7,5$

Tabelle 105: Untergeordnete Minerale der Gruppe 10, Teil 3 (vgl. Mineralienatlas 2014)

11 Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe

Mineral <i>Chemismus</i>	Kurzbeschreibung <i>Härte nach Mohs</i>
Feldspat Quarz	Siehe Tone (Tabelle 87, Tabelle 88 und Tabelle 89)
Biotit Hämatit Orthoklas Plagioklas	Siehe Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (Tabelle 92, Tabelle 93 und Tabelle 94)
Graphit C	ist ein sehr häufig vorkommendes Element und kristallisiert im hexagonalen, selten auch im trigonalen KS. Graphit bildet opake grau bis schwarze Kristalle in sechseckiger, tafeliger, schuppiger oder stengeliger Form, aber auch massige oder körnige Aggregate. Die Spaltbarkeit ist in einer Richtung vollkommen. $H = 1 - 2$
Orthopyroxen	bezeichnet die orthorhombische Untergruppe der Pyroxene, welche in Tabelle 93 beschrieben sind.
Phyllosilikate	sind Silikate, die aus zu Schichten verbundenen SiO_4 -Tetraedern bestehen. Im Gerüst sind unterschiedlichste Elemente eingebaut. Man unterscheidet zwischen Zwei-, Drei- und Vierschichtsilikaten.

Tabelle 106: Untergeordnete Minerale der Gruppe 11 (vgl. Mineralienatlas 2014)

10.3 Verwertungsmöglichkeiten von Industriemineralen

1 Tone

Tonmineral	Verwendungszweck	
Kaolin Roherz	Füllstoff, Extender, Adsorptionsmittel bei der Herstellung von Papier, Gummi- produkten, Kunststoffen, Farben, Lacken, Tinten, Insektiziden, Klebstoffen, mineralischen Düngern, Pharmazeutika, Kosmetika, Waschmitteln, Blei- und Buntstiften, Asbestprodukten, thermoplastischen Bedachungsmaterialien, Linoleum, Linoleumklebern, Textilien	
	Bindemittel bei der Herstellung von Schleifscheiben, Gießereiformen, Tierfutter, Schweißelektroden	
	Keramikrohstoff bei der Herstellung von Porzellan, Steingut, Steinzeug, Feuer- festkeramik, Elektroporzellan, Keramikmonolithen, keramischen Membranen, Katalysatoren, sonstiger technischen Keramik	
	Rohstoff für die Synthese von Aluminium, Al-Sulfat, Al-Phosphat, Zeolith, Legierungen, Glasfasern, Cordierit, Mullit, Bohrstützmittel	
	Papierbeschichtungen, Spezialzementherstellung	
Feuerfeste Tone	Eisen- und Stahlindustrie Zement- und Kalkindustrie Glasindustrie chemische Industrie Feuerfestindustrie	Auskleidungen von Öfen, Brennkammern, Leitungen
	Bindemittel für säurefeste Steine, feuerfeste Massen und Mörtel	
Kaolinitischer Ton	Feinkeramik	Steingut, Sanitärkeramik, Fliesen, Elektroporzellan
	Feuerfestkeramik	Bindeton, Schamotte
	Landwirtschaft	Bindeton in Futtermitteln
	Chemische Industrie	Füllstoff
Halloysit	<i>Siehe Kaolin und kaolinitische Tone; zusätzlich:</i> Trägerstoff für Insektizide, Energieeinsparung bei der Umwandlung in Mullit und Cristobalit, Betonanwendungen (Steigerung der Betonfestigkeit), Porzellan, Spezialkeramik, Cracking-Katalysator, Knochenporzellan	
Illit	Grobkeramik	Flussmittel in der Ziegelherstellung
	Feinkeramik	Flussmittel in der Steinzeugherstellung, günstige Ein- wirkungen auf Bildsamkeit und Trockenbiegefestig- keit
	Gießereien	Bindeton
	Deponien	Basisabschichtungen
	Papierindustrie	Füllstoff

Tabelle 107: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Tonminerale, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)

Tonmineral		Verwendungszweck
Bentonit	Lebensmittelindustrie	Entfärbung, Reinigung von Margarine und Speiseöl
	Mineralölindustrie	Entfärbung, Reinigung, Schmierölzusatz
	Getränke, Brauereien	Soft- und Weinschönung, Bierstabilisierung
	Chemische Industrie	Katalysatoren, Trägerstoff für Insektizide, Füllstoff, Trockenmittel
	Umweltschutz	Ölbindemittel, Feuerlöschpulver, Wasserreinigung, Absorbens, für radioaktive Stoffe, chemische Reinigung, Reinigungsmittel, Flottenregenerierung, Seifen, Polier- und Pflegemittel
	Pharmazie und Kosmetik	Heilerden, Medikamente, Salben, Kosmetika
	Gießereiindustrie	Form- und Kernsandbinder, Binder für wasserfreie Formsande, Schlichte
	Bohrindustrie	Bohrspülung
	Bergbau- und Hüttenindustrie	Bindemittel für Erzpelletierung und -brikettierung
	Bauindustrie	Gleit- und Stützmittel im Tiefbau, Schlitzwände, Untergrundinjektionen, Dammabdichtung
	Farben, Lacke, Anstriche	Kitte, Füllmassen, Antiabsetzmittel
Ziegelton und -lehm	Herstellung von Mauerziegeln, Schornsteinziegeln, Schall schluckenden Ziegeln, Deckenziegeln, Dachziegeln und -pfannen, Dränrohren, Kabelschutzhauben	
	Klinker für Kanalbau, Wasserbau, Tunnelbau, Straßenbau	
	Töpferton, Steinzeugton, Baulehm, Bodenverbesserer	
Blähton und -schiefer	Leichtbetonzuschlag	
	Herstellung von Betonsteinen, Betonfertigteilen, Schüttbodyen	
	Wärmeisolierung in Form von Isolierbeton, Isolierestrich	
	Landwirtschaft	Bodenauflockerung und -belüftung, Drainage, Pflanzen-Kultursubstrat
Hornit	Palygorskite und Sepiolith	Bleicherden, Ölbindemittel für mineralische und pflanzliche Öle
		Trägerstoff für Biozide, Filter-Hilfsmittel, Katalysator, Bohrspülung
	Palygorskite	Bodenstreuemittel, Trägerstoff für Biozide, Bohrspülung bei erhöhten Salzgehalten
	Sepiolith	Bleichmittel, Sorptive Granalien, Katzenstreu, Trägerstoff für Biozide, Dispergiermittel, Bohrspülung bei erhöhten Salzgehalten, Asbestersatz, Kosmetik, Geothermikbohrungen

