

---

Masterarbeit

---

**Ressourcenverfügbarkeit, bergtechnische  
Charakterisierung und Bergbauplanungskonzepte  
ausgewählter Vorkommen ultramafischer Gesteine  
in Österreich**

---

Nutzungspotentiale von ultramafischen Gesteinen

**Sebastian Raffler**

**Betreuer:**

**Bergrat h.c. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Manfred Hoscher**

**Mag. Robert Treimer**

23/04/2015



---

Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft  
Department Mineral Resources and Petroleum Engineering  
Montanuniversität Leoben

A-8700 LEOBEN, Franz Josef Straße 18  
Tel.Nr.: +43/(0)3842-402-2001  
Fax: +43/(0)3842-402-2002  
bergbau@unileoben.ac.at

---

## Ehrenwörtliche Erklärung

---

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung in dieser Arbeit, wie z.B. TeilnehmerInnen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

---

## Zusammenfassung

---

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit ultramafischen Gesteinen in Österreich. Sie behandelt Ressourcenverfügbarkeit, bergtechnische Charakterisierung und Nutzungspotenziale von ultramafischen Gesteinen sowie Bergbauplanungskonzepte von ausgewählten Vorkommen.

Der erste Teil der Arbeit befasst sich mit der Definition von ultramafischen Gesteinen und dessen Nutzungspotenzial. Die Ultramafite sind interessant, weil sie größtenteils aus Magnesiumsilikat bestehen, mit Anteilen von Eisen und Nickel. Chrom liegt in oxidischer Form als Chromit vor. Diese Rohstoffe können mit Hilfe der Hydrometallurgie gewonnen werden. Die Karbonatisierung von dem enthaltenen Magnesium ermöglicht es CO<sub>2</sub> zu binden in Form von synthetischem Magnesiumkarbonat. Ultramafische Gesteine finden Verwendung als Gesteinskörnungen für den Straßenbau und für Eisenbahntrassen sowie als Werkstein.

Im Hauptteil wird ein Blick auf die Ressourcenverfügbarkeit in Österreich geworfen. Es konnten 35 österreichische Vorkommen aufgefunden werden. Die fünf Vorkommen mit der größten Oberflächenerstreckung liegen in Kraubath 28 km<sup>2</sup>, Bernstein 10 km<sup>2</sup>, Hochgrößen 5 km<sup>2</sup>, Badersdorf 5 km<sup>2</sup> und Pernegg 5 km<sup>2</sup>. Anhand definierter bergtechnischer Parameter erfolgte die Auswahl der zwei vielversprechendsten Vorkommen, Bernstein und Kraubath, für eine genaue bergtechnische Charakterisierung. Diese ergab, dass Kraubath infolge der besseren Wertstoffgehalte, der guten Infrastruktur und der größeren Ausmaße des Vorkommens als Favorit hervorging.

Der Schlussteil der Masterarbeit beschäftigt sich mit dem „Mine to Mill Concept“. Das Bergbauprojektplanungskonzept zeigt die Schritte auf, welche wichtig sind, um ein Bergbauprojekt durchzuführen. Eine Eingrenzung der Abbaufverfahren für die ausgewählten Vorkommen erfolgt. Die Kostenanalyse ergibt, dass die Ausgaben für Exploration, Bergbau, Logistik und Zerkleinerung, bei Betriebsgrößen von 500.000 t/a, 1.000.000 t/a und 5.000.000 t/a, aufgrund der Kostendegression von 17 €/t auf 10 €/t sinken. Das „Target Costing“ zeigt mögliche Stellschrauben für die

Kostensenkung auf. Abschließend werden die rechtlichen Rahmenbedingungen erörtert.

---

## Abstract

---

This thesis is focused on ultramafic rocks in Austria. It discusses the topics availability of resources, mining characterization and utilization potential of ultramafic rocks as well as mine planning concepts for selected occurrences.

The first part of the thesis defines the ultramafic rocks and their utilization potential. The ultramafic rocks are interesting, because the major part of it consists of magnesium silicate, with fractions of iron and nickel. Chromium is present in oxide form as chromite. These resources can be yielded by using hydrometallurgy. The contained magnesium can be used to bind CO<sub>2</sub> into synthetic magnesium carbonate. The ultramafic rocks are exploited for aggregates for road and rail tracks and as cut stone.

The main part surveys the resource availability of Austria, 35 occurrences could be found. The five deposits with the largest surface dimensions are Kraubath 28 km<sup>2</sup>, Bernstein 10 km<sup>2</sup>, Hochgrößen 5 km<sup>2</sup>, Badersdorf 5 km<sup>2</sup> and Pernegg 5 km<sup>2</sup>. Defined mining parameters were used for the selection of the two most promising occurrence, Bernstein and Kraubath, for an exact mining characterization. It shows that Kraubath is favored because it has better grades, good infrastructure and larger proportions.

The final part of the paper deals with the "Mine to Mill concept". The mining project planning concept shows the steps which are important to realise a mining project. A containment of the mining methods is carried out for the selected occurrence. The cost analysis shows that the costs for exploration, mining, logistics and milling, in operation scenarios between 500,000 t/a, 1,000,000 t/a and 5,000,000 t/a, varies between 17 €/t to 10 €/t. "Target Costing" identifies possible adjusting keys for cost reduction. In conclusion the legal framework is discussed.

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Ehrenwörtliche Erklärung .....	II
Zusammenfassung .....	III
Abstract .....	V
Inhaltsverzeichnis .....	VI
Danksagung .....	X
1 Einleitung – Nutzungspotentiale von ultramafischen Gesteinen in Österreich .....	1
1.1 Ultramafische Gesteine – Definition .....	2
1.1.1 Klassifikation .....	4
1.1.2 Klassifikation und Nomenklatur .....	6
1.1.3 Entstehung ultramafischer Gesteine .....	8
1.1.4 Metamorphe Ultramafite .....	9
1.2 Nutzungspotentiale von ultramafischen Gesteinen .....	10
1.2.1 Konventionelle Anwendungen .....	10
1.2.2 Hydrometallurgische Verwertung .....	10
1.2.3 Karbonatisierung .....	14
1.2.4 Einsatzmöglichkeiten der enthaltenen Stoffe .....	18
2 Ressourcenverfügbarkeit ultramafischer Gesteine in Österreich .....	19
2.1 Böhmisches Massiv .....	19
2.2 Zentralalpines Kristallin (Speik-Komplex) .....	20
2.3 Penninikum Tauernfenster .....	21
2.4 Penninikum Rechnitzer Fenster .....	22
2.5 Andere Vorkommen .....	22
2.5.1 Unterostalpine Zone .....	22
2.5.2 Silvretta-Kristallin .....	22
2.5.3 Unterengadiner Fenster .....	23
2.5.4 Koralpe-Wölz Deckensystem .....	23
2.6 Überblick der Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich .....	24
3 Bergtechnische Charakterisierung .....	27
3.1 Mineralischer Rohstoff .....	27
3.2 Vorkommen .....	28
3.3 Lagerstätten .....	29

3.3.1	Bauwürdigkeit.....	29
3.3.2	Beurteilungsprozess für die Bauwürdigkeit .....	31
3.3.3	Raumordnung.....	32
3.3.4	Klassifikation von Lagerstättenvorräten.....	33
3.3.5	Internationale Standards für die Klassifikation von Lagerstättenvorräten..	36
3.4	Einflussfaktoren auf die Bauwürdigkeit.....	38
3.4.1	Geographische Einflussgrößen .....	39
3.4.2	Geologische Einflussgrößen .....	42
3.4.3	Lagerstättenbonität.....	43
3.4.4	Lagerstättenqualität.....	43
3.4.5	Lagerstättenquantität.....	45
4	Auswahl geeigneter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich anhand bergtechnischer Parameter.....	46
4.1	Bergtechnisch relevante Parameter .....	46
4.1.1	Oberflächenausdehnung .....	46
4.1.2	Lage & Infrastruktur.....	47
4.1.3	Petrologie .....	47
4.1.4	Raumordnung.....	48
4.1.5	Greenfield oder Brownfield Project.....	48
4.2	Auswahl geeigneter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich anhand bergtechnischer Parameter.....	49
5	Bergtechnische Charakterisierung ausgewählter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich .....	52
5.1	Bewertungssystem .....	52
5.1.1	Bewertungsskala .....	52
5.1.2	Hydrologie .....	53
5.1.3	Gebirgseigenschaften und Böschungsstabilität.....	53
5.1.4	Mineralogie und Petrologie.....	54
5.1.5	Wertstoffgehalt .....	54
5.1.6	Lagerstättenform und Wertstoffmenge .....	55
5.1.7	Zerkleinerungsverhalten .....	55
5.1.8	Lage und Infrastruktur .....	56
5.2	Vorkommen Kraubath .....	57
5.2.1	Geologie .....	57
5.2.2	Bergbauliche Aktivitäten .....	59
5.2.3	Bergtechnische Parameter des Vorkommens .....	60

5.2.4	Bergbauberechtigung .....	71
5.2.5	Bewertung der bergtechnischen Charakterisierung.....	72
5.3	Vorkommen Bernstein .....	73
5.3.1	Geologie .....	73
5.3.2	Bergbauliche Aktivitäten .....	74
5.3.3	Bergtechnische Parameter des Vorkommens .....	75
5.3.4	Bergbauberechtigung .....	80
5.3.5	Bewertung der bergtechnischen Charakterisierung.....	81
5.4	Gegenüberstellung der Vorkommen Kraubath und Bernstein .....	82
6	Mine to Mill Concept – Bergbauplanungskonzepte ausgewählter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich.....	84
6.1	Bergbauprojektplan .....	84
6.2	Abbauverfahren.....	89
6.2.1	Abgrenzung Tagebau – Untertagebau .....	90
6.2.2	Tagebau Abbauart.....	91
6.2.3	Tagebau Abbauverfahren.....	93
6.2.4	Tagebau Abbauführung.....	95
6.2.5	Schlussfolgerung Tagebausystem .....	96
6.3	Prozessgliederung und Kostenanalyse des Bergbauendproduktes .....	97
6.3.1	Exploration .....	98
6.3.2	Bergbau.....	99
6.3.3	Logistik .....	103
6.3.4	Aufbereitung (Zerkleinerung).....	107
6.3.5	Kostenbewertung Rekultivierung/Renaturierung .....	109
6.3.6	Gesamtkosten Bergbau.....	111
6.3.7	Target Costing.....	112
6.4	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	116
6.4.1	Rechtliche Rohstoffart .....	117
6.4.2	Umweltverträglichkeitsprüfung .....	120
7	Diskussion.....	121
8	Literaturverzeichnis .....	123
8.1	Internetquellen.....	126
9	Abbildungsverzeichnis .....	127
10	Tabellenverzeichnis .....	130
11	Abkürzungsverzeichnis .....	133

Anhang.....	I
Die österreichischen Vorkommen in unterschiedlichen Koordinatensystemen .....	I
Berechnungen Kosten.....	III

---

## Danksagung

---

Diese Diplomarbeit hätte nicht entstehen können, ohne die fachliche Unterstützung meiner Betreuer.

Mein Dank gilt Herrn Bergrat h.c. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Manfred Hoscher und Mag. Robert Treimer, welche mir mit ihrem Fachwissen und ihrem Rat zur Seite standen. Bei Herrn Bergrat h.c. em.O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Horst Wagner bedanke ich mich für die produktiven Gespräche.

---

# 1 Einleitung – Nutzungspotentiale von ultramafischen Gesteinen in Österreich

---

Die österreichische Wirtschaft muss für die Versorgung der Industrie den größten Teil der metallischen Rohstoffe importieren. Eine höhere Eigenaufbringung würde die Importe verringern und eine sicherere Versorgung gewährleisten. Das Potenzial für eine Nutzung hätten österreichische Armerzlagerstätten. Bei diesen Lagerstätten handelt es sich z.B. um ultramafische Gesteine. Ein nassmetallurgischer Prozess ermöglicht es folgende Rohstoffe zu gewinnen:

Name	Elementsymbol
Eisen	Fe
Magnesium	Mg
Chrom	Cr
Nickel	Ni
Silizium	Si

Tabelle 1: Gewinnbare Elemente aus ultramafischen Gesteinen

Chrom, Magnesium und Silizium sind für Österreich kritische Rohstoffe. Nickel und Eisen sind potenziell kritische Rohstoffe. Mineralische Rohstoffe sind aus nationaler Sicht kritisch, wenn sie für die Wirtschaft eine hohe Bedeutung haben, aber wegen zu geringer Eigenproduktion eine hohe Importabhängigkeit besteht. (BMVIT 2014, S. 2)

Ein weiteres Nutzungspotenzial der ultramafischen Gesteine könnte die Speicherung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) sein. Vor allem der hohe Gehalt an Magnesium in ultramafischen Gesteinen bietet die Möglichkeit zur Herstellung von synthetischen Magnesium-Karbonaten. Die Karbonatisierung von mineralischen Rohstoffen könnte eine Möglichkeit zur sicheren Speicherung des Treibhausgases CO<sub>2</sub> sein. Durch die Bildung von Karbonaten wird das Gas in die Mineralstruktur

eingebaut und in Form von synthetischen Karbonaten gebunden. Es besteht keine Gefahr des Wiederaustretens von CO<sub>2</sub>. Die synthetischen Karbonate können einer neuen Nutzung zugeführt werden. Die Karbonatisierung könnte nach der Nassmetallurgischen Gewinnung stattfinden, weil die Auflösung des Gesteins auch für den Nassmetallurgischen Prozess erfolgen muss. Durch die Nutzung der Synergie müsste die Auflösung des ultramafischen Gesteins nicht nur für die Karbonatisierung geschehen, sondern es könnten vorher noch wertvolle Rohstoffe aus dem Gestein gewonnen werden.

---

## 1.1 Ultramafische Gesteine – Definition

---

Ultramafische Gesteine gehören zur Gruppe der magmatischen Gesteine. Magmatische Gesteine entstehen durch das Erstarren von geschmolzenem Gestein.

Magma entsteht bei starker Erhitzung von Erdmantel- oder Krustenmaterial durch heiße Konvektionsströme oder mittels tektonischer Prozesse. Der wirkende tektonische Prozess ist die Subduktion von Gesteinsmaterial in heißere Bereiche. Der Prozess der Aufschmelzung ist stark mit der Plattentektonik verknüpft. Ein Überblick der Bildungsmechanismen von Magmatiten gibt Abbildung 1. Die unterschiedlichen Gesteinsarten entstehen durch die Bildungsumstände in den magmatischen Provinzen und deren unterschiedlichem Chemismus. Geschieht bei der Kollision von zwei Kontinenten eine Subduktion und überschreitet die abtauchende Platte 750 °C kommt es zur Aufschmelzung des Gesteins. Es bilden sich Magmen mit der chemischen Zusammensetzung der kontinentalen Kruste. Dies sind granitische Schmelzen mit saurem Chemismus. Bei der Aufschmelzung von Erdmantel oder ozeanischer Kruste (1000° C) entstehen basaltische Magmen mit basischem Chemismus. (Sebastian 2012, S. 35 f)

Großen Einfluss auf die spätere Gesteinszusammensetzung haben die folgenden Vorgänge. Durch das Aufschmelzen erfährt das Gestein einen Auftrieb, weil es meist leichter als seine Umgebung ist. Das entstandene Magma frisst sich durch die

Kruste hindurch und schmilzt auch Nebengestein mit anderem Chemismus auf und assimiliert dieses. Durch das Aufschmelzen von Nebengestein wird Energie abgegeben und das Magma kühlt ab. Minerale mit hohem Schmelzpunkt beginnen mit der Auskristallisierung. Dieser Vorgang separiert das Magma in frühere und spätere Kristallisate. Magmendifferenziation entsteht wegen der langen Aufstiegswege an Subduktionszonen. (Sebastian 2012, S. 36)

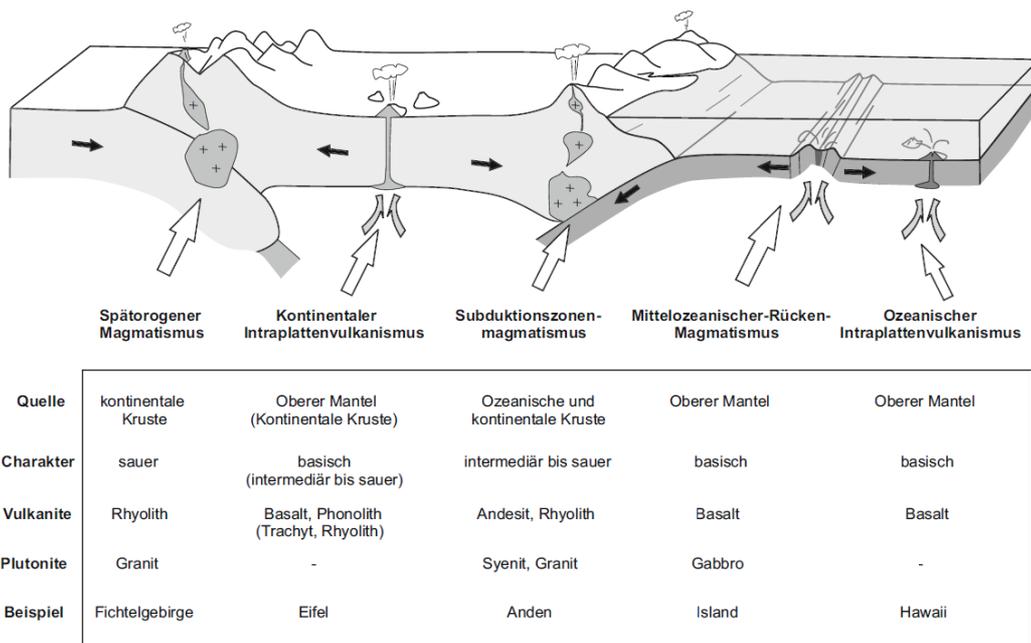


Abbildung 1: Vorgänge der Plattentektonik und die prinzipiellen Bildungsmöglichkeiten (Sebastian 2012, S. 35)

Die erste Art der Klassifikation der magmatischen Gesteine kann anhand ihres Bildungsorts erfolgen:

- Plutonite
- Vulkanite
- subvulkanische Gesteine (Ganggesteine)

Plutonite bilden sich bei der Kristallisation von Magma in der Tiefe der Erdkruste. Sie bilden geologische Körper, sogenannte plutonische Massen, mit unterschiedlicher Form und Größe. Es zeichnet sie ein gleichkörniges Gefüge, welches von mittel- bis grobkörnig reicht, aus. (Okrusch und Matthes 2014, S. 217)

Vulkanite entstehen im Zuge vulkanischer Ereignisse. Diese finden an der Erdoberfläche (subaerisch) oder am Meeresboden (submarin), selten auch unter

Gletschern statt. Vulkanite weisen häufig Fließgefüge auf. Sie können aber sehr unterschiedlich sein, z. B. kompakt, blasig, zellig, schwammig oder schaumig. Die Struktur ist meist feinkristallin. (Okrusch und Matthes 2014, S. 216)

Subvulkanische Gesteine sind oberflächennah und können als magmatische Gänge, Lagergänge oder Stöcke in die Erdkruste intrudieren. Typisch für sie ist, dass sie holokristallin und kompakt sind. Die Kristallisation bildet sich fein- bis mittelkörnig aus. (Okrusch und Matthes 2014, S. 216)

---

### 1.1.1 Klassifikation

---

Die Einteilung der magmatischen Gesteine basiert auf zwei Klassifikationssystemen. Man unterscheidet zwischen dem Farbindex M (Colour Index M) und dem Chemismus. Der Farbindex M kann bei glasiger Struktur oder bei zu feinem Korngefüge nicht verwendet werden. Ist dies der Fall, wird nach dem Chemismus eingeteilt.

Für die Bestimmung nach dem Farbindex M sind die fünf Mineralgruppen grundlegend, welche die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale der Magmatite enthalten. (Okrusch und Matthes 2014, S. 217)

- Felsische (helle) Minerale
  - **Q** Quarz (und andere SiO<sub>2</sub> Minerale)
  - **A** Alkalifeldspate
  - **P** Plagioklas
  - **F** Feldspatoide
- Mafische (dunkle) Minerale, Mafite:
  - **M** Glimmer, Amphibole, Pyroxene, Olivin u. a. opake Minerale (Magnetit, Ilmenit)

Die Mikroskopie bestimmt den prozentuellen Anteil der vorhandenen Minerale. Die Durchführung erfolgt mittels Punktezählverfahren, entweder über eine Hilfsapparatur, dem Pointcounter, oder durch quantitatives Abschätzen. Die Klassifikation wird über den Anteil der dunklen (mafischen) Minerale durchgeführt. (Okrusch und Matthes 2014, S. 217)

Seit 2004 wird ein abgeänderter Farbindex M' verwendet. Dieser ist als der Farbindex M minus Muskovit, Apatit und den primären Karbonaten definiert. Die abgezogenen Minerale gelten für den Farbindex als farblos. (LeMaitre 2005, S. 5 f)

<b>Farbindex Bezeichnungen</b>	<b>Bereich von M'</b>
hololeukokrate	0-10
leukokrate	10-35
mesokrate	35-65
melanokrate	35-90
holomelanokrate (ultramafische)	90-100

Tabelle 2: Farbindex Bezeichnungen (LeMaitre 2005, S. 5)

Der Chemismus der magmatischen Gesteine unterscheidet sich, weil sich die chemische Zusammensetzung der kontinentalen und ozeanischen Kruste unterscheidet. Dieser Unterschied ist im Frühstadium der Erde durch eine Dichtentrennung entstanden. Leichtere Elemente sammelten sich in der kontinentalen Kruste und führten zu einem immensen chemischen Unterschied. Die Krusten differieren im chemischen Aufbau vor allem durch die Anteile an Silizium, Aluminium und Eisen. Das klassifizierende Kriterium ist der Siliziumgehalt. Der chemische Charakter der Gesteine wird in vier Klassen unterteilt. Gesteine der kontinentalen Kruste gelten als sauer (SiO<sub>2</sub> reich), der ozeanischen Kruste als basisch oder ultrabasisch (SiO<sub>2</sub> arm) und vermischte Magmen entstanden durch Differenzierung als intermediär. (Sebastian 2012, S. 36)

<b>Charakter</b>	<b>sauer</b>	<b>intermediär</b>	<b>basisch</b>	<b>ultrabasisch</b>
Gew.-% SiO <sub>2</sub>	> 63 %	63 - 52 %	52 - 45%	< 45 %

Tabelle 3: Chemischer Charakter magmatischer Gesteine (Sebastian 2012, S. 36)

## 1.1.2 Klassifikation und Nomenklatur

Die Einteilung der magmatischen Gesteine erfolgt, dank Albert Streckeisen, seit dem Jahr 1976 mit straffer Systematik. Die letzte Überarbeitung führte Le Maitre im Jahr 2004 durch. Alle magmatischen Gesteine mit  $M'$  kleiner 90 können mit dem QAPF Doppeldreieck eingeteilt werden. Dieses Doppeldreieck gibt es für Plutonite und Vulkanite. (Okrusch und Matthes 2014, S. 217)

Die Klassifizierung ultramafischer Gesteine ( $M'$  größer 90) erfolgt anhand ihrer Mineralien. Sie bestehen hauptsächlich aus Olivin, Orthopyroxene, Klinopyroxene und Hornblende. Manchmal sind auch Biotit und verschiedene, aber kleine Mengen an Granat und Spinell enthalten. Die Klassifikation verwendet, die in Abbildung 2 dargestellten, Diagramme. Das erste beinhaltet Olivin, Orthopyroxene und Klinopyroxene und das zweite für Gesteine, welche Hornblende, Pyroxene und Olivin beinhalten. (LeMaitre 2005, S. 28)

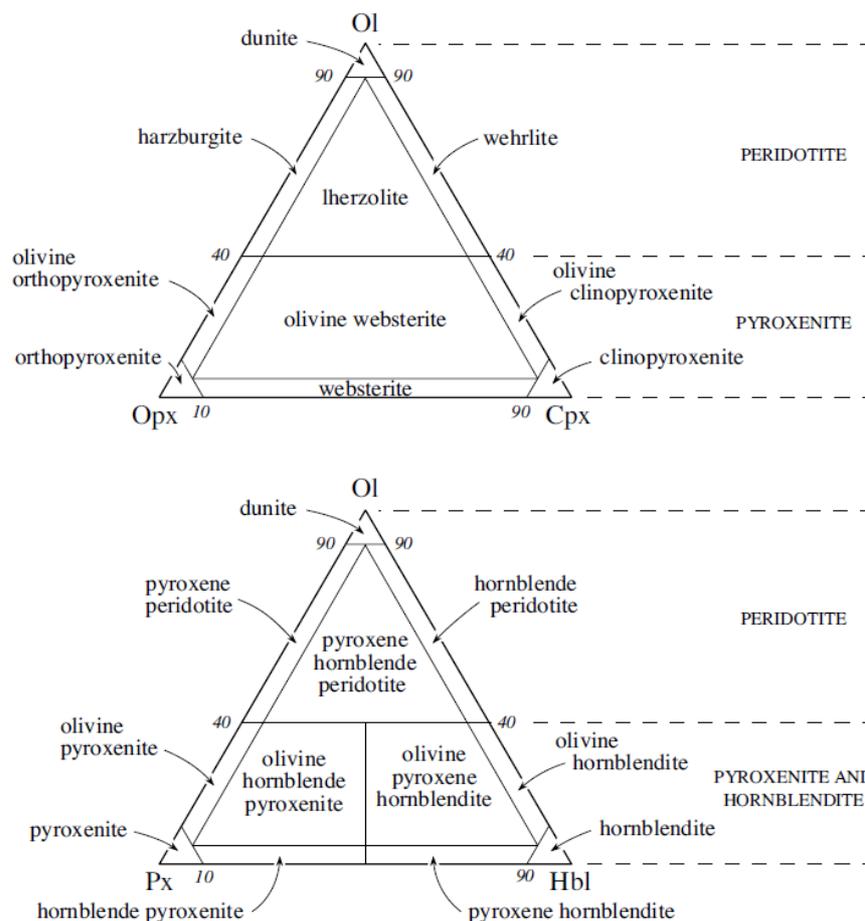


Abbildung 2: IUGS-Klassifikation von ultramafischen Gesteinen nach ihren Bestandteilen, Olivin (Ol), Orthopyroxene (Opx), Klinopyroxene (Cpx), Pyroxene (Px) und Hornblende (Hbl) (nach Streckeisen) (LeMaitre 2005, S. 28)

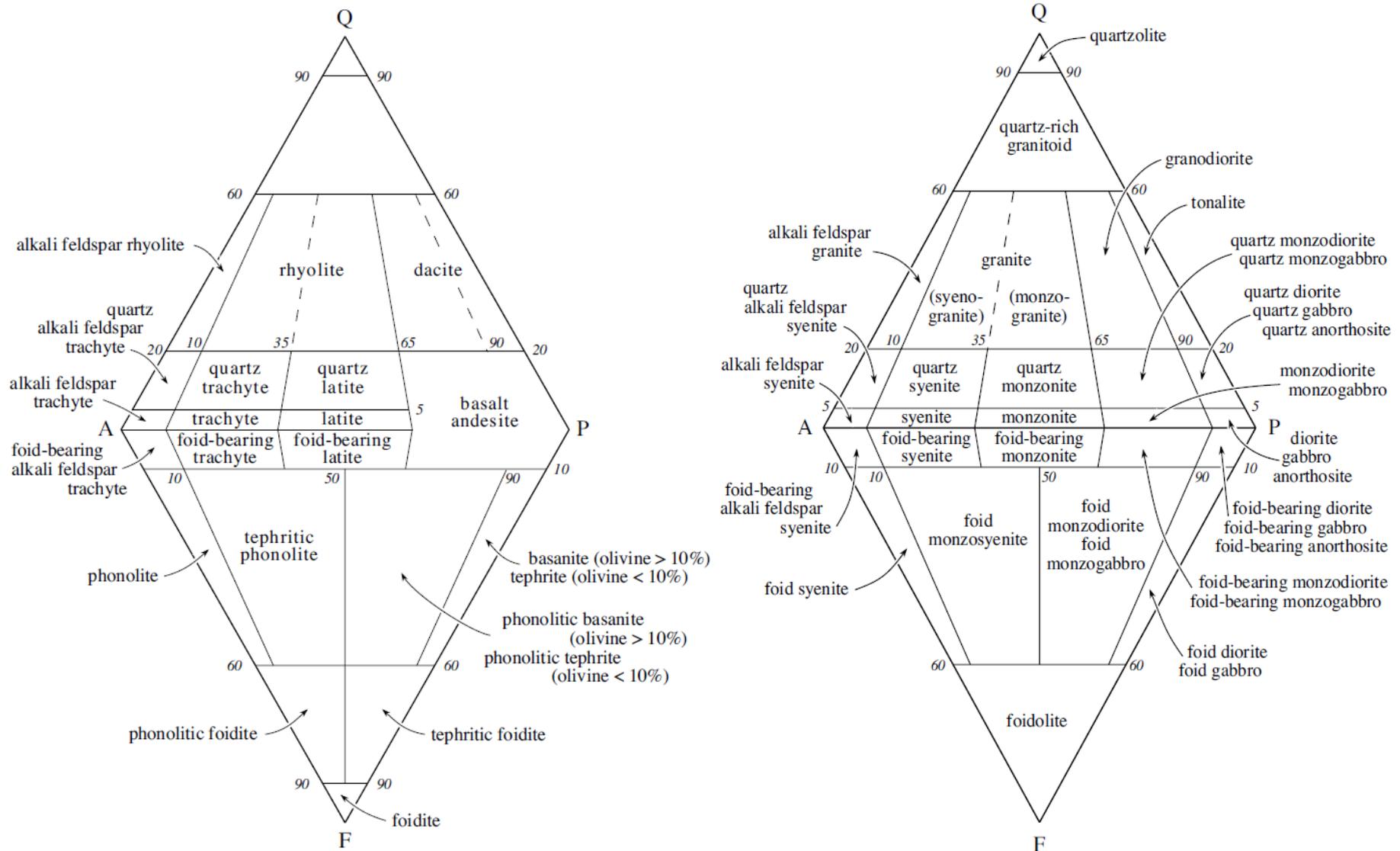


Abbildung 3: IUGS Klassifikation von Vulkaniten (links) und Plutoniten (rechts) mit QAPF Doppeldreieck nach dem modalem Mineralbestand (nach Streckeisen) (LeMaitre 2005, S. 22–31)

### 1.1.3 Entstehung ultramafischer Gesteine

Ultramafische Gesteine können durch magmatische Ereignisse oder durch Plattenkollisionen entstehen.

Bei der Aufschmelzung der ozeanischen Kruste kann es zur Bildung von vulkanischem oder plutonischem ultramafischem Gestein kommen.

Zu diesen magmatischen Ereignissen gehören auch die plutonischen „Layered Intrusions“. Charakteristisch für diese sind die Kumulatgefüge. Es kommt zu einer magmatischen „Sedimentation“, die schweren Mafite und Ultramafite sinken ab und bilden mafitreiche Lagen. (Okrusch und Matthes 2014, S. 263)

Bei Plattenkollisionen kann es zur Bildung von Ophiolith-Komplexen kommen. Dies sind Späne der ozeanischen Lithosphäre, welche durch den tektonischen Prozess hochgeschuppt wurden. Peridotite beziehungsweise Serpentinite sind ein wesentlicher Bestandteil der Ophiolith-Komplexe. (Okrusch und Matthes 2014, S. 519)

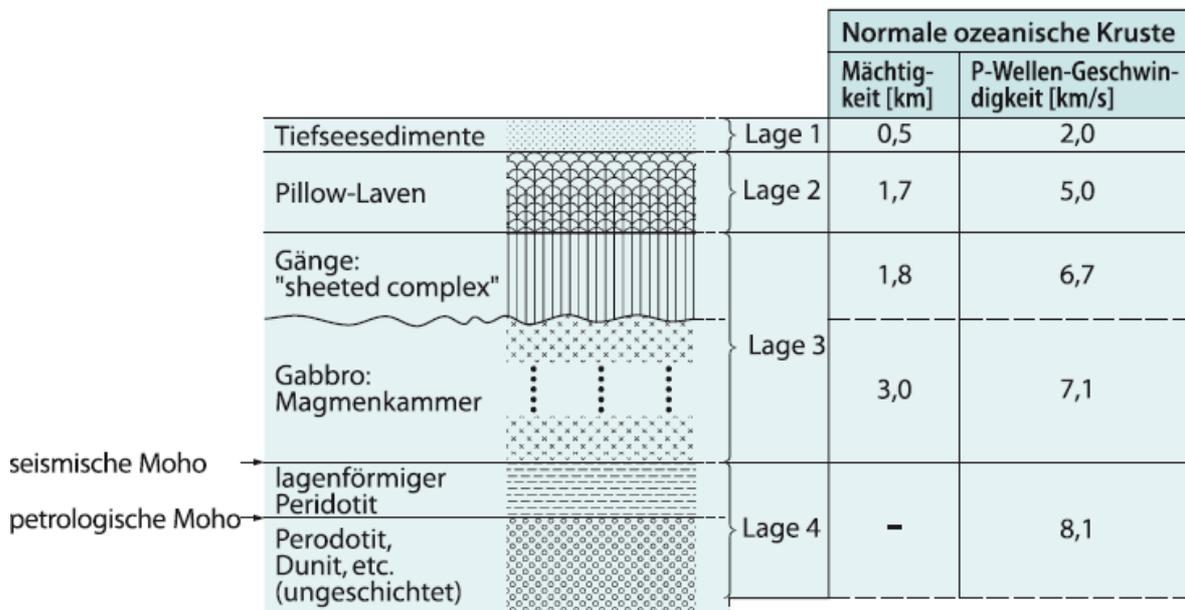


Abbildung 4: Schematisches Tiefenprofil durch die ozeanische Lithosphäre (Okrusch und Matthes 2014, S. 519)

---

#### 1.1.4 Metamorphe Ultramafite

---

Ultramafische Magmen sind sehr schwer und gasarm. Dies erschwert die Bildung von Ultramafiten an der Erdoberfläche. Viele dieser Gesteine verdanken geologischen Umständen, dass sie an die Erdoberfläche befördert wurden. Bei diesem Transport kommt es häufig zur Veränderung des ursprünglichen Mineralbestandes und es bilden sich Metamorphite. Typisch dafür ist der Serpentin. (Sebastian 2012, S. 47)

Er entsteht durch retrograde Metamorphose von Peridotit mit starker H<sub>2</sub>O-Aufnahme. Serpentin besteht überwiegend aus Lizardit, Antigorit oder Chrysotil, häufig enthält er auch Magnetit, Talk, Chlorit, Amphibol und Karbonate. Da der Serpentin durch retrograde Metamorphose entstanden ist, enthält er Mineralrelikte von Olivin, Orthopyroxen, Diopsid-reichem Klinopyroxen und Pyrop-reichem Granat. (Okrusch und Matthes 2014, S. 443)

---

## 1.2 Nutzungspotentiale von ultramafischen Gesteinen

---

In diesem Abschnitt werden die Nutzungspotentiale des Serpentinits aufgezeigt. Er wird häufig als Gesteinskörnung für den Bau von Straßen und Eisenbahnentrassen genutzt und kommt auch in der Werksteingewinnung zur Anwendung.

---

### 1.2.1 Konventionelle Anwendungen

---

Der Serpentin ist hart, zäh, griffig, abriebfest und kommt im Straßenbau, Betonbau, Wasserbau und bevorzugt im Eisenbahnbau zum Einsatz. Wegen seiner Griffigkeit und der Abriebfestigkeit benützt man ihn im Straßenbau als Zuschlagsstoff. Im Eisenbahnbau wird er als Gleisschotter verwendet.

Edelserpentin wird wegen seiner grünen Farbe auch für Kunstgegenstände oder als Schmuckstein genützt. Härte und Farbe sind auch der Grund für die Verwendung in der Werksteingewinnung.

---

### 1.2.2 Hydrometallurgische Verwertung

---

Die Hydrometallurgie ist eine Methode um Metalle aus deren Erzen zu erschließen. Diese Technik nützt die den wässrig chemischen Prozess zur Gewinnung der Metalle.

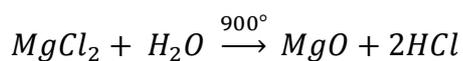
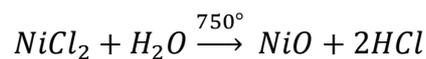
Bevor mit der Hydrometallurgie begonnen werden kann, muss das Gestein in Lösung gebracht werden. Die Auflösung des Gesteins erfolgt in Säure. Experimente an Serpentin bei Raumtemperatur zeigen, dass Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) beim Extrahieren von Magnesium am effizientesten ist, gefolgt von Salzsäure ( $\text{HCl}$ ), Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ), Ameisensäure ( $\text{HCOOH}$ ) und Essigsäure ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Wie viel des Magnesiums aus dem Serpentin in Lösung geht, hängt von der Zeit ab, der es der Säure ausgesetzt ist, wie hoch die Konzentration der Säure ist und bei welcher Temperatur der Versuch durchgeführt wird. Eine selektive Lösung ist mit

einer Ammoniumsalzlösung möglich, denn diese löst nur Magnesium. Die Lösungsgeschwindigkeit ist aber viel langsamer als bei den Säuren. (Teir et al. 2007, S. 44 f)

### 1.2.2.1 Ruthner-Luwa-Mitterberg-Verfahren (Ni, MgO)

Ultramafite werden in der Hydrometallurgie als arme Nickelerze angesehen. Eine nassmetallurgische Methode zur Gewinnung des Metalls ist das Ruthner-Luwa-Mitterberg-Verfahren (RLM). Es ist ein dreistufiges Verfahren (Haditsch 1979, S. 7):

1. Als erster Schritt wird das Erz durch Brecher und Mühle auf 44 µm Korngröße zerkleinert. Der Salzsäureaufschluss findet in Form von Säure bei 50 – 115 °C oder mit Gas bei 115 – 300 °C statt und hat einen pH-Wert zwischen 5 – 7.
2. Die nachfolgende Solventextraktion, welche ein Unterdruckprozess ist, um das Entweichen von Säure auszuschließen, ermöglicht es, die Säure zu 99 % wiederzugewinnen.
3. Die thermische Zersetzung der Metallchloride erfolgt mittels folgendem Prozess:



Das Sprühröstverfahren ermöglicht es HCl und H<sub>2</sub>O im Kreislauf zu fahren.

Bei einer Solventextraktion sind zwei Kennwerte von wirtschaftlicher Bedeutung: (Haditsch 1979, S. 7)

1. das Verhältnis von MgO zu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MnO<sub>2</sub>
2. Summe von CaO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O

Für das 1. Verhältnis hat österreichischer Ultramafitit eine Zusammensetzung von 3 zu 1. Dies bedeutet, dass ein Drittel des gewonnenen MgO für die Neutralisation des Verfahrens aufgewendet wird. (Haditsch 1979, S. 7 f)

Ist die Summe von Kalzium-, Kalium- und Natriumoxyd höher als ein Massenprozent, bedarf es zusätzlicher Verfahrensstufen. (Haditsch 1979, S. 8)

### 1.2.2.2 Magnifin-Verfahren (MgO, SiO<sub>2</sub>)

Das Magnifin-Verfahren dient der Herstellung von hochreinem Magnesiumoxid und Kieselsäure. Im Magnifin-Verfahren werden diese Schritte durchlaufen (Grill 2010, S. 42 f):

- Mahlung: Der Serpentin wird unter 1 mm zerkleinert, der Hauptanteil geht in die Salzsäurelaugung, der Teil kleiner 0,3 mm dient zur Fällung der Hydroxide des Eisens und Aluminiums.
- Laugung mit Salzsäure: Die Salzlaugung mit heißer Salzsäure (100 °C, 19 % HCl) erfolgt in einer Rührkesselkaskade. Die Salzsäure löst praktisch alle Bestandteile des Serpentin auf, besonders Magnesium, Eisen, Aluminium und Nickel. Nicht aufgelöst wird die Kieselsäure, sowie ein geringer Anteil an Begleitmineralien.
- Filtration: Die Filtration trennt die unlöslichen Bestandteile der Rohsole mit einem Vakuumbandfilter und reinigt sie mit Wasser.
- Fällung: Es fällt Fe, Al, Ni, Mn als Hydroxid aus. Dieser Prozess erfolgt in einer Rührkesselkaskade. Für die Abtrennung der festen Bestandteile ist eine Filterpresse im Einsatz. Die Fällung erfolgt in zwei Schritten. Als erstes wird Eisen und Aluminium mit Feinserpentin bei einem pH-Wert von 4 gefällt. Danach folgt Nickel und Mangan mit MgO bei einem pH-Wert von 7.
- Gewinnung von MgO: Die Reinsole wird dem Sprührösten zugeführt, darin zersetzt sich das Magnesiumchlorid in Magnesiumoxid und Chlorwasserstoff. Mit Wasser kondensiert der gasförmige Chlorwasserstoff wieder zu Salzsäure.
- Hydratation von MgO: Das Magnesiumoxid reagiert mit Wasser und nach anschließender Filtration entsteht höchstreines Magnesiumhydroxid. Der Filterkuchen wird ausgewaschen und sprühgetrocknet.
- Reaktor Wasserglas: In einem Rührwerksgefäß kontaktieren die unlöslichen Anteile von der Laugung des Rohserpentin mit Natronlauge. Der Prozess ermöglicht Wassergläser mit beliebigem SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O Verhältnis zu produzieren. Die getrocknete Lösung ist ein leicht wasserlösliches Pulver.