Tabelle 108: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Tonminerale, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003, Lorenz und Gwosdz 1997)

2a Karbonatgesteine

Rohstoff		Verwendungszweck	
Kalkstein		Eisen- und Stahlindustrie	Eisenschaffende und eisenverarbeitende Industrie
		Chemische Industrie	Karbidindustrie, Düngemittelindustrie, Sodaindustrie, sonstige chemische Industrie
		Baustoffindustrie	Zementindustrie, Feuerfest- und Keramikindustrie, Kalk-, Kalksandstein-Industrie, Beton- und Mörtelindustrie, Kunststeinindustrie, sonstige Baustoffindustrie
		Baugewerbe	Hochbau, Straßenbau, Bahnbau, Wasserbau, Brückenbau
		Landwirtschaft	Dünger, Bodenverbesserung, Düngemittelaufbereitung, Futtermittel, Konservierung, Seuchenschutz, Schädlingsbekämpfung
		Umweltschutz	Behandlung von Boden, Wasser, Luft
			Steinkohlebergbau, NE-Metallindustrie, Glasindustrie, Feinkeramik, Zuckerindustrie, Zellstoff- und Papierindustrie, Gerbereien, Färbereien, Farben- und Lackindustrie
Dolomitstein	Rohstein	Eisen- und Stahlindustrie	Flussmittel
		Chemische Industrie	Füllstoff
		Farben-, Kunststoff- und Gummiindustrie	Füllstoff, Extender
		Glasindustrie	Gemengebestandteil
		Bauindustrie	Schotter, Splitt, Brechsand, Gesteinsmehl, Werkstein
		Landwirtschaft	Bodenverbesserung, Bodenbehandlung
		Metallurgie	Magnesium-Metall
		Herstellung von Mineralwolle, Glaswolle, Putzmittel, Scheuermittel	
	kalziniert	Stahlindustrie	Schlackenbildner
		Umweltschutz	Neutralisation von sauren Abwässern
		Baustoffindustrie	Dolomitfeinkalk, Dolomithydratkalk
		Landwirtschaft	Magnesium-Branntkalk, Magnesium-Mischkalk
			Herstellung von Mg-Verbindungen, Glasfasern, Seewasser-Magnesia
	Sinterdolomit	Feuerfestindustrie	Sinter für Stampf-, Flick- und Gießmassen
			Feuerfeste Auskleidungen für Eisen- und Stahlindustrie, Kalk-, Dolomit- und Zementindustrie
Magnesit	Rohstein	Bodenverbesserer	
		Herstellung von Glas und Keramik, Magnesium-Metall	
		Füllstoff für Farben, Papier, Kunststoff, Gummi	
		Trägerstoff für Germizide, Pestizide	
		Antihafmittel für Speisesalz, Explosivstoffe, Ammoniumnitratdünger	

Tabelle 109: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Karbonatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

Rohstoff		Verwendungszweck	
Magnesit kalziniert	Kaustische Magnesia	Baustoffindustrie	Magnesiabinder
		Metallurgie	Flussmittel, Stahlbeschichtung
		Ausgangsmaterial für Mg-Chemikalien, Mg-Metall	
		Additiv für Öle und Schmierstoffe	
		Füllstoff für Gummi, Kunststoff	
		Zuschlagstoff für Glas und Keramik	
		Bindemittel, Rauchgasentschwefelung, Brauch- und Abwasserbehandlung, Korrosionsschutz, Pharmazie und Kosmetik, Säureneutralisation, Tierfutterzusatz, Bodenverbesserer, Uranaufbereitung, Poliermittel, Papier- und Zelluloseindustrie, Herstellung schwer entflammbarer Stoffe	
	Sintermagnesia	Feuerfestindustrie	Flick- und Stampfmasse
	Schmelzmagnesia	Feuerfestindustrie	Hoch feuerfeste Steine, Flick- und Stampfmassen
Elektroindustrie		Isolatoren, Heizelemente	

Tabelle 110: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Karbonatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