## Verfahrensschema MAGNIFIN - Verfahren

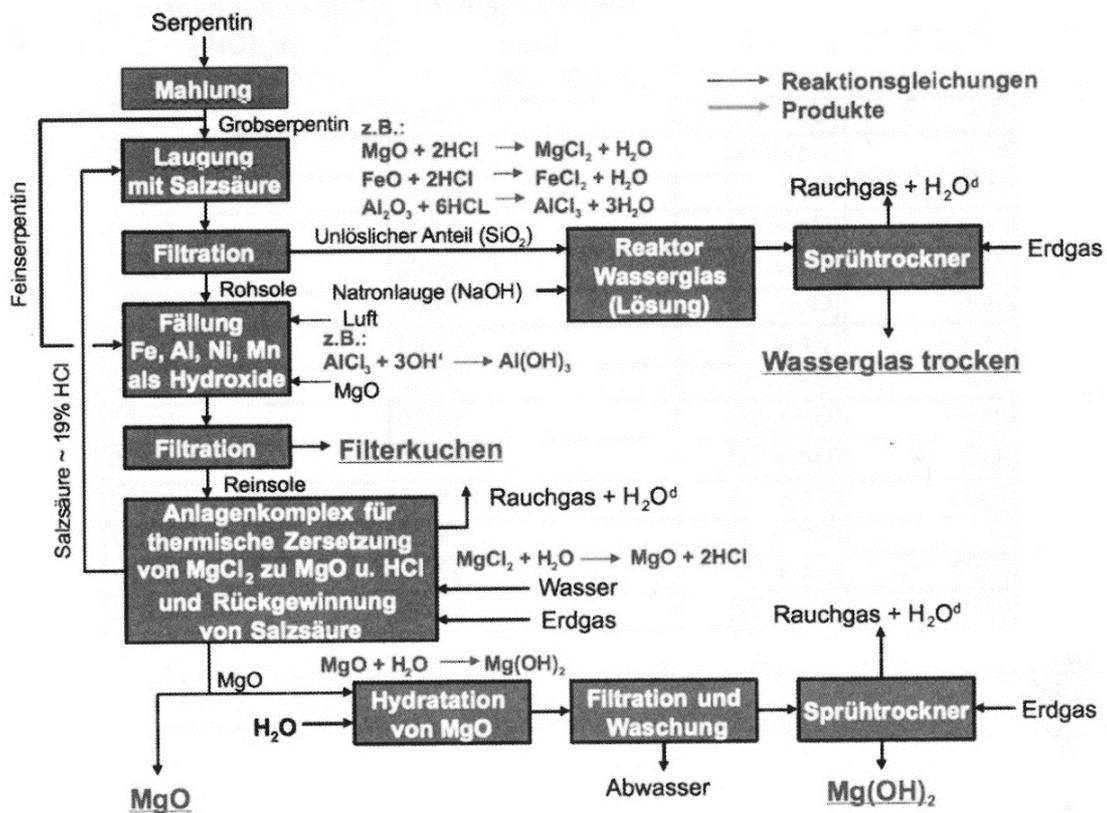


Abbildung 5: Verfahrensschema MAGNIFIN-Verfahren (Grill 2010, S. 42)

## Fließbild eines Sprühröstofens mit Rückgewinnung der Salzsäure

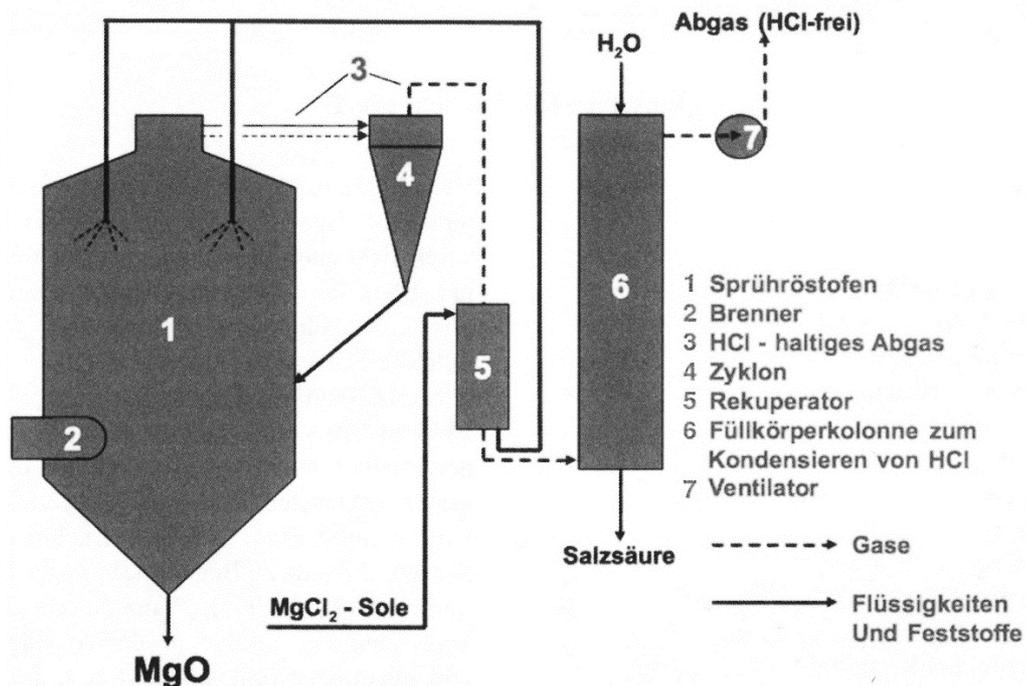


Abbildung 6: Fließbild eines Sprühröstenfens mit Rückgewinnung der Salzsäure (Grill 2010, S. 43)

### 1.2.3 Karbonatisierung

Die Karbonatisierung ultramafischer Gesteine ist möglich, weil in diesen Gesteinen Kalzium, Eisen oder Magnesium nicht in Karbonaten vorliegen. Der Karbonatisierung kann eine hydrometallurgische Verwertung folgen. Dies wäre von Vorteil, weil das ultramafische Gestein für den hydrometallurgischen Prozess in Säure aufgelöst wird und dadurch vor der Karbonatisierung noch wertvolle Rohstoffe aus dem Gestein gewonnen werden könnten. Tabelle 4 vergleicht unterschiedliche Gesteine und deren Karbonatisierungspotential, sowie deren Karbonatisierungsreaktivität.

Abbildung 7 zeigt die Grundidee eines Karbonatisierungsprozesses mit möglichen Absatzmärkten.

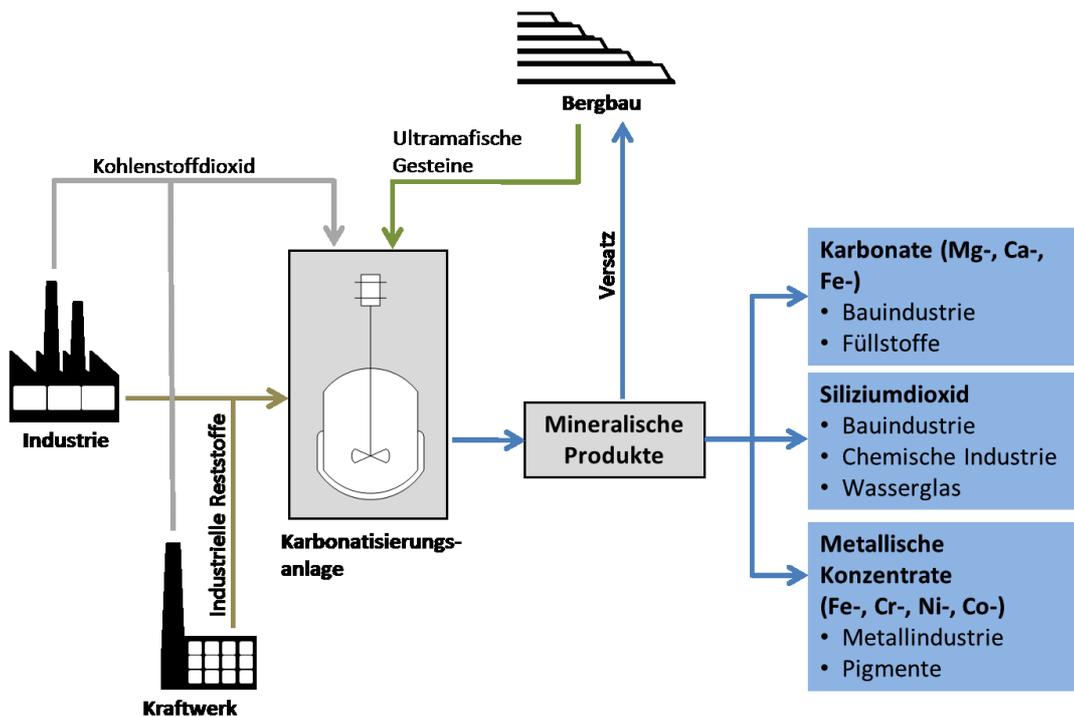
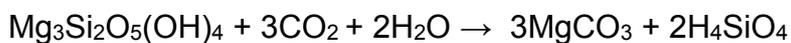
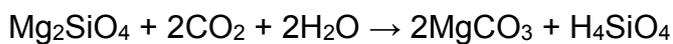
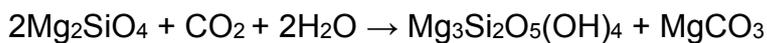


Abbildung 7: Grundprinzip der Karbonatisierung mineralischer Rohstoffe abgeändert von (Lehner et al. 2012, S. 66)

### 1.2.3.1 Karbonatisierungs Reaktion

Die Karbonatisierung erfolgt mit Hilfe eines wässrigen Prozesses. Dieser ermöglicht die Einlagerung von CO<sub>2</sub> in ultramafische Gesteine. Der chemische Prozess kommt zustande, indem gasförmiges CO<sub>2</sub> durch eine wässrige Lösung gespült wird. Beim Kontakt mit den Kationen (Ca, Fe<sup>2+</sup>, Mg) entstehen Karbonate wie Calcit (CaCO<sub>3</sub>), Siderit (FeCO<sub>3</sub>) und Magnesit (MgCO<sub>3</sub>). Die chemischen Formeln der Umwandlung lauten (O'Conner et al. 2005, S. 1):



### 1.2.3.2 Karbonatisierungspotential

Das Karbonatisierungspotential eines Gesteins oder Minerals ist definiert als die Anzahl der Mole, die die Voraussetzungen haben mit CO<sub>2</sub> zu reagieren um sich in Karbonate umzuwandeln. Für die Kalkulation der zu reagierenden Mole werden die Kationen Ca, Fe<sup>2+</sup> und Mg herangezogen, weil aus ihnen stabile Karbonate entstehen. Das Karbonatisierungspotential  $R_{\text{CO}_2}$  ist definiert als das Gewichtsverhältnis des Gesteins oder Minerals, welches benötigt wird, um eine bestimmte Masse CO<sub>2</sub> umzuwandeln. Ein niedriger  $R_{\text{CO}_2}$  bedeutet, dass die Umwandlung von CO<sub>2</sub> weniger Gestein oder Mineral benötigt. (O'Conner et al. 2005, S. 1)

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{100}{\sum(\text{Ca}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+})\text{MW}_{\text{CO}_2}}$$

$\sum(\text{Ca}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \dots$  Summe der molaren Konzentration der Kationen

$\text{MW}_{\text{CO}_2} \dots$  molares Gewicht von CO<sub>2</sub>

### 1.2.3.3 Karbonatisierungsreaktivität

Das Karbonatisierungspotential ist eine Gesteins- oder Mineraleigenschaft, welche ausschließlich von der chemischen Zusammensetzung abhängt. Die Karbonatisierungsreaktivität ist von vielen Faktoren abhängig (O'Conner et al. 2005, S. 1):

- Mineralaufbau
- Vorbehandlung
- Prozessdauer
- Temperatur
- Druck

### 1.2.3.4 Karbonatisierungsreaktionseffizienz

Die Reaktionseffizienz ist als die prozentuelle stöchiometrische Umsetzung der Kationen Ca, Fe<sup>2+</sup> und Mg definiert, welche im Gestein oder Mineral vorkommen und sich unter Einfluss von CO<sub>2</sub> zu Karbonaten umgewandelt haben. (O'Conner et al. 2005, S. 2)

$$R_x = \frac{X_{CO_2}}{\varepsilon_A(1 - X_{CO_2})}$$

*X<sub>CO<sub>2</sub></sub> ... CO<sub>2</sub> Konzentration im festen Zustand im Produkt in Gewichtsprozent*

*ε<sub>A</sub> ... Prozentueller Gewichtszuwachs bei 100% stöchiometrischer*

*Umsetzung der Kationen in Karbonate*

### 1.2.3.5 Vergleich unterschiedlicher Gesteine und Minerale nach dem Karbonatisierungspotential und der Karbonatisierungsreaktionseffizienz

Gestein Mineral Gruppe	Mineral	Formel	Ca [Gew. %]	Fe [Gew. %]	Mg [Gew. %]	CO <sub>2</sub> [Gew. %]	R <sub>CO2</sub> 1.2.3.2	ε <sub>A</sub> , 1.2.3.4 [%]	R <sub>x</sub> 1.2.3.4 [%]
Feldspat	Anorthit (An)	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	10,3	3,1	4,8	1,9	4,4	23	9
Serpentin	Antigorit (Ant)	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	<0,1	2,4	24,6	24,2	2,1	47	92
Pyroxen	Augit (Aug)	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> +(Fe,Al)	15,6	9,6	6,9	11,1	2,7	37	33
Basalt	An, Aug, Mt, Ol		6,7	6,7	4,3	2,9	4,9	37	15
Olivin (Ol)	Fayalit (Fa)	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	0,6	44,3	0,3	19,2	2,8	36	66
Olivin (Ol)	Forsterit (Fo)	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	0,1	6,1	27,9	29,7	1,8	56	81
Serpentin	Lizardit (Liz)	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	0,3	1,5	20,7	16,0	2,5	39	40
Oxid	Magnetit (Mt)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,6	21,9	0,3	1,5	5,5	18	08
Ultramafit	Talk	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2,20	9,2	15,7	5,2	2,8	36	15
Ultramafit	Wollastonit (Wo)	CaSiO <sub>3</sub>	31,6	0,5	0,3	22,9	2,8	36	82

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung, Karbonatisierungspotenzial und Karbonatisierungsreaktivität (O'Conner et al. 2005, S. 2)

Die Durchführung der Tests erfolgte mithilfe einer Korngrößenverteilung von 80 % kleiner 37 µm. Die Proben waren den Testbedingungen eine Stunde lang bei 185 °C ausgesetzt. Das CO<sub>2</sub> stand unter Druck und hatte 150 atm. Das Testsystem hatte 15 % feste Bestandteile und 0,64 Mol NaHCO<sub>3</sub> sowie 1 Mol NaCl. (O'Conner et al. 2005, S. 2)

---

## 1.2.4 Einsatzmöglichkeiten der enthaltenen Stoffe

---

Die ultramafischen Gesteine enthalten MgO, SiO<sub>2</sub>, Fe, Ni und Cr. Die Einsatzmöglichkeiten dieser Produkte sind sehr vielfältig. Einen Überblick gibt Tabelle 5.

	<b>Name</b>	<b>Einsatzmöglichkeit</b>
MgO	Magnesiumoxid	Feuerfestprodukte wegen Schmelzpunkt von 2800° Lebensmittelzusatz und findet Verwendung in der Dünge- und Futtermittelindustrie
SiO <sub>2</sub>	Siliziumdioxid	Glaserzeugung Füllstoff in Kunststoffen, Farben und Lacken in der Halbleiterindustrie als Isolationsmaterial Wasserglas in der Bauindustrie z.B. zur Behandlung von mürben sandenden Oberflächen oder zur Verfestigung von Sandsteinen und freiliegendem Mauerwerk
Fe	Eisen	Hauptbestandteil von Stahl. Dieser wird in allen Bereichen der Technik und Bauindustrie verwendet. Legierungen mit Chrom, Nickel oder Molybdän haben hervorragende Festigkeit und Zähigkeit
Ni	Nickel	Zur Veredelung von Stahl mittels einer Legierung macht es diesen korrosionsbeständig und verbessert Härte, Zähigkeit und Duktilität. Als Hauptlegierungsbestandteil mit Chrom, Molybdän und Kobalt weist es eine hohe Temperaturbeständigkeit auf.
Cr	Chrom	Dient als Legierungsmetall von Stahl und macht diesen korrosions- und hitzebeständig. Durch galvanisches Aufbringen von Chrom ergibt sich eine Verschleißschicht.

Tabelle 5: Einsatzmöglichkeiten der enthaltenen Stoffe von ultramafischen Gesteinen

---

## 2 Ressourcenverfügbarkeit ultramafischer Gesteine in Österreich

---

Diese Kapitel gibt einen Überblick der ultramafischen Vorkommen in den unterschiedlichen geologischen Zonen Österreichs.