2b Sulfatgesteine

Rohstoff		Verwendungszweck		
Calcium- sulfate	Natürlicher Gipsstein	Entsorgungshilfsstoffe für Klärschlammbehandlung, Sondermüll, radioaktive und giftige Abwässer		
		Bindemittel im Tiefbau		
		Füllmaterial für Landschaftsbau, Rekultivierung		
		Trägerstoff für Insektizide, Pharmazeutika, Dünger		
		Füllstoff für Papier, Papiercoating, Kunststoffe, Farben, Korrosionsschutz, Leime und Klebstoffe, Kosmetik		
		Abbindeverzögerer (Zement), Düngemittel, Bodenverbesserer, Chemierohstoff		
	α -Halb- hydrat	Spezialgipse	Dentalgipse, Formgips für chirurgische Medizin, Dachziegelherstellung, Keramik	
		Bindemittel im Tiefbau		
	β -Halb- hydrat	Innenausbau	Bindemittel, Bauplatten und -elemente, Verbundbauplatten und -elemente	
		Entsorgungshilfsstoffe für Klärschlammbehandlung, Sondermüll, radioaktive und giftige Abwässer		
Bindemittel im Tiefbau				

Tabelle 111: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Sulfatgesteine, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 1998 und 2003)

Rohstoff		Verwendungszweck		
Baryt	Mineral	Chemie	Chemiespat zur Herstellung von Ba-Chemikalien	
		Medizin	Kontrastmittel	
		Füllstoff, Extender für Farben, Papier, Anti-Dröhnmassen, Kunststoffe, Gummi, Brems- und Kupplungsbeläge		
		Bohrspülung bei der Erdöl- und Erdgasgewinnung		
		Stahlschutzmittel in Schwerbeton		
		Beschweren von Teppichböden, Kohlenwäsche		
	Ba-Chemikalien	Ba-Karbonat	Lithopone, Zuschlagstoff (Grobkeramik Glasherstellung), Herstellung von Ferrit, Ba-Titanat, Laugenreinigung	
		Blanc fixe	Papier (Pigment, Füllstoff), Glasläuterung	
		Ba-Chlorid	Stahlhärtung; Herstellung von Blanc fixe, Schweißelektroden, Na-Metall	
		Ba-Metall	Gettermetall in Elektronenröhren	
Coelestin		Herstellung von Bildschirmröhren (Strahlenschutz), Ferrit, Kondensatoren, Spezial-Schmierstoffen, Farben		
		Strontiumkarbonat für Zahnpasta, Korrosionsschutz		
		Pyro- und Signaltechnik, Keramik, Glasuren, Zinkelektrolyse, synthetischer Diamant		

Tabelle 112: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Sulfatgesteine, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 1998 und 2003)

3 Quarzrohstoffe

Rohstoff		Verwendungszweck	
Bergkristall Gangquarz		Herstellung von Quarzglas, optischem Glas, Schwingquarz, Reinst-Silicium, Ferrosilicium, Chromsilicium, Si-Metall	
Rhyolith	Keramik	Flussmittel	
	Farbglasherstellung, Zementherstellung		
Felsquarzit Zementquarzit	Feuerfestindustrie	Silicasteine, Stampfmassen	
	Füllstoff, Betonzuschlag, Straßenbaumaterial, Werkstein, Mühlenfuttersteine, Mahlkörper, Herstellung von Glas und Ferrosilicium		
Quarzsand	Chemische Industrie	Wasserglas, Siliciumcarbid	
	Keramik	Quarzmehl, Magerungsmittel	
	Herstellung von Glas, Glasfasern, Emaille, Mörtel		
	Schleif- und Putzmittel, Scheuermittel, Formsand, Füllstoff, Strahlsand, Frac-Sand, Kalksandsteine, Filtermaterial (Brunnenbau), Bremsande, Müllverbrennung		
Quarzkies		Si-Metall, Filtermaterial (Brunnenbau), Betonzuschlag, Dachkies, Dachbeschichtungen	

Tabelle 113: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Quarzrohstoffe, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

Rohstoff	Verwendungszweck	
Diatomit	Baustoffindustrie	Isolations- und Baustoffe
	Filterhilfsmittel beim Anschwemmen von Bier, Wein, Wasser und anderen Flüssigkeiten	
	Füllstoff für Reinigungs- und Poliermittel, Silikon-Kautschuk, Kunststoffe, Gummi, Papier, Farben, Lacke, Emaille, Streichhölzer, Pharmazeutika, Kosmetika	
	Trägerstoff für Katalysatoren, Insektizide, Desinfektionsmittel, Explosivmittel	
	Sorptionsmittel für Gasreinigungsmassen, Katzenstreu, Trockenmittel	
	Puderstoff für Düngemittel- und Kunststoffindustrie	
	Schleif- und Poliermittel	
Tripel	Schleif- und Poliermittel für Zahnpasta, Reinigungsmassen und Putzmittel, optische Linsen, Lacke, Schmucksteinschleiferei	
	Extender für Farben und Lacke	
	Füllstoff für Kunststoff, Gummi, Kunsth Holz, Epoxidharz, Klebstoff, Insektizide, Trockenreinigungsmittel, Waschpulver, Keramik-Glasuren	
	Trennmittelanstrich in Gießereien	
Kieselkreide	Füllstoff für Natur- und Synthetikautschuk, Latex, Thermoplast- und Kunstharzmischungen, Klebstoffe, Kite, Spachtelmassen	
	Zusatzstoff für Wasserglas, Wasserfarben	
	Trägerstoff und Verdünnungsmittel für chemische Substanzen, Farbstoffe	
	Quarzkomponente für keramische Massen, Schweißelektrodenummantelung	
	Abrasive Komponente in Putzmittel, Polierpaste, Schleifsteinen	
Hornstein Flint Chert	Herstellung von Ziegeln, Ferrosilicium	
	Zuschlag für Industriefußböden, Dekoration	
	Antirutschmittel für Böden, Fahrbahnoberflächen	
	Füllstoff für die Aufhellung von Fahrbahnen	
	Keramikindustrie, Mühlenfüttersteine, Mahlkörper, Straßenmarkierung, Streu für Geflügelhaltung, Schleifmittel, Polier- und Glättstein, Sprengstoffindustrie, Filtrationsmedium, Dachbelag, Feuerstein	
Novaculit	Schleifstein, Polierstein, Glättstein	
Lydit	Schotter, Bestimmung des Feingehaltes von Goldwaren	