---

### 2.1 Böhmisches Masse

---

Die Entstehung der ultramafischen Gesteine „*scheinen demnach die mehr oder weniger metamorphen Produkte innerhalb der Intrusivkörper eines magmatogenen Zyklus der Böhmisches Masse zu sein. Der zonare Aufbau entlang der Gföhler Gneisserie läßt vermuten, dass die Mafite innerhalb eines Intrusionszyklus mit den jetzt als Orthogneis und Granolit vorliegenden sauren Komponenten entstanden sind.*“ (Punzengruber und Polegeg 1982, S. 7)

Die wichtigsten Vorkommen der Böhmisches Masse:

- Dobersberg-Waldkirchen
- Umgebung von Raabs
- Drosendorf-Pingendorf
- Blumau-Ludweis
- Wanzenau-Steinegg-Wegscheid
- Zöbing-Schilter
- Rastbach-Wurschenaigen
- Kl. Heinrichschlag-Umgebung
- Weiten-Umgebung
- Ispertal
- Aggsbach im Dunkelsteinerwald

## 2.2 Zentralalpines Kristallin (Speik-Komplex)

Der Glimmerschiefer-Marmor-Komplex, welcher im Silur-Devon sedimentierte, überlagert den Speik-Komplex. Die Überschiebung der Ophiolith-Decke wird als variszisch gedeutet. Ein weiteres Anzeichen für eine variszische Überschiebungstektonik ist der unterkarbone Protolithalter, der Augengneis. Seine Deformierung erfolgte während der Überschiebung. Da es in vielen Bereichen der Alpen jungpräkambrische bis frühpaläozoische Ophiolithe gibt, wird das Bildungsalter als präkambrisch bis paläozoisch angenommen. Der Zeitraum der Entstehung der amphibolitfaziellen Metamorphose wird als präalpidisch interpretiert. (Puhl 2000, S. 35)

Das Zentralalpine Kristallin enthält neben Ultramafiten (Peridotit, Dunit, Pyroxenit und Serpentin) auch Metabasalte (Granatamphibolite, Bänderamphibolite), Metagabbros (Granat-Zoisit, Plagioklas und Amphibolite), dünne Augengneislinsen und selten Metasedimente. Gesteine dieser Serie befinden sich in (Thalhammer et al. 2010, S. 140):

- Kraubath (Serpentinite, Pyroxenite, Peridotite)
- Pernegg-Traföß (Serpentin, gebänderte Ultramafite, gabbroide Amphibolite)
- Lärchkogel
- Hochgrössen

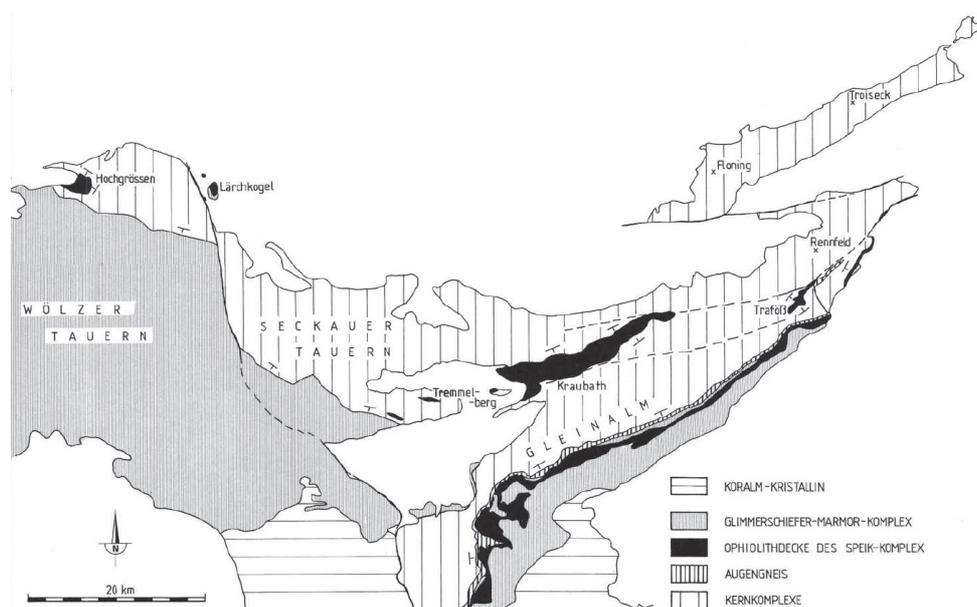


Abbildung 8: Der Speik-Komplex als ophiolithische Decke innerhalb des Muralpenkristallins (Neubauer 1988, S. 54)

---

## 2.3 Penninikum Tauernfenster

---

Die präpermischen Grundgebirgsserien (untere Schieferhülle) wurden in mehreren Schüben von herzynischen, kalkalinen I- und S-Typ Granitoiden (Zentralgneis) intrudiert. *„Beide Einheiten repräsentieren den voralpidischen Sockel (i.w. Venediger Decke) mit geringmächtigem autochthonem Mesozoikum, die von permomesozoischen Sedimenten und Mafiten/Ultramafiten des Penninischen Trogs überlagert werden (i.w. Glocknerdecke). Die penninischen Serien des Tauernfensters wurden vom ostalpinen Deckensystem, inklusive des unterostalpinen Reckner-Massives (Ophiolith) und der Hippold Decke, sowie den oberostalpinen (kalkalpine) Decken überschoben.“* (Puhl 2000, S. 26)

Im Tauernfenster sind folgende wichtige ultramafische Lagerstätten vorzufinden:

- Ochsner
- Stubachtal
- Felbertal
- Schwarze Wand
- Hackbrettlers
- Mailfrosnitz (Dorfertal)
- Matreier Zone
  - Wurmtal
  - Poinlandtal
  - Blauspitze
  - Ködnitztal
  - Gösleswand
- Reckner

---

## 2.4 Penninikum Rechnitzer Fenster

---

Der Rechnitzer Schiefer gilt als Äquivalent des Penninikums der Hohen Tauern. Es setzt sich aus Phylliten, Graphitphylliten, Quarziten, Kalkphylliten, Marmoren, Rauwacken, Konglomeraten und einer Ophiolithsequenz zusammen. Diese besteht aus Serpentiniten, Metagabbros, Albit-Riebeckitgestein, Grünschiefer, Chloritschiefer, Ophikarbonatgesteinen und Radiolariten. Die wichtigsten ultramafischen Vorkommen sind (Fleischanderl 2006, S. 36):

- Bernstein
- Rumpersdorf
- Badersdorf
- Steinbach

---

## 2.5 Andere Vorkommen

---

---

### 2.5.1 Unterostalpine Zone

---

Die Unterostalpine Zone besteht aus der mesozoischen Einheit, den Tarntaler Bergen. Diese werden in drei übereinanderliegende Einheiten untergliedert, der Quarzphyllitdecke, der Hippold-Decke und der Reckner-Decke. Die ultramafische Einheit ist der **Reckner-Komplex**. (Puhl 2000, S. 58)

---

### 2.5.2 Silvretta-Kristallin

---

Variszische, zum Teil vorvariszische metamorphe Serien, bilden das Silvretta-Kristallin. Es besteht aus Paragneisen, Orthogneisen und Amphiboliten. Das Ultramafitvorkommen des Silvretta-Kristallins ist der **Hochnörderer** (Puhl 2000, S. 45)

---

### **2.5.3 Unterengadiner Fenster**

---

Das Unterengadiner Fenster gehört zum Penninikum und ist im Norden vom Silvretta-Kristallin, im Osten und Südosten vom Ötztal-Kristallin und im Süden von der Scarl-Einheit umgeben. Hauptbestandteile sind Serpentinite, daneben treten noch Ophikarbonate, Serpentinitlekzieren und Gabbroide sowie eine vulkanische Sequenz mit Pillows und Sills auf. Die hervorzuhebenden ultramafischen Lagerstätten sind (Puhl 2000, S. 55):

- Idalp
- Nauders

---

### **2.5.4 Koralpe-Wölz Deckensystem**

---

Kleine ultramafische Vorkommen wurden im Koralpe-Wölz Deckensystem gefunden:

- Gulitzen bei Hirt
- Saualpe
- Stegsdorf

## 2.6 Überblick der Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich

Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich							
	Komplex	ÖK-Position <sup>1</sup>			Seehöhe [m]	Geologische Position <sup>2</sup>	Größe [km]
		UTM 33N	R (östlich)	H (nördlich)			
	Burgenland						
BD	Bernstein Deposit					PEN/Rechnitz Fenster	5 x 2 <sup>2</sup>
	Bernstein	137	595422	5252831	711 <sup>1</sup>		
	Redlschlag	137	599169	5254656	431 <sup>1</sup>		
RD	Rumpersdorf	137/138	600741	5243788	449 <sup>1</sup>	Rechnitzer Einheit <sup>7</sup>	4 x 0.8
BF	Badersdorf	168	604902	5227637	264 <sup>1</sup>	Südburgenländisches Hügelland <sup>7</sup>	3.5 x 1 + 1.7 x 0.8
SB	Steinbach <sup>8</sup>	137	598500	5258380	448 <sup>1</sup>	Sieggraben Einheit <sup>8</sup>	0.7 x 0.5 <sup>8</sup>
	Kärnten						
GH	Gulitzen bei Hirt	186	457251	5197360	648 <sup>1</sup>		0.2 x 0.06
SA	Saualpe	187	467146	5194994	940 <sup>1</sup>	Plankogel Serie <sup>10</sup>	0.15 x 0.1 <sup>10</sup>
SD	Stegsdorf	186	452719	5201256	745 <sup>1</sup>	Friesacher Komplex <sup>11</sup>	0.22 x 0.13 + 0.27 x 0.1 + 0.3 x 0.15 + 0.15 x 0.1
	Niederösterreich						
DW	Dobersberg-Waldkirchen	7	524827	5420799	508 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	3 x 1
RU	Raabs Umgebung	7	535793	5413037	505 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	nur Amphibolite <sup>4</sup> 1 x 0.75
DP	Drosendorf-Pingendorf (Pingendorf)	8	546035	5407435	463 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	0.5 x 0.2 Pingendorf
BL	Blumau-Ludweis					Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	
	Sulzmühle	7	534997	5402845	503 <sup>1</sup>		0.3 x 0.15
	Blumau	7	533064	5400260	545 <sup>1</sup>		0.45 x 0.2
WSW	Wanzenau-Steinegg- Wegscheid	20/21	541668	5386058	329 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	6 x 0.3
ZS	Zöbing-Schillern	21/38	549492	5375856	368 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	0.5 x 0.3
RW	Rastbach-Wurschenaigen	20	531671	5374500	600 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	4.5 x 0.2
HU	Klein Heinrichschlag Umgebung	36/37	523761	5361435	701 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	1 x 0.5
DÖ	Weiten Umgebung (Dölla)	36	517539	5345848	407 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	0.3 x 0.1
IT	Ispertal	53	501769	5340745	378 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzzone <sup>4</sup>	1 x 0.1 + 1.2 x 0.1
AD	Aggsbach im Dunkelsteinerwald	37	533716	5348941	446 <sup>1</sup>		1.75 x 0.5 + 1.25 x 0.4
	Salzburg						
HB	Hackbrettl	153	322972	5229095	2708 <sup>3</sup>	PEN/Tauern Fenster	0.25 x 0.1 <sup>2</sup>
ST	Stubachtal	153	320147	5226805	1477 <sup>1</sup>	PEN/Stubach Gruppe	3.5 x 0.8 <sup>2</sup>
SW	Schwarze Wand	152	301073	5231422	2000-2200 <sup>3</sup>	PEN/Stubach Gruppe	0.6 x 0.2 <sup>2</sup>
FT	Felbertal	152	307979	5229939	1691 <sup>1</sup>	PEN/Stubach Gruppe	0.2 x 0.2 <sup>2</sup>
	Steiermark						
KB	Kraubath	132				MOA/Speik Komplex	13 x 2 <sup>2</sup>
	Gulsen		494685	5236633	683 <sup>1</sup>		
	Preg		495334	5236413	602 <sup>1</sup>		
	Lobming		500900	5238299	717 <sup>1</sup>		
PE	Pernegg (Traföß)	134	526060	5243444	760-920 <sup>3</sup>	MOA/Speik Komplex	4.5 x 1 <sup>2</sup>

HG	Hochgrößen	129	443617	5256334	1200-2122 <sup>3</sup>	MOA/Speik Komplex	3.0 x 1.7 <sup>2</sup>
LK	Lärchkogel bei Trieben	130	459081	5256592	1666 <sup>12</sup>	Östliche Grenze des zentralalpinen Kristallins <sup>12</sup>	2 x 0.8 <sup>12</sup>
Tirol							
O	Ochsner	149	258093	5214978	3107 <sup>3</sup>	PEN/Greiner Serie	1.7 x 0.7 <sup>2</sup>
HN	Höchnöderer	170	132219	5210406	2750 <sup>3</sup>	SUAA/Silvretta	0.55 x 0.15 <sup>2</sup>
Matrei Zone							
BS	Blauspitze	153	318186	5210041	2577 <sup>3</sup>	Matrei Zone	1.5 x 0.4 <sup>2</sup>
KT	Ködnitztal	153	324422	5211302	2835 <sup>1</sup>	Matrei Zone	0.7 x 0.3 <sup>2</sup>
GW	Gösleswand	177	294312	5206426	2912 <sup>3</sup>	Matrei Zone	2.0 x 0.25 <sup>2</sup>
Wurmtal (Italien)							
Poinlandtal (Italien)							
R	Reckner	149	244073	5226721	2765 <sup>1</sup>	LOA/Reckner Komplex	1.5 x 1.3 <sup>2</sup>
I	Idalpe	171	143873	5213823	2500 <sup>3</sup>	PEN/Engadiner Fenster	< 0.1 <sup>2</sup>
N	Nauders	171	157585	5202929	2824-2886 <sup>3</sup>	PEN/Engadiner Fenster	4 x 0.7 <sup>2</sup>
MF	Mailfrosnitz (Dorfertal)	151/152	297378	5212899	1742 <sup>1</sup>	PEN/Tauern Window	0.6 x 0.1

Tabelle 6: Ultramafische Vorkommen in Österreich (erweitert nach Melcher et al. 2002, S. 72)  
PEN ... Penninic; MOA ... Middle Austroalpine; LOA ... Lower Austroalpine; SUAA ... South Upper Austroalpine;

Die fünf ultramafischen Vorkommen mit der größten Oberflächenausdehnung sind:

- Kraubath 26 km<sup>2</sup>
- Bernstein 10 km<sup>2</sup>
- Hochgrößen 5,1 km<sup>2</sup>
- Badersdorf 4,86 km<sup>2</sup>
- Pernegg 4,5 km<sup>2</sup>

Vorkommen haben allgemein eine dreidimensionale Form. Es wird hier aber mit der Ausdehnung an der Oberfläche gearbeitet, weil die Daten aus geologischen Karten entnommen sind und diese keine Angaben über die Mächtigkeit der Vorkommen in die Tiefe geben. Aus diesem Grund geschieht die Anordnung nach der Oberflächenausdehnung.

<sup>1</sup> (geoland.at 2014)

<sup>2</sup> (Melcher et al. 2002, S. 72)

<sup>3</sup> (Puhl 2000)

<sup>4</sup> (Punzengruber und Polegeg 1982)

<sup>5</sup> (Schall 1988)

<sup>6</sup> (Geologische Bundesanstalt 2014)

<sup>7</sup> (Fleischanderl 2006)

<sup>8</sup> (Meisel et al. 1997)

<sup>9</sup> (Meixner 1953)

<sup>10</sup> (Riesco et al. 2004)

<sup>11</sup> (Göttinger und Pertlik 1982)

<sup>12</sup> (Kürzl 1982)

<sup>13</sup> (BMWFJ 2014)

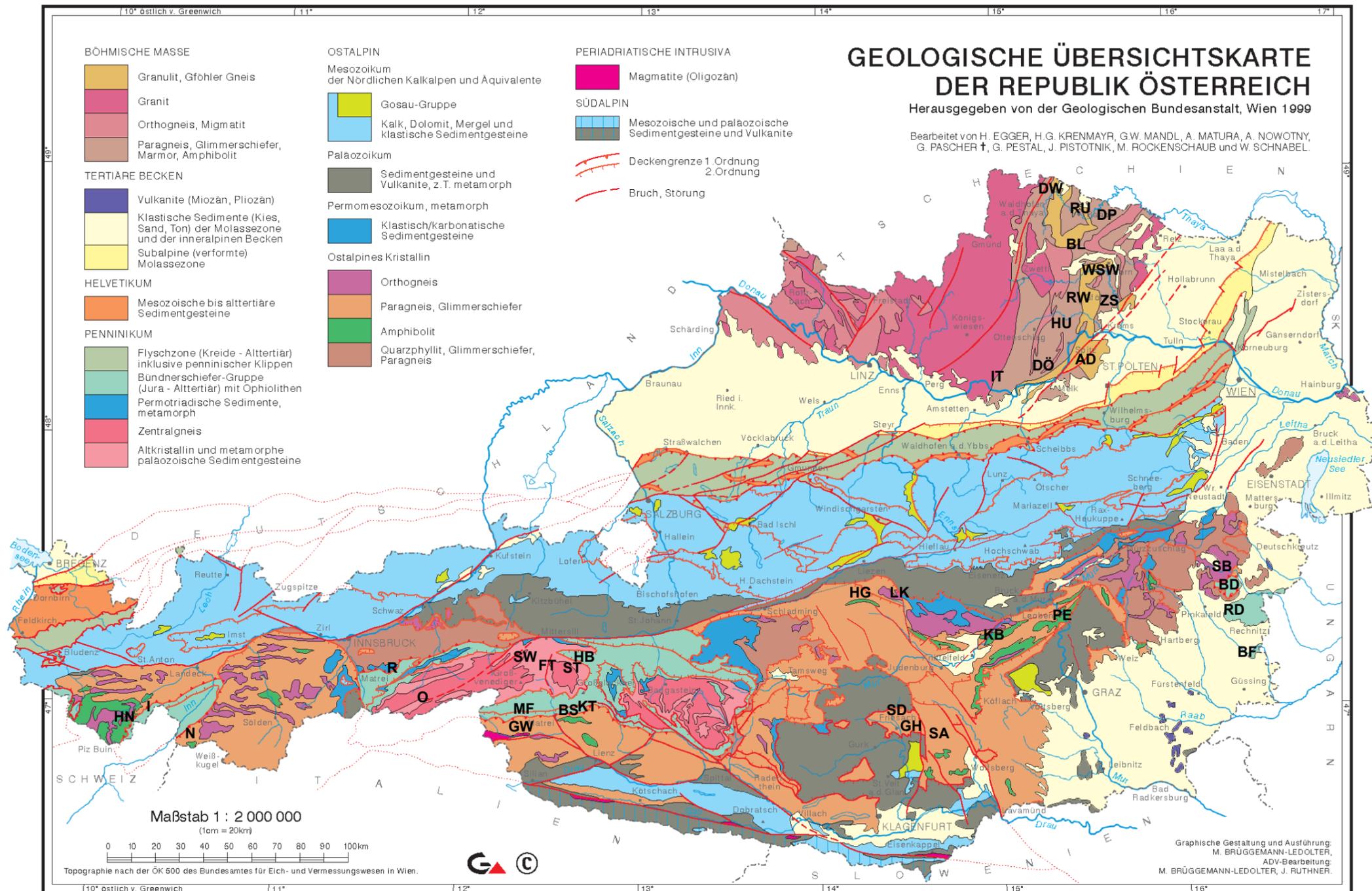


Abbildung 9: Ultramafische Vorkommen in Österreich (Egger et al. 1999)

---

## 3 Bergtechnische Charakterisierung

---

Das Kapitel bergtechnischer Charakterisierung soll einen grundlegenden Einblick in die wirtschaftliche Bewertung von Vorkommen geben. Im Mittelpunkt steht das Abschätzen der Bauwürdigkeit von Vorkommen. Folgende Begriffe müssen daher klar definiert werden:

- Mineralischer Rohstoff
- Vorkommen
- Lagerstätte
- Abbauwürdigkeit

---

### 3.1 Mineralischer Rohstoff

---

Mineralische Rohstoffe liegen in der Natur in situ als Minerale, Mineralgemenge oder als Gase vor. Sie kommen auch in alten Bergbauhalden sowie in Urprodukten und Produkten der Abfallwirtschaft vor. Um bergbauliche Rohstoffe handelt es sich, wenn diese von einem Bergbau im weiteren Sinne bereitgestellt werden. Dabei geht es stets um Minerale oder Mineralgemenge. Diese Definition ist aber weit gefasst und beinhaltet auch biogene Bestandteile der unbelebten Natur (Torf, Kohle und Kohlenwasserstoffe). (Fettweis 1990, S. 3)

Ein mineralischer Rohstoff besteht aus einem oder mehreren Wertstoffen. Diese besitzen ein gesellschaftliches Interesse. Sie liegen in situ meist nicht in der Gestalt oder Reinheit vor, in welcher sie von wirtschaftlichem Belang sind. Ist dieser Mindestgehalt an Wertstoff gegeben, handelt es sich um einen mineralischen Rohstoff. (Fettweis 1990, S. 5)

Der Wertstoffgehalt oder die Haltigkeit eines Rohstoffes wird in Prozent oder gegebenenfalls in ppm (parts per million) angegeben. (Slaby und Wilke 2005, S. 48)

$$g = \frac{W}{R} * 100$$

*g* ... *Gehalt*

*W* ... *Menge des Wertstoffes in Masseinheiten*

*R* ... *Menge des Rohstoffes in Masseinheiten*

---

## 3.2 Vorkommen

---

Um von einem Vorkommen sprechen zu können, bedarf es einer räumlichen Konzentration an mineralischem Rohstoff. Vorkommen stellen geologische Körper in der Erdkruste und an der Oberfläche dar. Sie können hinsichtlich ihrer Form, ihres Wertstoffgehalts, ihrer Ablagerungsbedingungen, ihrer Größe und ihrer Art der Begrenzung unterschieden werden. (Fettweis 1990, S. 12 f)

Vorkommen entstehen durch geologische Prozesse und sind maßgeblich durch die drei gesteinsbildenden Vorgänge bestimmt (Fettweis 1990, S. 13):

- magmatische Abfolge
- sedimentäre Abfolge
- metamorphe Abfolge

Außerdem werden zwei Arten der Begrenzung unterschieden. Die Unterteilung erfolgt in Kompaktvorkommen und Diffusvorkommen. Dies kann großen Einfluss auf die Wahl des Abbauverfahrens haben. Ausschlaggebend ist das für die Kompaktvorkommen, da eine Verdünnung mit dem Nebengestein den Erlös bestimmter Rohstoffe stark reduziert. Dies ist bei Industriemineralien, welche durch Verdünnung nicht die gewünschte Farbgebung erhalten, der Fall. Die Definition der Vorkommenstypen lautet nach Fettweis 1990:

- Kompaktvorkommen besitzen einen konstanten Gehalt und geologisch strukturelle Grenzen zum Nebengestein. Die Trennung von Vorkommen zu Nebengestein geschieht rasch. Es handelt sich z.B. um Kohleflöze.
- In Diffusvorkommen ist der Wertstoffgehalt unregelmäßig verteilt. Es gibt keine geologisch strukturellen Grenzen, der Gehalt nimmt kontinuierlich zum Taubgestein ab. Die Grenzen des Vorkommens werden mit Hilfe eines unteren Wertstoffgehalts definiert. Porphyrische Kupfervorkommen sind ein Beispiel dafür.

---

## 3.3 Lagerstätten

---

Lagerstätten sind Vorkommen, in welchen mineralische Rohstoffe, in der Natur oder in Bergbauhalden, auftreten und diese wegen ihrer Lage, Größe und Beschaffenheit (Bonität (3.4.3), Quantität (3.4.5) und Qualität (3.4.4)) gegenwärtig oder in absehbarer Zeit eine wirtschaftliche Nutzung möglich machen. (Fettweis 1990, S. 18)

Die beinhaltende Wertstoffsubstanz ist von gesellschaftlichem Interesse und hat entsprechendes Potential für Produktion und Versorgung. Lagerstätten sind eine Teilmenge aller bekannten Vorkommen. (Slaby und Wilke 2005, S. 213)

Der Lagerstättenvorrat ist der mineralische Rohstoffinhalt eines Vorkommens. Aussagen über die Größe des Vorrats erfolgen mit einer Maßzahl und einer Mengeneinheit. Die Kombination mit Angaben zur Qualität und zu Lagerungsbedingungen ist sinnvoll. Lagerstättenvorräte können von anderen Mineralrohstoffvorkommen mithilfe der Bauwürdigkeit abgegrenzt werden. (Slaby und Wilke 2005, S. 213)

---

### 3.3.1 Bauwürdigkeit

---

Der Begriff der Bauwürdigkeit gibt an, ob ein Vorkommen wirtschaftlich nutzbar ist. Man unterscheidet zwischen:

- abbauwürdig
- bedingt abbauwürdig
- unbauwürdig

Diese Einteilung gilt immer für den Zeitpunkt der Betrachtung und kann sich über die Zeit verändern. (Fettweis 1990, S. 18 f) Eine Verschiebung der Grenzen der Bauwürdigkeit kann von der Wissenschaft, der Technik oder der Wirtschaft ausgehen. Sie hat zur Folge, dass sich bedingt abbauwürdige Vorkommen zu abbauwürdigen Vorkommen entwickeln. (Slaby und Wilke 2005, S. 215)

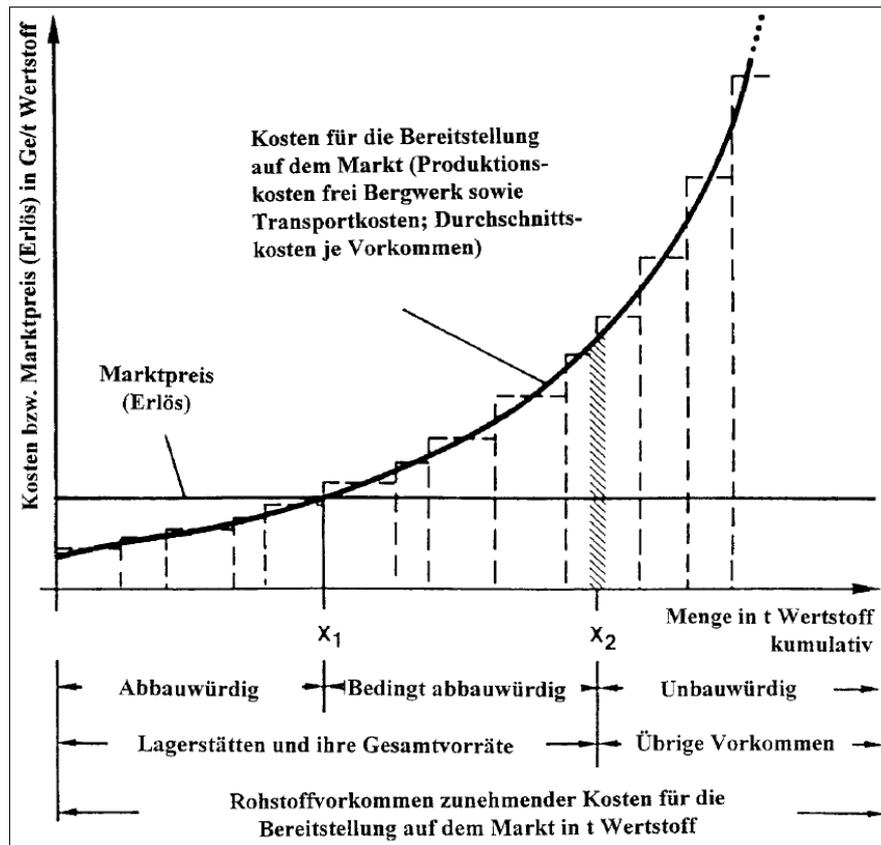


Abbildung 10: Schema zur Darstellung der abbauwürdigen und der bedingt abbauwürdigen Lagerstätten und Lagerstättenvorräte von Steinkohle als Teilmenge von Steinkohlenvorkommen (Fettweis 1990, S. 18)

Abbauwürdig sind Lagerstätten oder Teile von Lagerstätten, wenn sie zu dem Bewertungszeitpunkt vom Bergbaubetrieb mit wirtschaftlichem Erfolg gewinnbar sind. (Fettweis 1990, S. 18)

Um eine bedingt abbauwürdige Lagerstätte handelt es sich, wenn diese sich durch ihre Lage, Größe und Beschaffenheit in absehbarer Zukunft als abbauwürdig erweist. (Fettweis 1990, S. 18)

Unbauwürdige Lagerstätten können weder heute noch in absehbarer Zukunft gewinnbringend abgebaut werden. (Fettweis 1990, S. 18)

Die betriebswirtschaftliche Analyse stellt die Erlöse der Bergbauendprodukte den Kosten für deren Produktion gegenüber. Sind die Kosten kleiner als der Erlös, ist die Lagerstätte abbauwürdig. (Fettweis 1990, S. 18)

### 3.3.2 Beurteilungsprozess für die Bauwürdigkeit

Die Einteilung von Rohstoffvorkommen unter dem Begriff Lagerstätte ist mit der Bauwürdigkeit verknüpft. „Voraussetzungen für eine diesbezügliche Aussage sind Kenntnisse über das Vorhandensein und die geologische Beschaffenheit eines Vorkommens und über die Bestimmung der Bauwürdigkeit hinausgehend Kenntnis über Umstände, die ggf. die Verfügbarkeit eines Vorkommens für eine bergbauliche Nutzung einschränken. Der hierauf aufbauende Beurteilungsprozeß umfasst damit vor allem drei charakteristische Aufgaben und zugleich Arbeitsetappen.“ (Slaby und Wilke 2005, S. 241)

Man unterscheidet zwei Arten der Beurteilung von Vorkommen:

- (1) geologisch-ökonomische Beurteilung des Vorkommens
- (2) technische und bergwirtschaftliche Beurteilung des Vorkommens

Nach diesen Schritten steht die Bauwürdigkeit fest. Handelt es sich um eine Lagerstätte wird der nächste Schritt eingeleitet.

- (3) Verfügbarkeitsuntersuchung und Genehmigungsverfahren

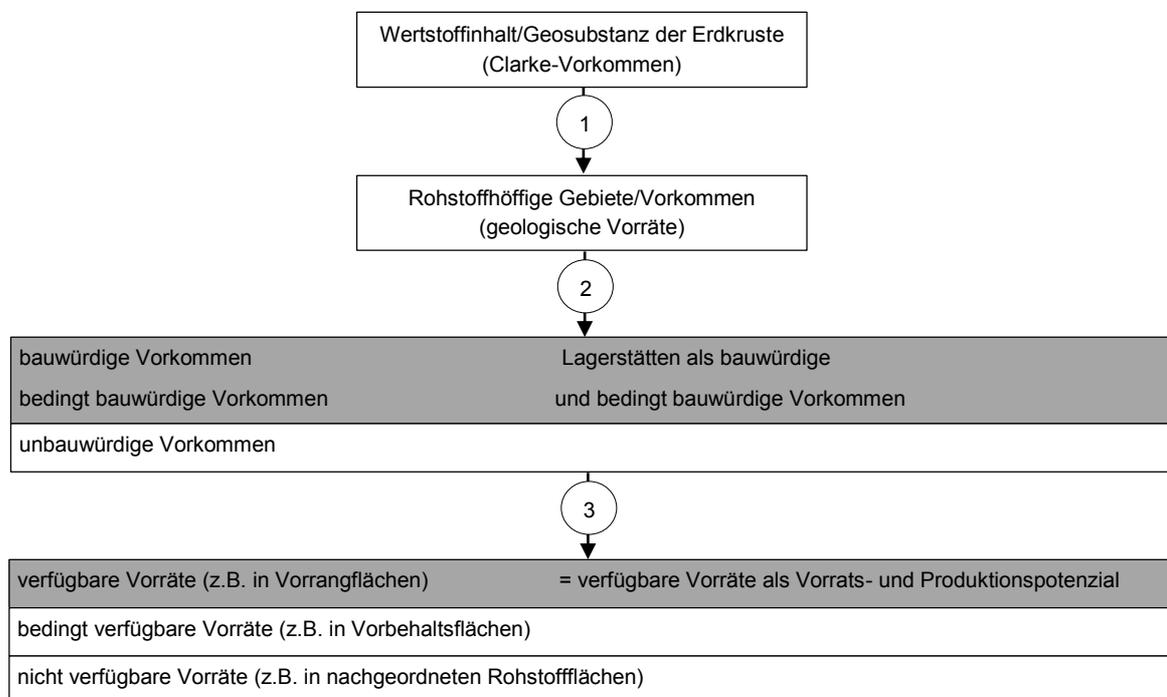


Abbildung 11: Grundlegende Zusammenhänge zwischen Vorratsbegriffen und den Arbeitsetappen der geologischen und bergwirtschaftlichen Bewertung (Slaby und Wilke 2005, S. 215)

---

### 3.3.3 Raumordnung

---

Das Ziel der Raumordnung, im allgemeinen Sinn, ist nach Slaby und Wilke 2005, *„alle mit Auswirkung auf die räumliche Nutzung und Entwicklung verbundenen Planungsabsichten möglichst frühzeitig offenzulegen, Planungssicherheit zu vermitteln, Vorsorge für künftige Entwicklungsmöglichkeiten zu treffen und Synergieeffekte der regionalen Entwicklung zu nutzen.“* (Slaby und Wilke 2005, S. 189)

Die Raumordnung ermöglicht es, Gebiete, in welchen Vorkommen liegen, auszuscheiden, weil auf einigen gewidmeten Flächen kein Bergbau betrieben werden darf. Der Abstand zu diesen Widmungen muss im Regelfall mindestens 300 m betragen. Laut § 82 im Mineralrohstoffgesetz muss die Genehmigung des Gewinnungsbetriebsplans im Hinblick auf die Raumordnung untersagt werden, wenn das Bergbaugebiet (Mihatsch 2007, S. 115)

- auf Bauland, in dem Wohnbauten errichtet werden dürfen,
- auf erweiterten Wohnbaugebiet oder in Gebieten mit besonders schützenswerten Einrichtungen,
- näher als 300 m an bewohnte Objekte oder besonders schützenswerte Einrichtungen heran reicht
- oder in Naturschutz- oder Nationalparkgebieten liegt.

---

### 3.3.4 Klassifikation von Lagerstättenvorräten

---

Die Klassifikation von Lagerstättenvorräten erfolgt aus der Absicht, diese als Produktions- oder Versorgungspotenzial auszuweisen. Man unterscheidet zwischen:

- dem Grad der Gewissheit und
- dem Grad der Bauwürdigkeit.

Die Abbildung 12 zeigt den grundlegenden Zusammenhang der beiden Kriterien. Essentiell ist, dass eine geringe Gewissheit nicht durch eine hohe Bauwürdigkeit ausgleichbar ist.

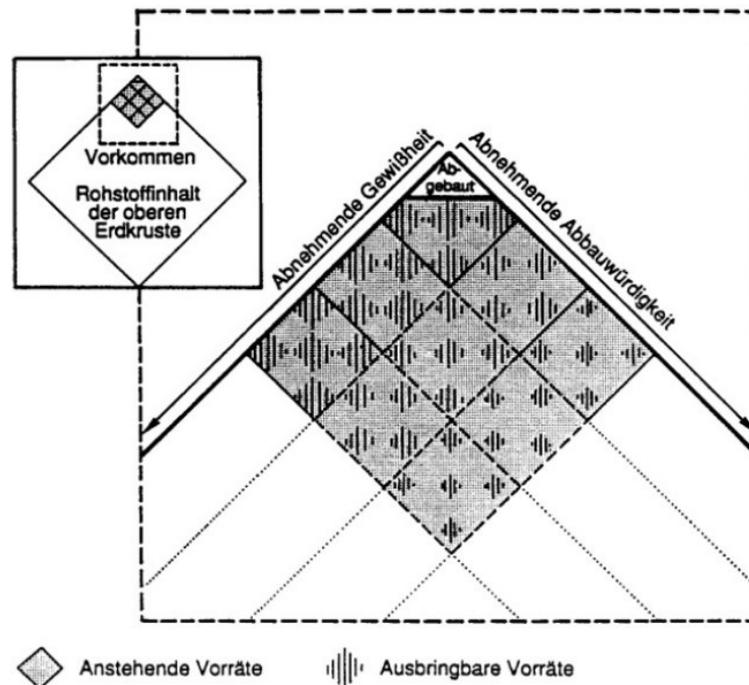


Abbildung 12: Schema zur Erläuterung der Klassifikation fester mineralischer Rohstoffe nach geologischer Gewissheit, Abbauwürdigkeit und Ausbringen (Fettweis 1990, S. 73)

Die Bauwürdigkeit ist das Ergebnis der bergtechnischen und bergwirtschaftlichen Untersuchung (siehe Kapitel 3.3.1).

Eine weitere Art der Darstellung ist die Vorratsmatrix. Charakteristisch für diese ist eine feine Gliederung der Kriterien.

		Entdeckt - Identified			Gefolgert - Inferred	Prognostisch - Undiscovered	
		Erkannt – Demonstr.		Angedeutet - Indicated		Hypo- thetisch	Spekulativ
		Sicher - Proved	Wahr- scheinlich - Probable				Hypo- thetical
		A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>
I Bauwürdig - Economic							
II Bedingt bauwürdig - Marginally economic	II/1 Bedingt bauwürdig - Paramarginal						
	II/2 Bedingt bauwürdig - Submarginal						
III Unbauwürdig - Subeconomic							

← Untersuchungsgang/Gewissheit

↑ Bauwürdigkeit

	Bauwürdige Vorräte (Reserves)	Ggf. nach anstehend und ausbringbar
	Bedingt bauwürdige Vorräte	
	Vorratsbasis (Resource base)	

Abbildung 13: Klassifikation der Vorräte und der Vorratsbasis von mineralischen Rohstoffen (Slaby und Wilke 2005, S. 155)

### 3.3.4.1 Gewissheit

Die Gewissheit von Vorräten „ist durch die Tiefe der geologischen Prospektion und Exploration (geologischer Untersuchungsgrad) und durch die Tiefe/Gründlichkeit der bergwirtschaftlichen Untersuchung und Bewertung bestimmt.“ (Slaby und Wilke 2005, S. 152) Nach dem United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources erfolgt die Einteilung in vier geologische Untersuchungsstadien:

<b>Reconnaissance</b>	Während einer Reconnaissance werden Gebiete mit erhöhtem Mineralpotential im regionalen Maßstab identifiziert und zwar basierend auf regionalen geologischen Studien, regionaler Kartierung, Luftaufnahmen und indirekten Methoden mit ersten Geländeuntersuchungen sowie geologischen Analogieschlüssen und Extrapolation. Ziel ist die Identifizierung mineralisierter Gebiete, in denen das Auffinden von Lagerstätten möglich ist, und die es wert sind, im Hinblick auf die Auffindung einer Lagerstätte weiter untersucht zu werden. Eine Abschätzung von Mengen sollte nur gemacht werden, und dann auch nur in ungefährender Größenordnung, wenn genügend Daten vorliegen und wenn ein Analogieschluß mit bekannten Lagerstätten ähnlichen geologischen Baus möglich ist.
<b>Prospektion</b>	Prospektion ist das systematische Vorgehen zur Suche einer Lagerstätte, wobei Höflichkeitsgebiete mit erhöhter Mineralisierung eingeeignet werden. Die benutzten Methoden sind Ausbissuntersuchungen, Kartierung und indirekte Methoden wie geophysikalische und geochemische Untersuchungen. Schürfe, Bohrungen und Probenahme können Teil der Untersuchungen sein. Das Ziel ist die Identifizierung einer Lagerstätte als Grundlage für eine folgende Exploration. Vorratsangaben sind ableitbar auf der Basis der Interpretation der geologischen, geophysikalischen und geochemischen Ergebnisse.
<b>Übersichts- exploration</b>	Übersichtsexploration ist die anfängliche Untersuchung einer entdeckten Lagerstätte. Die dabei eingesetzten Methoden umfassen Kartierung, weitständige Probenahme, Schürfe und Bohrungen zur vorläufigen Ermittlung der Menge und Qualität (hierbei können auch mineralogische Tests in Labormaßstab anfallen), sowie begrenzte Interpretationen, die auf direkten und indirekten Untersuchungsverfahren basieren. Das Ziel ist die Feststellung der wesentlichen geologischen Merkmale der Lagerstätte und deren Aushalten. Dabei geht es insbesondere um eine anfängliche Erfassung von Größe, Form, Struktur und Gehalt der Lagerstätte insgesamt. Der Grad der erreichten Genauigkeit sollte ausreichend sein für die Entscheidung, ob Prefeasibility Studie und Detailexploration gerechtfertigt sind.
<b>Detailexploration</b>	Detailexploration umfasst die detaillierte, dreidimensionale Erfassung einer Lagerstätte durch Untersuchung und Beprobung von Ausbissen, Schürfen, Bohrungen, Schächten und Stollen. Das Probenraster ist so engständig, dass Größe, Form, Struktur, Gehalt und andere in Frage kommende Charakteristika der Lagerstätte mit einem hohen Genauigkeitsgrad erfasst werden. Aufbereitungstest, die die Entnahme von Großproben erfordern, können notwendig sein. Die Entscheidung, ob eine Feasibility Studie angemessen ist, kann durch die in der Detailexploration erhaltenen Informationen getroffen werden.

Tabelle 7: Einteilung der geologischen Untersuchungsstadien zitiert aus (United Nations 1997, S. 137)

---

### 3.3.5 Internationale Standards für die Klassifikation von Lagerstättenvorräten

---

Im internationalen Bereich kommen folgende Standards zum Einsatz:

- JORC Code (Joint Ore Reserves Committee)
- CIM standard (Canadian Institute of Mining & Metallurgy)
- SAMREC Code (South African Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves)
- United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009

Die Klassifikation, ob es sich um Resources (Vorkommen) oder um Reserves (Lagerstätten) handelt, erfolgt z.B. beim JORC Code nach sehr ähnlichen Kriterien (siehe Abbildung 14). Er benützt eine zweidimensionale Einteilung.