Tabelle 114: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Quarzrohstoffe, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

4 Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge

Rohstoff		Verwendungszweck
Bims	Bautechnik	Landschaftsbau, dekorative Verschleißschichten, Schüttisolierung, Dachgranalien, texturierte Beschichtungen, Bodenbedeckung
		Leichtzuschlag für Hohlblocksteine, Vollblöcke, Dachelemente, Deckenelemente, Wandelemente, Fertigteile, Leichtbeton
		Reinigungsmittel für Grillreiniger, stone-washing für Jeans-Stoffe, Handseife, Scheuermittel, Zahnreinigung
		Sorbentien für Blumentopferde, porösen Pflanzboden, Streumittel, Bodenbelüftung, Gartenbau, acid-washing für Jeans-Stoffe
		Trägerstoff für Katalysatoren, Pestizide, Herbizide, Fungizide
		Füllstoff für Gummi, Farben, Kunststoffe, Entformungsmittel, Heißasphalt, Bremsbeläge
		Filterhilfsmittel für tierische, pflanzliche und mineralische Öle
		Puzzolan, Schleifsteine und -blöcke, Radiergummi, Poliermittel, Holzverarbeitung, Lederverarbeitung, rutschsichere Farben, Streichholzköpfe, Reibflächen
Vulkanische Tuffgesteine	Straßenbau	Frostschutzschicht, Tragschicht
		Zuschlagstoff für Leichtbeton, Wärmedämmörtel, Leichtmauermörtel
		Filterkies, Füllmaterial für die Wasserreinigung
		Grundstoff, Flussmittel für Glasuren
		Untergrundverbesserung, Garten- und Landschaftsbau, Natursteinmauerwerk, natürliche Puzzolane, Beton, Zement, Mauersteine, Glasfasern, Keramik, Wasserenthärtung
Basalt		Herstellung von schmelzgegossenen Steinen, Mühlsteinen, Mineralfasern, Glaskeramik
		Wasserbaustein, Senk-, Schütt- und Prellstein, Pflasterstein, Garten- und Landschaftsbau, Filterstoff, Wasseraufbereitung, Bodenverbesserung, Flussmittel in der Keramik
Ignimbrit		Fußbodenbelag, Wandverkleidung, Zusatz zu keramischen Massen, Abwasseraufbereitung, Düngemittel, Wärmedämmung
Perlit	gebläht	Zuschlagstoff für Beton, Putze, Mörtel
		Füllstoff für Kunststoffe, Kunstharze
		Trägerstoff für Düngemittel
		Sorptionsmittel für Öl, Chemikalien
		Dämmschüttung, Dachkonstruktionen, Grobkeramik, Filterhilfsmittel, Gartenbau, Tief- und Tiefsttemperaturisolierung, Feuerfest- und Gießereiindustrie, Zusatzstoff in Farben und Lacken
	ungebläht	Scheuermittel, Strahlsand, Flussmittel (Glas- und Keramikherstellung), Füllstoff

Tabelle 115: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Vulkanische Gesteine und Leichtzuschläge (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

5 Feldspäte und andere Flussmittel

Rohstoff		Verwendungszweck	
Feldspat und Feldspatgesteine		Keramikindustrie	Keramikmassen, Glasuren, Emaille
		Keramikindustrie Glasindustrie	Flussmittel
		Füllstoff für Lacke, Farben, Klebstoffe, Gummi, Kunststoffe	
		Antislipmittel in Beschichtungen, Anstrichen	
		Schleif- und Scheuermittel, Seifen und Reinigungspasten, Aufhellung von Straßendecken, Schmuck, Dünger, Flussmittel im Hochofen und für die Herstellung von Schweißelektrodenummantelungen	
Fluorit		Hütten- und Aluminiumindustrie, chemische Industrie, Glasindustrie, keramische Industrie	
Wollastonit-Roherz		Keramik	Fliesen, Tafelgeschirr, Porzellan, Fritten, Emaille
		Farbindustrie	Dispersionsfarben, Epoxid / Teer-Anstriche, Lacke, Pulverbeschichtungen
		Füllstoff für Kunststoffe, Kunstharze, Gummi, Farben, Gieß- und Pressmassen, Perlglanzpigmente, Papier	
		Flussmittel für die Schweißelektrodenherstellung	
		Bremsbeläge (Asbest-Ersatz, Antidrönmassen, Unterbodenschutzmassen, Korrosionsschutz, Düngemittel, Pestizide, Glasfasern, Weißzement)	
		Kunststoffputze, Feuerfestindustrie, Streichholzköpfe, Schleifmittel	
Foidgesteine	Nephelinsyenit	Füllstoff für Farben, Lacke, Kautschuk, Kunststoffe	
	Urtit	Glasindustrie, Keramikindustrie	
	Phonolith	Keramikindustrie	Glasuren, Emaille
		Glasindustrie, Tiernahrung, Bodenverbesserung und -stabilisierung, Wassereinigung, Füllstoff in Bitumen	
	Leucit	Herstellung von Alaun, Kalisaltpeter	
Aluminofluorid-Mineraie		Flussmittel für Aluminiumherstellung, Schweißtechnik, Alu-Recycling, Glasherstellung, Emaille	
		Bindemittel, Schweißelektroden, Insektizide, Umschmelzen von Leichtmetallen	
Bor-Mineraie		Glasindustrie Keramische Industrie Emailindustrie Porzellanindustrie Stahlindustrie	Flussmittel
		Metallindustrie	Schmiermittel, Buntmetallverhüttung, Schlackenbehandlung
		Flammschutz für Zellulosematerial, Kunststoffe	
		Puffer für Textil- und Galvanikbäder, Fotochemie, Kosmetika, Pharmazeutika	
		Abbindeverzögerer für Zement	
		Lösungsmittel, Wasch- und Reinigungsmittel, Düngemittel, Galvanotechnik, Korrosionsschutz, Flussmittel in der Löt- und Schweißtechnik	