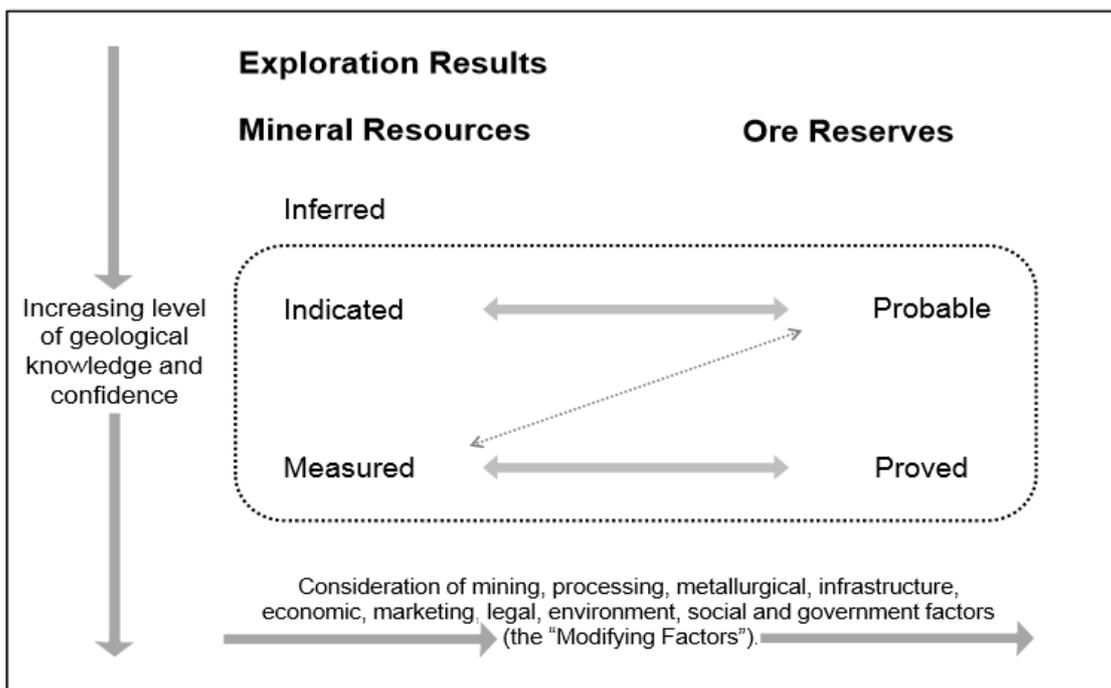


Abbildung 14: General relationship between Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (Joint Ore Reserves Committee 2012)

Die „United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009“ benützt eine dreidimensionale Klassifikation der Lagerstättenvorräte. Die drei Achsen sind:

- E: economic and social viability (wirtschaftliche und soziale Realisierbarkeit)
- F: field project status (Projekt Status)
- G: geological knowledge (geologischer Wissensstand)

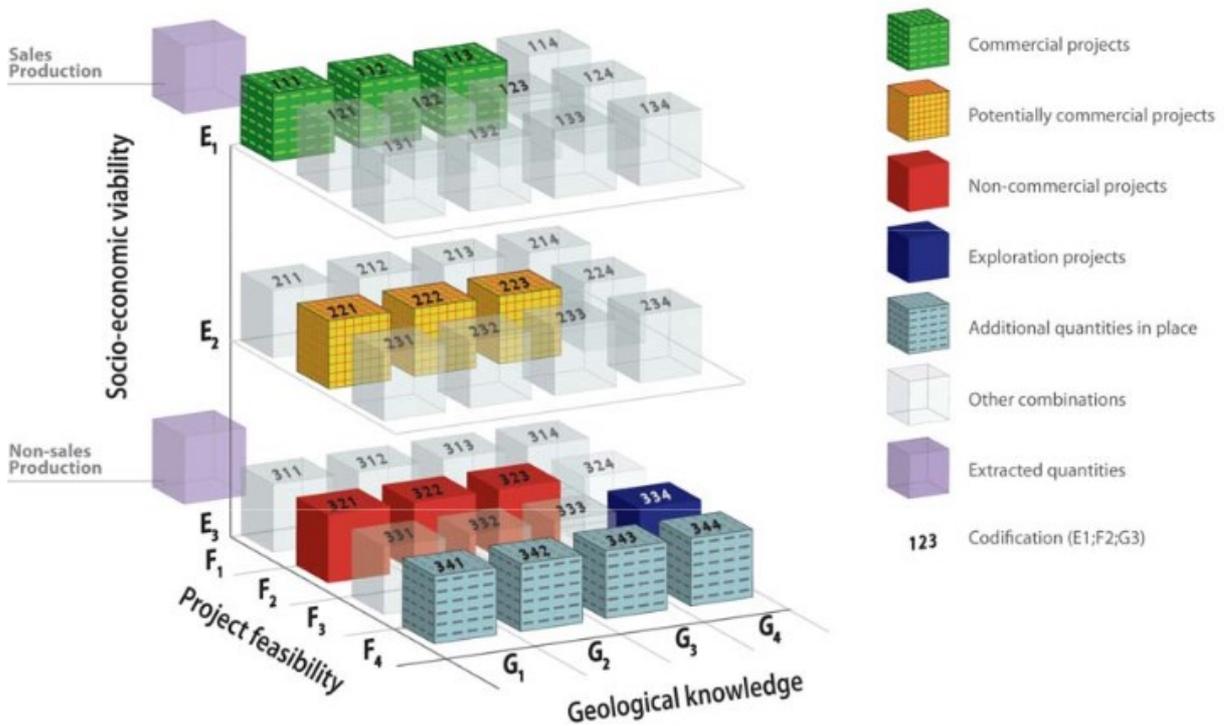


Abbildung 15: Klassifikation mit Beispielen (United Nations 2010)

### 3.4 Einflussfaktoren auf die Bauwürdigkeit

Die Kosten für die Bergbauendprodukte hängen von vielen Einflussgrößen ab. Standortgebundene Produktionsfaktoren geben diese für die Lagerstätte vor. Die Einteilung der Einflussgrößen ist in Abbildung 16 ersichtlich.

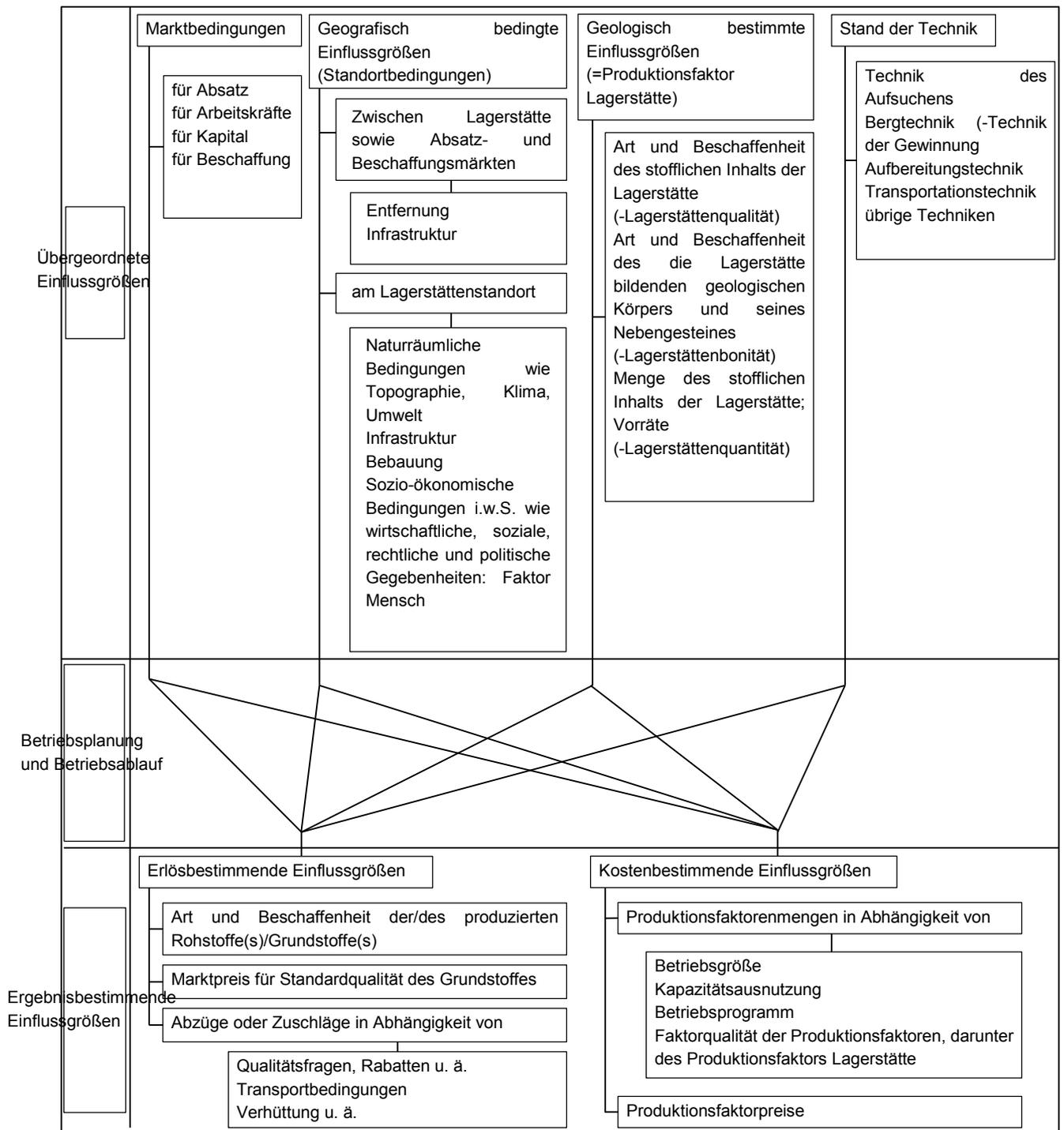


Abbildung 16: Einflussgrößen für Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bergwerken (Gewinnung und Aufbereitung) (Fettweis 1990, S. 23)

---

### 3.4.1 Geographische Einflussgrößen

---

Die Geographie beschreibt die natürlichen und die vom Menschen geschaffenen Gegebenheiten an einem gewissen Standort. *„Entsprechend gehören zu ihnen auch die Infrastruktur und die gesamten wirtschaftsräumlichen und sozio-ökonomischen Verhältnisse des Standorts einschließlich der politischen Situation.“* (Fettweis 1990, S. 24) Diese Einflüsse betreffen alle Wirtschaftszweige. Den Bergbau trifft es stärker, weil er lagerstättenbedingt nicht umsiedeln kann und beim Abbau Eingriffe in die Natur vornimmt. Die geographischen Einflussgrößen können in die Transportsituation und in die Gegebenheiten am Standort gegliedert werden. (Fettweis 1990, S. 24)

#### 3.4.1.1 Transportsituation

Ausschlaggebend für die Transportsituation ist die Lage der Absatzmärkte und der Beschaffungsmärkte, in Bezug auf Entfernung und Infrastruktur. Sind die Absatzmärkte weit entfernt, ist dies für Produkte mit geringem Preis pro Mengeneinheit hinderlich, da die Transportkosten für diese Produkte einen großen Anteil am Gesamtpreis einnehmen und durch den hohen Preis am Markt nicht konkurrenzfähig sind. Hohe Transportkosten verursachen teure Betriebsmittel, die somit die Kosten für Gewinnung und Aufbereitung steigern. Die Investitionskosten für die Transporteinrichtung von abgelegenen Bergwerken können gleich hoch oder sogar höher ausfallen als die Investitionskosten für das Bergwerk selbst. (Fettweis 1990, S. 24)

Gründe für höhere Investitionskosten im Transportbereich sind z.B. der Bau langer Transportwege (Eisenbahntrassen oder Straßenanbindungen).

Die Transportkosten sind nach Fettweis 1990 abhängig von:

- Entfernung der Absatzmärkte und Beschaffungsmärkte
- Ob Transportinfrastruktur vorhanden, teilweise vorhanden oder eigens errichtet werden muss
- Art der Transportmöglichkeiten
- Tarifgestaltung der Transportunternehmen
- Transportierte Menge bzw. Losgrößen

### **3.4.1.2 Gegebenheiten am Standort**

Die geographischen Gegebenheiten an einem Standort können die Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte stark beeinflussen. Obwohl die Lagerstätte geologisch abbauwürdig ist, kann es durch geographische Faktoren zum Ausschluss kommen. Gründe dafür sind die Infrastruktur, volkswirtschaftliche Belange, politische Konstellationen oder natürliche Gegebenheiten. Detaillierten Einblick gibt die Tabelle 8. (Fettweis 1990, S. 25)

<p>1) Naturräumliche Gegebenheiten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Klima: Temperaturen und Niederschläge im jahreszeitlichen Wechsel</li> <li>b) Oberflächenbedingungen: Topographie, Gewässer, Vegetation, ökologische Gegebenheiten</li> <li>c) Grundwasserbedingungen</li> <li>d) Besondere Gefahren: Hochwasser, Muren, Lawinen</li> </ul> <p>2) Infrastruktur und Bebauung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Politische Grenzen</li> <li>b) Verkehrsanschlüsse und andere Überlandanschlüsse; Straßen, Eisenbahnen, Wasserwege, Flughäfen; Elektrizitätsleitungen, Pipelines; Tarife bzw. Kosten</li> <li>c) Eigentumsverhältnisse; Nutzung, Verfügbarkeit und Kosten von Land</li> <li>d) Besiedlung einschließlich kultureller Bedingungen sowie Bebauung; Baumöglichkeiten und Baukosten</li> <li>e) Energieversorgung: Strom, Gas, Brennstoffe, Kraftstoffe; Verfügbarkeiten und Kosten</li> <li>f) Versorgung von Trink- und Gebrauchswasser; Verfügbarkeiten, Qualitäten, Kosten</li> <li>g) Versorgung mit Massengütern wie Baustoffe und Holz; Verfügbarkeiten, Qualitäten, Kosten</li> <li>h) Versorgung mit sonstigen Betriebsmitteln; Verfügbarkeiten, Qualitäten, Kosten</li> <li>i) Versorgung auf den Gebieten von Schulen, Bildung, Erholung und medizinischer Betreuung</li> <li>j) Landwirtschaftliches, forstwirtschaftliches, industrielles und kulturelles Umfeld</li> </ul> <p>3) Arbeitskräfte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Verfügbarkeiten</li> <li>b) Ausbildungsstand und Motivation</li> <li>c) Lohn- und Gehaltsniveau</li> <li>d) Gewerkschaftliche Organisation</li> </ul>	<p>4) Empfindlichkeiten gegen Eingriffe in die Umwelt und Umweltschutz</p> <p>5) Eventuelle konkurrierende Ansprüche an das Naturraumpotential</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Land- und Forstwirtschaft</li> <li>b) Bebauung für Wohn- oder Industriezwecke</li> <li>c) Wassergewinnung</li> <li>d) Gewinnung anderer mineralischer Rohstoffe</li> <li>e) Fremdenverkehr</li> </ul> <p>6) Rechtliche Gegebenheiten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Bergrecht und Bergbehörden, Energierecht, Produktionsvorschriften</li> <li>b) Gesellschaftsrecht, Gewerberecht</li> <li>c) Arbeits- und Sozialrecht</li> <li>d) Normen auf den Gebieten der Raumordnung und des Umweltschutzes; Grundrecht, Wegerecht, Wasserrecht, Naturschutzrecht u. ä.</li> <li>e) Handels-, Außenhandelsrecht</li> <li>f) Steuerrecht</li> <li>g) Vorgangsweise bei und Ablauf von Genehmigungsverfahren</li> </ul> <p>7) Fiskalische, finanzielle und rohstoffpolitische Gegebenheiten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Besteuerung und sonstige Abgaben (Förderzins, Feldeszins), Steuerliche Förderungen, Abschreibungsvorschriften</li> <li>b) Wechselkurse und Transfermöglichkeiten</li> <li>c) Kapitalmarktverhältnisse</li> <li>d) Monetäre Entwicklung</li> <li>e) Rohstoff- und energiepolitische Gegebenheiten</li> <li>f) Wirken internationaler Organisationen</li> </ul> <p>8) Rechtssicherheit, politische Stabilität</p>
---	--

Tabelle 8: Geographische Gegebenheiten (i. w. S.) am Standort eines Rohstoffvorkommens (Fettweis 1990, S. 26)

### 3.4.2 Geologische Einflussgrößen

Für die Bauwürdigkeit einer Lagerstätte sind die geologischen Einflüsse am bedeutendsten. Diese beinhalten die „*jeweilige regionale Geologie mit Tektonik und Stratigraphie einschließlich der zugehörigen Gesteinskunde, Mineralogie und Geochemie.*“ (Fettweis 1990, S. 28) Nach diesen Kriterien werden das Vorkommen und das Nebengestein analysiert. Sie lassen sich nach folgenden Aspekten gliedern. (Fettweis 1990, S. 28)

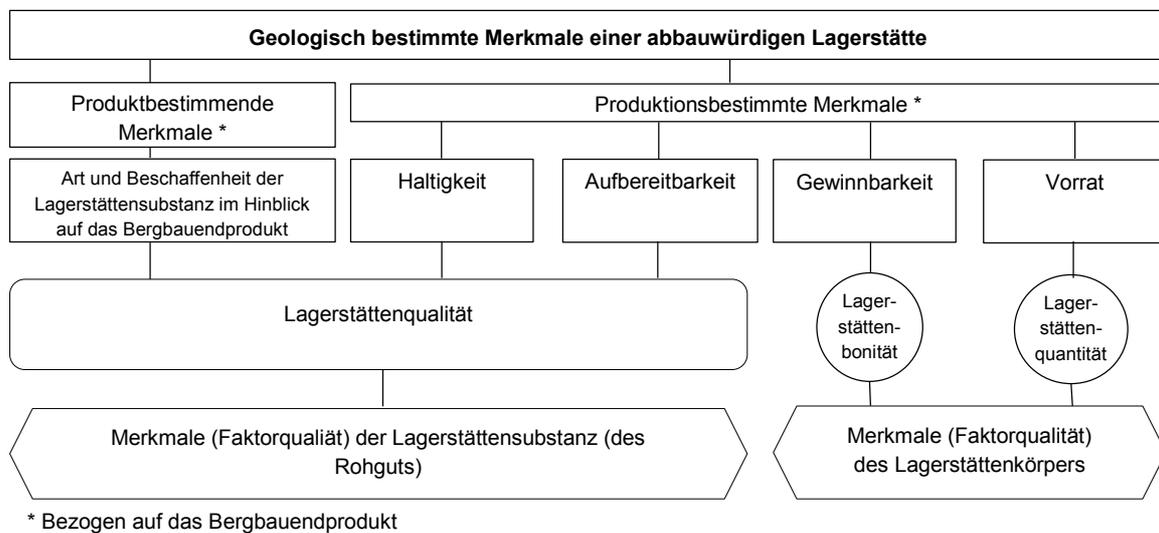


Abbildung 17: Geologisch bestimmte Einflussgrößen für die Abbauwürdigkeit (Fettweis 1990, S. 29)

---

### 3.4.3 Lagerstättenbonität

---

Die Lagerstättenbonität beschreibt die geologischen Merkmale einer Lagerstätte, bezogen auf die Gewinnbarkeit des Rohstoffes, in Zusammenwirkung mit dem Nebengestein. Die Eigenschaften der Lagerstättenbonität bestimmen den Aufwand und somit die Kosten für die Gewinnung und die Förderung.

Die geologischen Lagerungsbedingungen nach Slaby und Wilke 2005 sind:

- Teufe, horizontale und vertikale Erstreckung, Mächtigkeit und Einfallen des Rohstoffkörpers
- tektonische, gebirgsmechanische und hydrologische Verhältnisse, Geothermie, Gasgefährdung des Rohstoffkörpers und des Nebengesteins
- Festigkeit und Gewinnbarkeit des Rohstoffkörpers
- geographische Lage und Standortgegebenheiten des Rohstoffkörpers

Von den Merkmalen der Bonität hängt die Wahl des Abbauverfahrens, der Technologie zur Suche und Erkundung, der Aus- und Vorrichtungsmethode, der Gewinnung und der Förderung ab. (Slaby und Wilke 2005, S. 11)

---

### 3.4.4 Lagerstättenqualität

---

Bei der Lagerstättenqualität handelt es sich um die geologischen Merkmale eines Rohstoffkörpers und des Nebengesteins. Das daraus gewonnene Rohgut bestimmt die weitere Verwendung. Entscheidende Kriterien sind (Fettweis 1990, S. 30):

- Gehalte
- Aufbereitbarkeit (Verwachsungsgrad, Zerkleinerungsverhalten, Rohgutfeuchte, physikalische Eigenschaften und mineralogisch-petrographische Zusammensetzung)
- Korngrößenverteilung
- Begleitstoffe im Wertmineral (wertsteigernd und wertmindernd)

Der durchschnittliche Wertstoffgehalt und seine Verteilung im Rohstoffkörper sind ausschlaggebend für die Kosten des Bergbauproduktes. Diese unterteilen sich in Gewinnungskosten und Aufbereitungskosten. Ist die Anreicherung an Wertstoff im Vorkommen hoch, sind die Kosten für das Bergbauendprodukt niedriger. (Fettweis 1990, S. 31)

$$KR_P = \frac{g_P 100}{m g_R \left(1 - \frac{d}{100}\right)} (KR_{HG} + KR_{HA})$$

$KR_P$  ... Kosten des Bergbauendproduktes in GE/ME

$KR_{HG}$  ... Kosten der Gewinnung bezogen auf das Rohgut in GE/ME

$KR_{HA}$  ... Kosten der Aufbereitung bezogen auf das Rohgut in GE/ME

$g_P$  ... Durchschnittlicher Wertstoffgehalt des Bergbauendproduktes in %

$g_R$  ... Durchschnittlicher Wertstoffgehalt der gewonnenen Lagerstättensubstanz in %

$m$  ... Wertstoffausbringen der Aufbereitung in %

$d$  ... Verdünnung im Zuge des Abbaus in %

Für die Aufbereitung ist der erzielbare Wertstoffgehalt im Endprodukt maßgeblich. Doch auch das Ausscheiden von Schadstoffen ist von hoher Priorität. Beim Aufbereitungsprozess sind der Verwachsungsgrad und die Korngrößenverteilung entscheidend. Sind die Mineralphasen sehr feinkörnig verwachsen, müssen sie für eine Trennung mit hohem Energieaufwand zerkleinert werden. Dieser Energieaufwand hängt vom Zerkleinerungsverhalten des Rohgutes ab. (Fettweis 1990, S. 32)

Die Begleitstoffe im Wertmineral beeinflussen den Erlös des Bergbauproduktes stark. Bei wertmindernden Begleitstoffen handelt es sich um Schadstoffe, welche sich aufbereitungstechnisch nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand entfernen lassen. Wertsteigernde Begleitstoffe verbessern die Eigenschaften des Produktes und kommen vor allem in Erzen vor. (Fettweis 1990, S. 31)

Bei den Bergbauprodukten spielen Kornfraktionen eine Rolle, wenn gröbere Kornfraktionen einen höheren Preis am Markt erzielen als feinere. Das Zerfallsverhalten des Gutes ist ausschlaggebend für die Korngrößenverteilung des Endproduktes. (Fettweis 1990, S. 30)

---

### 3.4.5 Lagerstättenquantität

---

Die Lagerstättenquantität steht für die Größe der Lagerstättenvorräte. Sie hat neben der Lagerstättenbonität einen großen Einfluss auf die Kosten der Gewinnung des Rohstoffes. Der Größe der Lagerstätte steht eine optimale Betriebsgröße gegenüber. Maßgeblich hierbei ist die Kostendegression mit steigender Betriebsgröße. Dieses Prinzip wird „economy of scale“ genannt. Große Fördermengen ermöglichen die Nutzung großer Maschinen und Anlagen, die, in Relation, mit einem geringeren Kapital- und Personenbedarf betreibbar sind. (Fettweis 1990, S. 44)

---

## **4 Auswahl geeigneter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich anhand bergtechnischer Parameter**

---

### **4.1 Bergtechnisch relevante Parameter**

---

Um eine Auswahl aus den aufgefundenen Vorkommen zu treffen, werden diese nach bestimmten bergtechnisch relevanten Parametern bewertet.

- Oberflächenausdehnung
- Lage und Infrastruktur
- Petrologie
- Raumordnung
- Greenfield oder Brownfield Project

---

#### **4.1.1 Oberflächenausdehnung**

---

Mithilfe der Oberflächenausdehnung der Lagerstätten soll eine Größeneinteilung erfolgen. Obwohl es sich bei Vorkommen um dreidimensionale Körper handelt bewerten wir diese mit einem zweidimensionalen Wert. Dieser Schritt ist notwendig, weil die Daten der Vorkommen aus geologischen Karten entnommen wurden und daher keine Daten über ihre Mächtigkeit vorliegen.

Große Vorkommen ermöglichen hohe Förderraten und diese haben beträchtlichen Einfluss auf die Kosten der Gewinnung. Das kann durch das Prinzip von „economy of scale“ erklärt werden (siehe 3.4.5). Aus diesem Grund wurden alle Lagerstätten welche kleiner 1 km<sup>2</sup> sind ausgeschlossen.

---

### 4.1.2 Lage & Infrastruktur

---

Die geographischen Gegebenheiten der Lagerstätten beeinflussen die Kosten für Erschließung und Betrieb. Eine gut ausgebaute Verkehrsinfrastruktur erleichtert den Transport zum und vom Bergbaubetrieb und mindert die laufenden Kosten.

Befindet sich das Vorkommen, welches in Tagebauweise erschlossen werden soll, in alpiner oder hochalpiner Lage, ist ein ganzjähriger Betrieb oft nicht möglich. Aus diesem Grund scheiden diese Vorkommen aus.

---

### 4.1.3 Petrologie

---

Die Qualität der Lagerstätte bezieht sich auf die Petrologie. Für meine Betrachtung ist der MgO-Gehalt der Gesteine wesentlich und daher bevorzuge ich den Harzburgit und den Dunit. In Tabelle 9 sind die bedeutendsten ultramafischen Gesteine und ihre durchschnittlichen MgO-Gehalte aufgelistet.

Gestein	MgO-Gehalt [Gew.%]	Klasse	Farbencode
Dunit , Harzburgit	~45	1	grün
Lherzolit, Orthopyroxene	~40	2	grün
Serpentinit (mit unbekanntem Protolith)	~35	2	grün
Peridotit ohne nähere Klassifikation	~35	2	grün
Wherlit	~30	3	rot
Klinopyroxene, Px	~25	4	rot
Amphibolit	~8	5	rot
Grünschiefer	~5	5	rot

Tabelle 9: MgO-Gehalte ultramafischer Gesteine

Wesentlich ist auch der Nickel-, Chrom- und Eisengehalt, der im Dunit, Harzburgit, Lherzolit, Peridotit und Serpentinit enthalten ist.

---

#### **4.1.4 Raumordnung**

---

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Raumordnung, die für den Bergbau oft zum Problem werden kann. Liegt das Vorkommen oder Teile des Vorkommens auf gewidmeten Flächen, welche eine Abbaugenehmigung verhindern (siehe Kapitel 3.3.3), müssen diese ausgeschieden werden. Für unsere Betrachtung ist das Vorhandensein von Schutzgebieten ausschlaggebend.

---

#### **4.1.5 Greenfield oder Brownfield Project**

---

Bei „Greenfield Projects“ handelt es sich um Projekte, welche auf der sprichwörtlichen, grünen Wiese starten. Für den Bereich Bergbau, insbesondere für die geologische Untersuchung, bedeutet dies, dass man sich im ersten Stadium, genannt Reconnaissance (siehe Kapitel 3.3.4), welches die höchste Ungewissheit hat, befindet. „Brownfield Projects“ sind Erweiterungen oder Wiedererschließungen von bestehenden oder aufgelassenen Bergwerken. Durch den vorhandenen Aufschluss steigt die Gewissheit der geologischen Studie auf die zweite Stufe, die Prospektion. Für unsere Betrachtung ist der geologische Wissensstand von großer Bedeutung und disqualifiziert Projekte im „Reconnaissance“ Stadium.

## 4.2 Auswahl geeigneter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich anhand bergtechnischer Parameter

Position und Kurzbeschreibung von ultramafischen Gesteinen in Österreich						Bergtechnische Parameter (Standort, Bonität, Qualität, Quantität)						Lagerstättenqualität				
Komplex	ÖK-Position <sup>1</sup>			Seehöhe [m]	Geologische Position <sup>2</sup>	Alter <sup>2</sup> [Ma]	Größe <sup>6</sup> [km]	Standort				Petrologie	Bewertung Mineralogie			
	UTM 33N	R (östlich)	H (nördlich)					Lage & Infrastruktur <sup>1</sup>	Raumplanung <sup>1</sup>	Bestehender Bergbau	Betreiber			Ehemaliger Bergbau/Steinbruch		
Burgenland																
Bernstein Deposit					PEN/Rechnitz Fenster	Mesozoic	5 x 2 <sup>2</sup>							Harzburgit, (Rodingit) (Grünschiefer) <sup>2</sup>	1	
Bernstein	137	595422	5252831	711 <sup>1</sup>		19-22 <sup>7</sup>		liegt an L104	Landschaftsschutzgebiet	Steinbruch Kienberg-Bernstein <sup>7</sup>	Gerhard Böhm Steinbruch Erdbewegungen <sup>7</sup>			vollständig serpentinisierter Peridot, daneben Magnetit vereinzelt Talk sowie Chlorit <sup>7</sup>	1	
Redlschlag	137	599169	5254656	431 <sup>1</sup>				Bergbau an L346 angebunden 0.3 km B55	Landschaftsschutzgebiet	Steinbruch Saurüssel <sup>7</sup>	Fürst Esterházyische Privatstiftung <sup>7</sup>			Edelserpentin, Klüfte mit Opal sowie z.T. Talk Kalzit und Chaledonkrusten <sup>7</sup>	1	
Rumpersdorf	137/138	600741	5243788	449 <sup>1</sup>	Rechnitz Einheit <sup>7</sup>	19-22 <sup>7</sup>	4 x 0.8	vom Bergbau 2.5 km L427	Landschaftsschutzgebiet	Serpentin Steinbruch Postmann (Rumpersdorf) <sup>7</sup>	Asamer Kies- und Betonwerke GmbH <sup>7</sup>			vollständig serpentinisiert, daneben Magnetit und vereinzelt Talk, Chlorit und Chaledon <sup>7</sup>		
Badersdorf	168	604902	5227637	264 <sup>1</sup>	Südburgenländisches Hügelland <sup>7</sup>	19-22 <sup>7</sup>	3.5 x 1 + 1.7 x 0.8	Bergbau 1 km zu L389 1km B56	Landschaftsschutzgebiet	Antigorit Steinbruch Badersorf <sup>7</sup>	Eisenberger Hartstein GmbH <sup>7</sup>			Serpentin und Grünschiefer (weist Tremolit, Albit, Klinoisit, Klinochlor, Epidot, Pyrit, Anthophyllit und Hedenbergit auf) <sup>7</sup>	2 / 5	
Steinbach <sup>8</sup>	137	598500	5258380	448 <sup>1</sup>	Sieggraben Einheit <sup>8</sup>		0.7 x 0.5 <sup>9</sup>	angebunden an L345	Landschaftsschutzgebiet					Peridotite treten auf mit Spinell haltigen Pyroxenen, Eklogit und Eklogit-Amphiboliten und sind eingebettet in eine Gneiseinheit <sup>8</sup>	2 / 5	
Kärnten																
Gulitzen bei Hirt	186	457251	5197360	648 <sup>1</sup>			0.2 x 0.06	B317 (zweispurig) und Bahntrasse 1 km	keine Naturschutzzone			Alter Serpentin Steinbruch für Zierstein <sup>9</sup>		Ca reich (1/3 - 1/2 des Gesteins) Protolith: Peridotit und Harzburgit; Olivin- und Bronzitrelikte sind in den dunklen Gesteinsarten noch zu finden <sup>9</sup>	2	
Saualpe	187	467146	5194994	940 <sup>1</sup>	Plankogel Serie <sup>10</sup>		0.15 x 0.1 <sup>10</sup>	Straße zu unterer Graben führt vorbei, 2km zur L91	keine Naturschutzzone					Harzburgit, Lherzolit, Orthopyroxene <sup>10</sup>	2	
Stegsdorf	186	452719	5201256	745 <sup>1</sup>	Friesacher Komplex <sup>11</sup>		0.22 x 0.13 + 0.27 x 0.1 + 0.3 x 0.15 + 0.15 x 0.1	Fluglinie: 0.65 km L62d, 1.5 km B317, Bahnhof Friesach 3 km	keine Naturschutzzone					Serpentin besteht aus Antigoritserpentin und Talk, Reste von Olivin und Orthopyroxenen liegen neben Magnetit in der feinfilzig verwachsenen Grundmasse vor <sup>11</sup>	2	
Niederösterreich																
Dobersberg-Waldkirchen	7	524827	5420799	508 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		3 x 1	0.25 km L52	keine Naturschutzzone			Serpentin Steinbruch Hartlöß ost-südlich von Reibers, Serpentin Steinbruch 2 km östlich von Waldhers nördlich der Straße <sup>4</sup> nicht auf Hauptlagerstätte		Serpentin <sup>4</sup>	2	
Raabs Umgebung	7	535793	5413037	505 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		1 x 0.75	Luftlinie 1.7 km B30	keine Naturschutzzone					Amphibolit <sup>4</sup>	3	
Drosendorf-Pingendorf (Pingendorf)	8	546035	5407435	463 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		0.5 x 0.2	Pingendorf	keine Naturschutzzone			Alter Steinbruch an L1179	keine Naturschutzzone	alter Steinbruch Pingendorf nördlich der Straße nach Eichmühle <sup>4</sup>	Serpentin, Vermiculit <sup>4</sup>	2
Blumau-Ludweis					Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>											
Sulzmühle	7	534997	5402845	503 <sup>1</sup>			0.3 x 0.15	Straße zur Lagerstätte vorhanden 1.4 km L8046	keine Naturschutzzone			Serpentin Steinbruch nördlich des Fahrwegs von Ludweis <sup>4</sup>		Serpentin <sup>4</sup>	2	
Blumau	7	533064	5400260	545 <sup>1</sup>			0.45 x 0.2	0.1 km zu Straße 0.25 km zu Bahntrasse	keine Naturschutzzone			Serpentin Steinbruch 1 km südlich vor dem Bahnviadukt <sup>4</sup>		Serpentin <sup>4</sup>	2	
Wanzenu-Steinegg-Wegscheid	20/21	541668	5386058	329 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		6 x 0.3	L8044 führt an Lagerstätte vorbei	Natura 2000 und Landschaftsschutzgebiet			Steinbruch an der Straße nach Steinegg <sup>4</sup>		Serpentin mit Partien von Pyroserpentin, Serpentin stark verkieselt <sup>4</sup>	2	
Zöbing-Schiltern	21/38	549492	5375856	368 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		0.5 x 0.3	L8020 0.65 km, 1.5 km Stiefern Bahnhof	keine Naturschutzzone					Serpentin stark verkieselt, in Klüften Jaspis und Calcedon <sup>4</sup>	2	
Rastbach-Wurschenaigen	20	531671	5374500	600 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		4.5 x 0.2	Lagerstätte liegt an L7058	keine Naturschutzzone		Johann Aschauer <sup>4</sup>	Zwei Steinbrüche ca. 1km nördlich von Rastbach <sup>4</sup>		Serpentin, Pegmatit, Vermiculit <sup>4</sup>	2	
Klein Heinrichschlag Umgebung	36/37	523761	5361435	701 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		1 x 0.5	0.4 km zu L7183	keine Naturschutzzone					Serpentin <sup>4</sup>	2	
Weiten Umgebung (Dölla)	36	517539	5345848	407 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		0.3 x 0.1	0.2 km zu L7226, 7 km Bahnhof Pöchlarn	keine Naturschutzzone					konnten keine Ultrabasite aufgefunden werden <sup>4</sup>		
Isperthal	53	501769	5340745	378 <sup>1</sup>	Gneis- Granolitzone <sup>4</sup>		1 x 0.1 + 1.2 x 0.1	Lagerstätte liegt an L7288, 3 km Bahntrasse	Natura 2000					Serpentin durch Pegmatitintrusionen fast vollständig umgewandelt, Hauptminerale Antophyllit, Vermiculit u. smaragdgrüne Hornblende <sup>4</sup>	2	
Aggsbach im Dunkelsteinerwald	37	533716	5348941	446 <sup>1</sup>			1.75 x 0.5 + 1.25 x 0.4	0.7 km zu L5358, 4 km Bahntrasse	in einem Teil Natura 2000 kleinerer Teil					Serpentin (Lizardit), Granat Pyroxenite, Amphibolite u. Kersantite <sup>5</sup>	2	
Salzburg																
Hackbrettli	153	322972	5229095	2708 <sup>3</sup>	PEN/Tauern Fenster	Mesozoic	0.25 x 0.1 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	Nationalpark					Harzburgit (Amphibolit) <sup>2</sup>	1	
Stubachtal	153	320147	5226805	1477 <sup>1</sup>	PEN/Stubach Gruppe	486-539	3.5 x 0.8 <sup>2</sup>	liegt an L264	umgeben und auf Nationalpark					Dunit/Harzburgit, Klinopyroxene, <sup>2</sup>	1	
Schwarze Wand	152	301073	5231422	2000-2200 <sup>3</sup>	PEN/Stubach Gruppe	496 ± 2	0.6 x 0.2 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	Nationalpark Außenzone					Harzburgit (Amphibolit) <sup>2</sup>	1	

Felbertal	152	307979	5229939	1691 <sup>5</sup>	PEN/Stubach Gruppe	E. Paleozoic	0.2 x 0.2 <sup>2</sup>	1km zu L202	Nationalpark Hohe Tauern					Harzburgit (Amphibolit) <sup>2</sup>	1
Steiermark															
Kraubath	132				MOA/Speik Komplex	L. Proterozoic	13 x 2 <sup>2</sup>	Bahn, Autobahn						Harzburgit, Orthopyroxene, Dunit (Chromite) (Amphibolit) <sup>2</sup>	1
Gulsen		494685	5236633	683 <sup>5</sup>					Natura 2000 Habitatrichtlinie umgibt Steinbruch	Steinbruch Gulsen stillgelegt/gesperrt <sup>13</sup>					
Preg		495334	5236413	602 <sup>5</sup>					keine Naturschutzzone	Steinbruch Preg <sup>13</sup>	Pronat Steinbruch Preg GmbH <sup>13</sup>				
Lobming		500900	5238299	717 <sup>5</sup>					keine Naturschutzzone	Steinbruch Hinterlobmig <sup>13</sup>	Magnolithe Gesellschaft m.b.H <sup>13</sup>				
Pernegg	134	526060	5243444	760-920 <sup>3</sup>	MOA/Speik Komplex	L. Proterozoic	4.5 x 1 <sup>2</sup>	Bahn, Autobahn	Landschaftsschutzgebiet			alter Bruch		Harzburgit, Dunit, Orthopyroxene, Klinopyroxene (Ca-reich) <sup>2</sup>	1
Hochgrössen	129	443617	5256334	1200-2122 <sup>3</sup>	MOA/Speik Komplex	L. Proterozoic	3.0 x 1.7 <sup>2</sup>	2.7 km zur nächsten Straße	Natura 2000 Vogelschutzrichtlinie					Harzburgit, Dunit, Lherzolit, (Chromit), (Amphibolit, Eklogit) <sup>2</sup>	1
Lärchkogel bei Trieben	130	459081	5256592	1666 <sup>12</sup>	Östliche Grenze zentralalpines Kristallin <sup>12</sup>		2 x 0.8 <sup>12</sup>	Hohentauern B114, 5km	Landschaftsschutzgebiet					Dunit, Chromit <sup>12</sup>	1
Tirol															
Ochsner	149	258093	5214978	3107 <sup>3</sup>	PEN/Greiner Serie	E. Paleozoic	1.7 x 0.7 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	Hochgebirgsnaturpark Zillertaler Alpen					Harzburgit, Klinopyroxene, (Rodingit), (Amphibolit) <sup>2</sup>	1
Höchnöderer	170	132219	5210406	2750 <sup>3</sup>	SUAA/Silvretta	532 ± 30	0.55 x 0.15 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	keine Naturschutzzone					Harzburgit, Dunit, (Amphibolit) <sup>2</sup>	1
Matrei Zone															
Blauspitze	153	318186	5210041	2577 <sup>3</sup>	Matrei Zone	Mesozoic	1.5 x 0.4 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	keine Naturschutzzone					Lherzolit, <sup>2</sup>	2
Ködnitztal	153	324422	5211302	2835 <sup>5</sup>	Matrei Zone	Mesozoic	0.7 x 0.3 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	keine Naturschutzzone					Lherzolit, <sup>2</sup>	2
Gösleswand	177	294312	5206426	2912 <sup>3</sup>	Matrei Zone	Mesozoic	2.0 x 0.25 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	keine Naturschutzzone					Lherzolit, Harzburgit <sup>2</sup>	2
Wurmtal (Italien)				2288 <sup>3</sup>	Matrei Zone	Mesozoic	0.3 x 0.1 <sup>2</sup>							Harzburgit, Lherzolit <sup>2</sup>	1
Buinlandtal (Italien)				2400 <sup>3</sup>	Matrei Zone	Mesozoic	1.5 x 0.5 <sup>2</sup>							Lherzolit, Harzburgit <sup>2</sup>	2
Reckner	149	244073	5226721	2765 <sup>5</sup>	LOA/Reckner Komplex	187 ± 1.4	1.5 x 1.3 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	keine Naturschutzzone					Lherzolit, Harzburgit (Gabbro) <sup>2</sup>	2
Idalpe	171	143873	5213823	2500 <sup>3</sup>	PEN/Engadiner Fenster	Jurassic	< 0.1 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände	keine Naturschutzzone					Harzburgit, Lherzolit - Wehrlit (Basalt, Gabbro) <sup>2</sup>	2
Nauders	171	157585	5202929	2824-2886 <sup>3</sup>	PEN/Engadiner Fenster	Mesozoic	4 x 0.7 <sup>2</sup>	hochalpines Gelände, Dreiländereck AUT, CH, I	keine Naturschutzzone					Lherzolit, (Rodingit) (Grünschiefer) <sup>2</sup>	2
Mailfrosnitz (Dorfertal)	151/152	297378	5212899	1742 <sup>5</sup>	PEN/Tauern Window	Mesozoic	0.6 x 0.1	Bergbau 2.3 km zu L24	keine Naturschutzzone	Serpentin Steinbruch Dorfertal <sup>13</sup>	Lauster Naturstein G.m.b.H <sup>13</sup>			Harzburgit, Lherzolit <sup>2</sup>	1