Tabelle 116: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

Rohstoff		Verwendungszweck		
Lithium-Mineraie	Spodumen	Herstellung von Lithiumcarbonat, Spezialglas, Emaille, Keramik		
	Petalit	Herstellung von Stranggießpulver, Glasuren, Fritten, Emaille		
		Keramische Industrie, Glasindustrie		
	Lepidolith	Glasherstellung	Borosilikate, Flint-Glas	
	Amblygonit	Keramikindustrie, Li-Chemikalien		
	Hectorit	Kosmetik-Industrie		
	Li-Carbonat	Glasindustrie Emailindustrie Keramikindustrie	Flussmittel	
		Aluminium-Elektrolyse, Medizin		
	Li-Amid	Organische Chemie		
	Li-Bromid	Klimaanlagen, Gastrocknung		
	Li-Hydroxid	Herstellung von Schmierfetten		
Li-Hypochlorit	Desinfektionsmittel, Bleichmittel in Schwimmbädern			
Li-Metall	Legierungsbestandteil, Desoxidationsmittel, Entschwefelungsmittel, Batterien und Akkus, Katalysator, Kerntechnik, Li-organische Verbindungen			

Tabelle 117: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Feldspäte und andere Flussmittel, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2003)

6 Aluminiumoxidreiche Rohstoffe

Rohstoff		Verwendungszweck	
Roh-Alunit	Herstellung von Alaun, Aluminiumsulfat, Kali-Dünger, Aluminium, Zement		
Bauxit	Schleif- und Poliermittel für Haushaltsreiniger, Bremsbeläge		
	Stützmittel für Erdölbohrungen, Erdgasbohrungen, Wasserbohrungen		
Aluminiumproduktion, Feuerfestindustrie, Oxidkeramik, Sorptionsmittel, Katalyse-Produkte, Trocknungsmittel, Füllstoffe, Flammschutz, Chemikalien, Tonerde-Zement, Schweißelektroden, Eisen- und Stahlindustrie, Straßenbau, Dammbau, Hochbau	Aluminiumproduktion, Feuerfestindustrie, Oxidkeramik, Sorptionsmittel, Katalyse-Produkte, Trocknungsmittel, Füllstoffe, Flammschutz, Chemikalien, Tonerde-Zement, Schweißelektroden, Eisen- und Stahlindustrie, Straßenbau, Dammbau, Hochbau		
	Korund Schmirgel	Schleifmittel, Poliermittel, Hartbeton, rutschfeste Beläge	
Sillimanit-Mineraie	Füllstoff für Kunststoffe, Lacke, Farben, Beschichtung für mechanisch stark beanspruchte Flächen		
	Mullit-Produktion, Feuerfestindustrie, Elektroporzellane, Trübungsmittel, Poliermittel, Tonerde-Schmelzzement		
Pyrophyllit-Roherz	Feuerfestindustrie	Isoliermaterial, Gießpfannenauskleidungen, Gusspfannensteine, Tunnelwagenauskleidungen, Tunnelofenzubehör, Auskleidungen für Glasschmelzwannen	
	Keramikindustrie	Fliesen, Isolatoren, Heizkörper	
	Papierindustrie Kunststoffindustrie Gummiindustrie Seifenindustrie	Füll- und Trägerstoff	
	Lack- und Farbenindustrie	Pigment	
	Baustoffindustrie	Straßenbaumaterial, Weißzement, Fugenmassen, Abdichtungsmittel, Dachbelag, rutschfeste Beschichtungen	
	Tierfutterbestandteil, Filterschichten, Rohrauskleidung, Bildhauermaterial, Glasfaserproduktion, Füll- und Trägerstoff für Asphalt, Biozide, Kosmetika und Pharmazeutika		

Tabelle 118: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Aluminiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)

7 Magnesiumoxidreiche Rohstoffe

Rohstoff	Verwendungszweck	
Talk Roherz	Keramikindustrie	Schnellbrandmassen, Cordierit-Brennhilfsmittel, Herstellung von Steatit-Teilen
	Kunststoffindustrie	Verpackungen, Beschichtungen, Füllstoff
	Gummiindustrie Papierindustrie	Füllstoff
	Pharmazie	Füllstoff, inertes Substrat
	Farbenindustrie, Kosmetikindustrie, Düngemittel, Nahrungsmittel, Lederherstellung, Insektizide, Textilherstellung, Schweißelektroden, Druckfarben, Füllstoff in der Asphaltverarbeitung und für Dachbelag	
Olivin Dunit	Feuerfestindustrie	Hochfeuerfeste Forsterit-Steine, hochfeuerfeste Mörtel, hochfeuerfeste Stampfmassen
	Wärmespeicher in elektrischen Nachtspeicheröfen	
	Hochofenzuschlag, Gießerei-Formsand, Sandstrahl- und Schleifmittel, Düngersatz, Gesteinskörnungen, Wasseraufbereitung, Ballast im Baugewerbe, Füllstoff für Asphalt, Zuschlagstoff in der Keramikindustrie, Sonstige	

Tabelle 119: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Magnesiumoxidreiche Rohstoffe (vgl. Lorenz und Gwosdz 2005)

8 Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze

Rohstoff	Verwendungszweck	
Phosphat- Mineral	Rohphosphat	Düngemittel
	Calcium- phosphat	Herstellung von Emaille, Glas, Porzellan
		Tierfutter, Calciumpräparate, Backpulver, Zahnpflegemittel, Putz- und Poliermittel
	Natrium- phosphat	Herstellung von Zement, Glas
		Wasch- und Reinigungsmittel, Kaolinreinigung, Wasserenthärtung, Reinigungsmittel, Futterkalkzusatz, Imprägniermittel, Ledergerbung, Milchproduktzusatz, Korrosionsschutz, Abbeizmittel, Seifenbestandteil, Wasserbehandlung, Wasch- und Geschirrspülmittel, Metallentfettungsmittel, Badesalze, Speisezubereitung, Schleifwasserzusatz für Tiefbohrungen
Organische Phosphor- säure-Ver- bindungen	Weichmacher für Kunststoff- und Lackerzeugnisse	
	Schädlingsbekämpfung	
Schwefel	Schwefel- säure	Düngemittelherstellung, Chemikalien, Erdölraffination, Kohleprodukte, Papierindustrie, Uranerzbergbau, Sonstige
	Elementarer Schwefel	Bindemittel für Schwefelbeton Papierindustrie, Erdölraffination, Kohleprodukte, Chemikalien, Düngemittel, Pestizide, Zucker, Gummi, Straßenbeläge, Schwefelschaum, Schwefelelektroden, Abwasserbehandlung, Sonstige
Steinsalz und Kalisalze	Speisesalz	Gewürz, Pökelsalz, Lebensmittelherstellung
	Industriesalz	Chlor-Alkali-Elektrolyse
	Gewerbesalz	Regeneriersalz, Tiernahrungsmittel, Haut- und Darmverwertung, Pharmazie, Kosmetik, Wasserentkeimung, Eisproduktion, Holzkonservierung, Kühlsole, Kältemischungen, Bohrhilfsmittel, Galvanik
	Auftausalz	Pyrotechnik- und Sprengmittelindustrie, Herstellung von Schmierseifen, Düngemittel und Kaliglas

Tabelle 120: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze, Teil 1 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2006)

Rohstoff		Verwendungszweck			
Steinsalz und Kalisalze	Speisesalz	Gewürz, Pökelsalz, Lebensmittelherstellung			
	Industriesalz	Chlor-Alkali-Elektrolyse			
	Gewerbesalz	Regeneriersalz, Tiernahrungsmittel, Haut- und Darmverwertung, Pharmazie, Kosmetik, Wasserentkeimung, Eisproduktion, Holzkonservierung, Kühlsole, Kältemischungen, Bohrhilfsmittel, Galvanik			
	Auftausalz	Herstellung von Schmierseifen, Düngemittel, Kaliglas Pyrotechnik- und Sprengmittelindustrie			
Natriumcarbonat	Glasindustrie Emailindustrie	Flussmittel			
	Chemische Industrie	Bleichmittel, Borax, Chromate, Düngemittel, Füllstoffe, Farben, Katalysatoren, Klebstoffe, Industrierreiniger, Leim, Gerbereihilfsmittel			
	Waschmittel- und Seifenindustrie	Waschmittel, Verseifung von Fetten			
	Petrochemie	Neutralisierung			
	Zellstoff- und Papierindustrie	Aufschluss, Neutralisierung, Reinigung, Bleichung, Altpapieraufbereitung			
	Textilindustrie	Veredelung von Wolle und Baumwolle, Färbmittel, Bleichmittel			
	Kokereien, Gas- und Kraftwerke	Gasreinigung, Entschwefelung, Wasserreinigung			
	Eisen- und Stahlindustrie	Entschwefelung, Entphosphorung, Erzaufbereitung, Flotations- und Flussmittel, Metallentfettung			
	Nahrungsmittelindustrie	Eiweißhydrolyse, Herstellung von Stärke, Zucker, Margarine			
Natriumsulfat	Zellstoff- und Papierindustrie	Umwandlung in Natriumsulfid			
	Glasindustrie	Flussmittel, Entfärber			
	Sprengmittelindustrie	Sauerstofflieferant, Metallurgie			
	Waschmittelindustrie, Farbstoffherstellung, Textilfärberei, Galvanotechnik, Emailherstellung, Wasserreinigung, Wärmespeicher, Tierfutterherstellung, Chemikalienproduktion, Natriumnitrat, Düngemittel, Jodgewinnung,				
Magnesiumsalze	Mg-Chlorid	Herstellung von Mg-Metall durch Elektrolyse, Mg-Verbindungen, Zement, Leichtbauplatten, Schmelzsatz, Leichtmetall-Legierungen, Polystyrol			
		Beschwerungsflüssigkeit für Reifen von Baumaschinen, landwirtschaftlichen Fahrzeugen			
		Feuchthaltung von Papier, Naturfasern, Pasten, Leimen			
		Staubbindemittel für Bergbau, unbefestigte Straßen			
		Düngemittel, Leckmassen, für Tiere, Zuckerindustrie, Bohrspülung, Auftausatz, Kunststoff-Emulsionen			
	Mg-Sulfat	Textil- und Gerbereiindustrie	Beizmittel		
		Pharmazie	Abführmittel, Kompensation von Mg-Mangel		
		Biotechnologie	Nährstoff für Mikroorganismen		
		Herstellung von Polystyrol, Mg-Verbindungen			
		Bindemittel für Magnesiasteine, Düngemittel, Zellstoffindustrie, Kunststoff-Emulsionen, Trocknungsmittel			

Tabelle 121: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze, Teil 2 (vgl. Lorenz und Gwosdz 2006)

9 Glimmer

Rohstoff		Verwendungszweck		
Natürliches Glimmerblatt Tafel- und Blockglimmer gepresste Abfälle		Elektrotechnik	Elektromotoren, Funkenschutz, Hochspannungswicklungen, Stromdurchführungen	
		Eintrittsfenster von Zählrohren, Kondensator, Austrittsfenster für Hochfrequenzenergie, Isolator in Wärmegegeräten, Hitzeschutz für Schaugläser		
Glimmerabfall		Füllstoff für Korrosionsschutzgrundierungen, Anstriche (Schiffe, Unterwasserbau, temperaturbeständige Anstrichstoffe, Dispersionsanstriche), Lacke (Coal-coating-Lacke, Elektrolyse-Tauchlacke, Elektroisolierlacke, UV-beständige Farben und Lacke, Zwischenfüller), Kunststoffputze und -beschichtungen, Unterbodenschutz für Kfz, Polyester (Beschichtungen, Reparaturspachtel), Feuerlöschpulver, Kunststoffe, Klebe- und Schmiermittel, elektrotechnische Gießharze, Gleitmittel, Kautschuk, Schweißelektrodenummantelung, Fugenfüller		
Muskovit-Gruppe	Sericit-Erze	Keramik	Flussmittel, Töpferware, Steingut, Steinzeug, Fliesen, Kacheln, Gebrauchs- und Kunstkeramik, Sanitärkeramik, Porzellan, Feuerfestprodukte	
		Füllstoff für Kunststoffe, Papier, Spachtelmassen, Gummi, Farben- und Lackindustrie		
		Pestizid-Trägerstoff, Zement, Glaswolle, Kabelindustrie		
	Glaukonit	Adsorptionsmittel für Erdölprodukte, Wasserenthärtung und -aufbereitung, Bodenverbesserung, Düngemittel, Farbpigmente, Glaspolyermittel, Naturwerksteine, Dachziegel, Geruchsbindemittel		
Vermiculit	Ungebläht	Gipskartonplatten		
	Expandiertes Material	Chemische Industrie	Adsorptionsmittel, Füllstoff	
		Metallurgie	Bestandteil der Metallschmelze	
		Landwirtschaft	Trägerstoff von Düngemitteln, Tierfutterzusatz, Steuerung des Wasserhaushaltes	
		Wärme- und Schallisolierung, feuerbeständige Mörtel und Putze, Gartenbau, Feuerfestindustrie		
Chlorit	Keramik	Fliesen, Weiß- und Zierkeramik, Feuerfestkeramik, Katalysatorträger für Autoauspuffe		
	Extender für Farben, Pestizide			
	Füller für Teerpappe, Asphalt-Dachschindeln, Spachtelmassen, Pestizide			

Tabelle 122: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Glimmer (vgl. Gwosdz et al 2006)

10 Schwerminerale

Rohstoff		Verwendungszweck		
Rutil		Herstellung von Titanmetall, Weißpigmenten		
		Schweißelektrodenummantelung		
Ilmenit	Titan-dioxid	Weißpigment für Farben und Lacke, Druckfarben, Kunststoffe, Gummi, Linoleum, Chemiefasern, Papier, Glas, Emaille, Keramik		
		Kosmetika, Textilien, Seifen, Pharmazeutika, Glasreinigung, Elektrokeramik, Photokatalyse, Titanchemikalien, Schweremittel, Abrasiv, Filtermedium, UV-Schutz in Sonnencreme		
	Titan-metall	Sportindustrie	Golfschläger, Rennradrahmen	
		Medizin	Prothesen, Herzschrittmacher	
Flugzeug- und Hubschrauberbau, Raumfahrt, Antriebstechnik, Chemie- und Industrieanlagenbau, Wehrtechnik, Informatik und Elektrotechnik, Formguss, Schmuck- und Uhrenindustrie, Wohnungsbau, Titanbatterien				
Granat		Schweremittel für die Wasserfiltration		
		Sandstrahlung, water-jet cutting, Schleifmittel, Poliermittel		
Zirkon	Keramikindustrie	Glasuren, Sanitärkeramik, Fliesen, Geschirr, Erdenwaren, Spezialporzellan, glasierte Ziegel		
	Feuerfest-anwendungen	Mörtel, Ziegel, Ofenauskleidungen, Glas- und Metallschmelzen		
	Gießereiindustrie	Zirkonsand, Zirkonmehl		
	Füllstoff für Kunststoffe, Silikone, Epoxide, Harze, Spezialfarben			
	Chemikalien, Nukleartechnik			
Zirkonia		Herstellung von Keramik für hoch belastete Komponenten, λ -Sonden in Benzinmotoren, Spezialglas, Farbpigmente, Munition und Sprengstoffe, Airbags, Blitzlichttechnik, Mahlkörper, Schmirgelpapier, abrieb- und korrosionsbeständige Produkte, synthetische Edelsteine		
Chromit	Stahlindustrie	Chromstahl		
	Chemische Industrie	Natriumchromat (Korrosionsschutz, Katalysator, Bohrschlammzusatz, Farbpigmentherstellung, Textiltrocknung, Wasserbehandlung, Holzschutz, Grundlage weiterer chemischer Produkte)		
		Natriumdichromat (Batterien, Bleichwaxe und -öle, Kupferlegierungen, Metallbearbeitung, Bohrschlammzusatz, Ledergerbung, Farben, Pigmente, Farbstoffe, Textilfärbung, Wasserbehandlung, Holzschutz, Grundlage weiterer chemischer Produkte)		
		Ammoniumdichromat (Oxidationsmittel)		
Kaliumdichromat (Chemikalien für Druck-, Foto- und lithografische Technik, Pyrotechnik, Zündhölzer, Metallsalze, Metallbearbeitung, Glas, Farbpigmente, Wirkstoff in Alkoholtestgeräten)				
Bleichromat (Farbpigment)				
Chromsulfat (Ledergerbung)				
Chrom(III)oxid (Herstellung von Magnetbändern)				
Chromsäure (Keramikfarbstoff, Feuerfestmischungen, Metallurgie, Fungizid, Grünpigment, Metallchromierung, Grundstoff für Chromkupferarsenat)				
Feuerfestindustrie	Zusatz in Feuerfeststoffen			
Form- und Gießereisande (Formguss)				

Tabelle 123: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Schwerminerale (vgl. Gwosdz et al 2006)

11 Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe

Rohstoff	Verwendungszweck	
Graphit Roherz	Metallurgie	Stahlherstellung, Legierungselement, Gusserzeugung
	Gießereiindustrie	Auskleidungsmaterial, Gussformbehandlung
	Festschmierstoff für Schmier- und Trennmittel, Presshilfsmittel, Dichtungen, Bleistift-Minen, Katalysator-Träger, Kohlenstofffasern, Brems- und Kupplungsbeläge, Batterien und Akkus, Elektrotechnik, Schweißelektrodenummantelung, Farben und Lacke, Beschichtungen	
	Füllstoffe für Gummi, Kunststoffe	
	Einfärben von Kunststoffen, Kunststeinen, Beton, keramischen Massen	
	Hüttenindustrie, Feuerfestindustrie, Sprengstoffbehandlung, Galvanoplastik, Kernreakorteknologie, metallurgische Prozesse, elektrisch leitende Formkörper, Schmelztiegel	
Blähgraphit	Flammschutz, Graphit-Folien, Verbundwerkstoffe	
Beryllium-Mineraie	Legierungen, Kernreakorteknologie, Luft- und Raumfahrt, Kreisel für Navigationssysteme, Röntgentechnik, Raketenbrennstoff, oxidkeramische Werkstoffe, Beryllide, Leuchtelemente, Lautsprecher- und Tontechnik	
Farberden	Farb- und Füllstoffe für Gummi, Kunststoffe, Baustoffe	
	Polierrot für Glas	
	Farben und Lacke, Beschichtungen, Gießereiindustrie, Keramik, Düngemittel, Grundierungen, Schiffsanstriche, Hausanstriche, Korrosionsschutz	
Mangan-Mineraie	Grobkeramik	Pigment
	Glasindustrie	Bleich- und Färbmittel
	Chemische Industrie	Hydroquion, Kaliumpermanganat, Mangansulfat, synthetische Manganoxide
	Oxidationsmittel für die organische Synthese, Uranaufbereitung	
	Flussmittelzusatz für die Herstellung von Schweißelektrodenummantelungen	
	Herstellung von Trockenbatterien, Widerstandslegierungen, Magnetwerkstoffen	
	Legierungen, Katalysator-Bestandteil, Zinkelektrolyse, Düngemittel	
Zeolithe	Ionentauscher für die Abwasserbehandlung, Behandlung radioaktiver Prozesswässer, Behandlung wässriger Lösungen im Waschmittelsektor	
	Adsorptionsmittel für Trocken- und Reinigungsmittel für Gase und Luft, Kälte- und Kühlanlagen, im Innenraum von Doppelfenstern, Wärmespeicher, Behandlung von Gasgemischen, Wasserstoffreinigung, Futtermittelzusatz, Bodenverbesserung, Katzenstreu	
	Trennprozesse (Paraffintrennung, Sauerstoffanreicherung)	
	Katalysator bei der Herstellung von Treibstoffen und Ethylbenzol, Hydrocracken, Paraffinbehandlung	
	Herstellung von Puzzolan-Zement und -Mörtel, Leichtzuschlagherstellung, Leichtbausteine, Füllstoff für Papier, Zahnpasta, Trägerstoff (Pestizide, Fungizide, Herbizide), Kunststoffe, Folien, Deodorantien, Glas	

Tabelle 124: Industrielle Einsatzmöglichkeiten für Beryllium-Mineraie, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Mineraie und Zeolithe (vgl. Gwosdz et al 2008)

10.4 Digitaler Anhang

Von der beigelegten CD-ROM sind folgende Daten abrufbar:

- Dünnschliffprotokolle
- Auswertung im Detail
- Industriestandorte in Nordtirol (lt. Industriellenvereinigung, Stand Juni 2013)