**Tabelle 10: Beurteilung ultramafischer Gesteine in Österreich gemäß Kapitel 4**

PEN ... Penninic; MOA ... Middle Austroalpine; LOA ... Lower Austroalpine; SUAA ... South Upper Austroalpine;  
Farbschema: rot ... Ausschlussgrund; orange ... mäßiger Wert; grün ... guter Wert;

<sup>1</sup> (geoland.at 2014)

<sup>2</sup> (Melcher et al. 2002, S. 72)

<sup>3</sup> (Puhl 2000)

<sup>4</sup> (Punzengruber und Polegeg 1982)

<sup>5</sup> (Schall 1988)

<sup>6</sup> (Geologische Bundesanstalt 2014)

<sup>7</sup> (Fleischanderl 2006)

<sup>8</sup> (Meisel et al. 1997)

<sup>9</sup> (Meixner 1953)

<sup>10</sup> (Riesco et al. 2004)

<sup>11</sup> (Götzinger und Pertlik 1982)

<sup>12</sup> (Kürzl 1982)

<sup>13</sup> (BMWFJ 2014)

Nach genauer Analyse der Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich, wie in Kapitel 4 beschrieben, verbleiben folgende:

- Vorkommen Bernstein
- Vorkommen Kraubath

Die Diplomarbeit soll eine Detailbetrachtung von zwei Vorkommen beinhalten. Auch die Vorkommen Badersdorf und Rumpersdorf könnten für eine weitere Analyse in Betracht gezogen werden. Aufgrund schlechter Infrastrukturanbindungen und kleinerer Oberflächenausdehnung gehe ich in meiner Arbeit auf diese nicht näher ein.

---

## 5 Bergtechnische Charakterisierung ausgewählter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich

---

### 5.1 Bewertungssystem

---

#### 5.1.1 Bewertungsskala

---

Mithilfe der Bewertungsskala soll eine Einteilung der bergtechnischen Parameter nach „abbauförderndem Charakteristikum“ bis hin zum „abbauhinderndem Charakteristikum“ erfolgen. Die fünf Beurteilungsstufen der Bewertungsskala beginnen bei den abbaufördernden Kriterien mit „++“ und enden bei den abbauhindernden Kriterien mit „--“.

Charakteristikum	Skala
stark abbaufördernd	++
abbaufördernd	+
neutral	±
abbauhindernd	-
stark abbauhindernd	--

Tabelle 11: Definition der Bewertungsskala

## 5.1.2 Hydrologie

Die Bewertung der Hydrologie erfolgt anhand der Grundwassergegebenheiten.

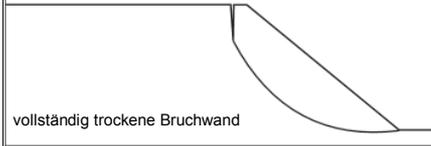
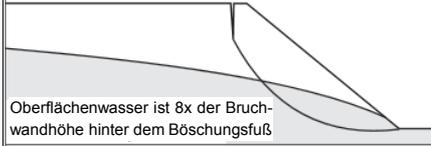
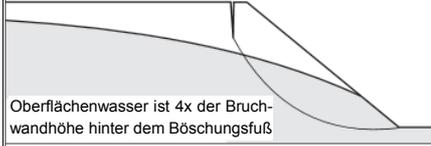
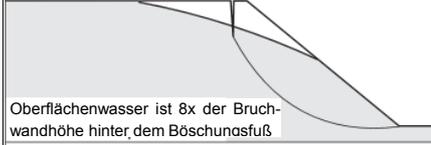
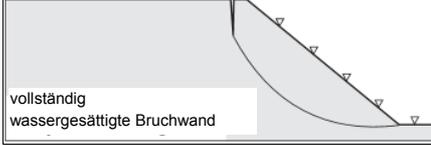
Grundwassergegebenheit	Chart Nummer	Bewertung
 vollständig trockene Bruchwand	1	++
 Oberflächenwasser ist 8x der Bruchwandhöhe hinter dem Böschungsfuß	2	+
 Oberflächenwasser ist 4x der Bruchwandhöhe hinter dem Böschungsfuß	3	±
 Oberflächenwasser ist 8x der Bruchwandhöhe hinter dem Böschungsfuß	4	-
 vollständig wassergesättigte Bruchwand	5	--

Abbildung 18: Ground water flow condition chart (Wyllie et al. 2004, S. 182)

## 5.1.3 Gebirgseigenschaften und Böschungsstabilität

Die Gebirgseigenschaften und die Böschungsstabilität werden über den Böschungssicherheitsfaktor bewertet. Die Bewertungsskala orientiert sich an den Werten von Wyllie et al. 2004, S. 10.

Böschungssicherheitsfaktor	Bewertung
>2,5	++
2-2,5	+
1,5-2,0	±
1,3-1,5	-
<1,3	--

Tabelle 12: Bewertungsskala für den Böschungssicherheitsfaktor

---

### 5.1.4 Mineralogie und Petrologie

---

Die Charakterisierung der Mineralogie und Petrologie des Vorkommens beruht auf dem MgO-Gehalt der Gesteine. In Tabelle 9 sind die bedeutendsten ultramafischen Gesteine und ihre durchschnittlichen MgO-Gehalte aufgelistet.

Gestein	MgO-Gehalt [Gew.%]	Bewertung
Dunit , Harzburgit	~45	++
Lherzolit, Orthopyroxene	~40	+
Serpentinit (mit unbekanntem Protolith)	~35	+
Peridotit ohne nähere Klassifikation	~35	+
Wherlit	~30	±
Klinopyroxene, Px	~25	-
Amphibolit	~8	--
Grünschiefer	~5	--

Tabelle 13: MgO-Gehalte ultramafischer Gesteine

---

### 5.1.5 Wertstoffgehalt

---

Haditsch 1981 definierte Kriterien für ultramafische Gesteine für das Ruthner-Luwa-Mitterberg-Verfahren. Folgende Charakteristika sind wesentlich für den Prozess:

- $MgO/Fe_2O_3+Al_2O_3+MnO > 3:1$
- $CaO < 1,0$  Gewichtsprozent
- MgO-Gehalt  $> 38,0$  Gewichtsprozent
- Ni-Gehalt  $> 0,2$  Gewichtsprozent

Die Beurteilung hängt von den erfüllten Kriterien ab. Sind alle vier Kriterien erfüllt ist die Beurteilung „++“. Für jedes nicht erfüllte Kriterium erfolgt eine Abstufung in der Bewertungsskala.

---

### 5.1.6 Lagerstättenform und Wertstoffmenge

---

Für die Lagerstättenform und deren beinhaltende Wertstoffmenge erfolgt die Bewertung anhand der Gewissheit der geologischen Daten. Die Einteilung der geologischen Gewissheit wird mittels des United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources bestimmt. Das geologische Untersuchungsstadium gibt an, wie sicher die Daten sind. Die genaue Definition der geologischen Untersuchungsstadien zeigt Tabelle 7.

<b>geologisches Untersuchungsstadium</b>	<b>Bewertung</b>
Detailexploration	++
Übersichtsexploration	+
Prospektion	±
Reconnaissance	-

Tabelle 14: Bewertungsskala der geologischen Untersuchungsstadien

---

### 5.1.7 Zerkleinerungsverhalten

---

Die Bewertung des Zerkleinerungsverhaltens erfolgt mithilfe des Work Index von Bond. Für die Einteilung der Bewertungsskala wird das Gestein mit unterschiedlich schwer zerkleinerbaren Materialien verglichen.

<b>Work Index [kWh/t]</b>	<b>Material</b>	<b>Bewertung</b>
<10,07	Limonit	++
<12,27	Kalkstein	+
<13,45	Flussspat	±
<14,84	Granit	-
>14,84	Granit	--

Tabelle 15: Bewertungsskala für die Zerkleinerbarkeit

---

### 5.1.8 Lage und Infrastruktur

---

Für die Bewertung der Lage und Infrastruktur ist die Entfernung zur Autobahn und zur Schiene wichtig. Die minimale und maximale Distanz zur Verkehrsanbindung ist entscheidend für die Bewertung.

<b>Minimalentfernung [km]</b>	<b>Maximalentfernung [km]</b>	<b>Bewertung</b>
0	10	++
10	20	+
20	50	±
50	100	-
100	∞	--

Tabelle 16: Bewertungsskala der geologischen Untersuchungsstadien

---

## 5.2 Vorkommen Kraubath

---

Das ultramafische Vorkommen von Kraubath liegt in der Steiermark, einige Kilometer von Leoben entfernt. Die Mur teilt das Vorkommen in einen Ost- und einen Westteil. Im westlichen Teil, der Gulsen, liegt ein aufgelassener Tagebau. In diesem findet keine Gewinnung mehr statt, weil ihn eine Natura 2000 Zone umgibt und dadurch keine Erweiterung mehr möglich ist. Im östlichen Abschnitt liegen zwei Tagebaue, Preg und Lobming.

---

### 5.2.1 Geologie

---

Der Ultramafitkörper von Kraubath ist ein Ophiolith. Bei der Orogenese der Alpen wurde dieser in das oberostalpine Silvretta Seckauer Deckensystem eingebaut. In der Zeit des Miozän befand er sich im Störungssystem der Mur-Mürzfurche. (Thalhammer et al. 2010, S. 138)

Trendanalysen von Petersen-Kraus 1978 ergaben, dass das Vorkommen einen überprägten elliptisch-konzentrischen Aufbau hat, dieser entstand durch postgenetische Tektonik und Serpentinisierung. Die Studie zeigt auf, dass ein Teil des Vorkommens abscherte und nördlich der ausbeißenden Gebiete in der Tiefe vorliegt. (Haditsch 1979, S. 12)

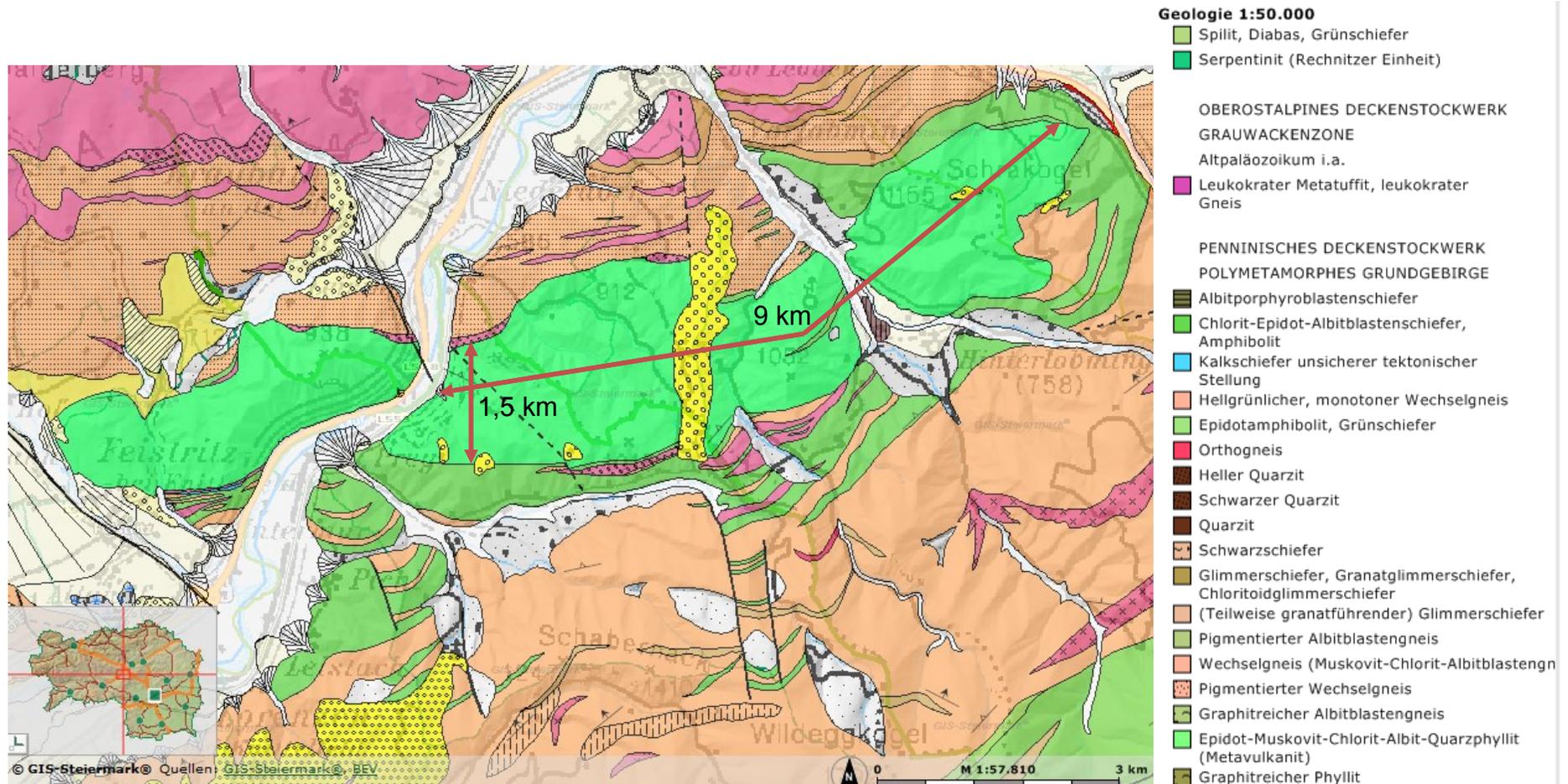


Abbildung 19: Geologische Karte des Kraubather Ultramafit-Komplexes (GIS-Steiermark 2015)

---

## 5.2.2 Bergbauliche Aktivitäten

---

Im 18. Jahrhundert bis Mitte des 19. Jahrhunderts wurde in Kraubath bereits Magnesit für die Hochöfen von Vordernberg gewonnen. Er fand Verwendung für feuerfeste Ziegel. Das österreichische Monopol der Magnesitgewinnung endete Anfang des 20. Jahrhunderts. Die Gesamtfördermenge von Rohmagnesit betrug in Kraubath 300.000 t. (Thalhammer et al. 2010, S. 153)

Im 19. Jahrhundert bauten die Bergmänner für die Farbenherstellung und für die Gerbereiindustrie Chromit in Kraubath ab. Für die Entdeckung des Minerals Chromit war der Fund von hochrangiger Bedeutung. In Kraubath konnten zum ersten Mal Chrom und Chromverbindungen in größeren Mengen hergestellt werden. Bis zum Ende des Gewinnungsbetriebes schürften die Kumpel 5.000 t Chromit. (Thalhammer et al. 2010, S. 153)

Mitte des 19. Jahrhunderts startete der Abbau von Serpentin. Dieser fand Verwendung als Gestellstein der Hochöfen. Ab den frühen 1980er-Jahren nutzt man den Serpentin aus dem Tagebau in Lobming für den Magnifin-Prozess in der Breitenau. Mit diesem Verfahren können Produkte wie Magnesiumoxid, Magnesiumhydroxid, Kaliumsilikat und Silica hergestellt werden. Seit 2006 liegt die jährliche Produktion bei 20.000 t Magnesiumhydroxid. (Thalhammer et al. 2010, S. 153)

Seit circa 200 Jahre baut die Firma Hartsteinwerke Pronat-Preg GmbH Dunite, Peridotite und Bronzite ab. Einsatzgebiete für diese Hartgesteine sind der Straßen-, Beton-, Wasser- und Eisenbahnbau. (Thalhammer et al. 2010, S. 154)

---

## 5.2.3 Bergtechnische Parameter des Vorkommens

---

### 5.2.3.1 Hydrologie

Es handelt sich um ein homogenes Vorkommen, in welchem keine wasserführenden Schichten bekannt sind. Durch Risse und Spalten kann meteorisches Wasser in den Serpentinitt eindringen und dadurch sind wasserführende Schichten nicht ausschließbar. Daraus folgt, dass in den Abbaubereichen hydrologische Untersuchungen durchzuführen sind.

Die Mur teilt die Lagerstätte in zwei Teile. Wenn unter dem Niveau der Mur abgebaut wird, kann es zu Wasserzufluss im Abbaubereich kommen. Entsprechende Untersuchungen sind fortlaufend durchzuführen.

Bewertung: vom Fluss geteilt; **keine bekannten** wasserführenden Schichten

**Bewertung: +**

### 5.2.3.2 Mineralogie und Petrologie

Der Ultramafitkörper von Kraubath besteht überwiegend aus Duniten und Harzburgiten. Bronzite treten in Lagen und Gängen, mit Mächtigkeiten von Zentimetern bis Dezimetern, und im Nordteil in linsenförmigen Stöcken auf. In Einschaltungen befinden sich geringmächtige Amphibolite und störungsbedingt Gneise und Phyllonite. Chromite sind charakteristisch für den Nordteil und kommen in den verschiedensten textuellen Variationen vor. Kryptokristalliner Magnesit ist in Kluffüllungen, Gängen oder kleinen Schollen an der Basis oder im Hangenden des Vorkommens eingelagert. (Puhl 2000, S. 41 f)

Chromit liegt feinkörnig zerstreut vor. Es gibt auch Ansammlungen mit hohen Konzentrationen, welche schnurartige, zeilenförmige oder linsige Formen aufweisen. Nickel ist gleichmäßig in Sulfiden verteilt oder im Olivinkristallgitter eingebaut. (Haditsch 1979, S. 15)

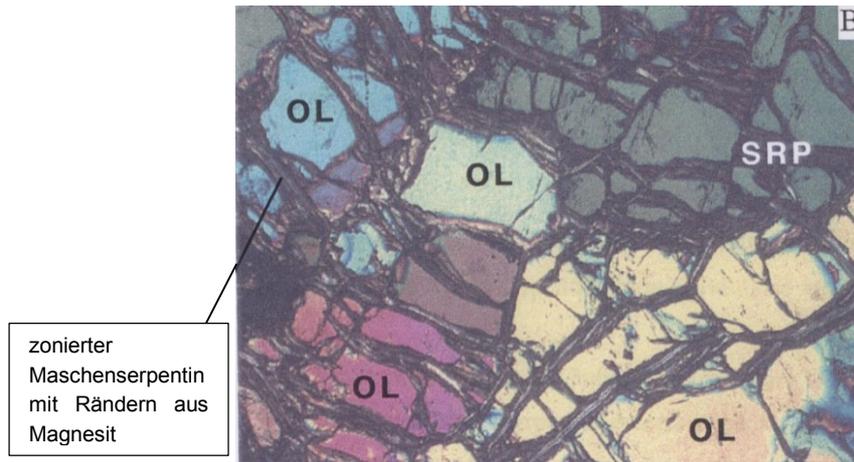


Abbildung 20: Reliktischer Mantelolivin in einem Dunit aus Kraubath. Die Maschenserpentine bilden eine Mosaikstruktur (Bildbreite 2 mm) (Puhl 2000, S. 87)

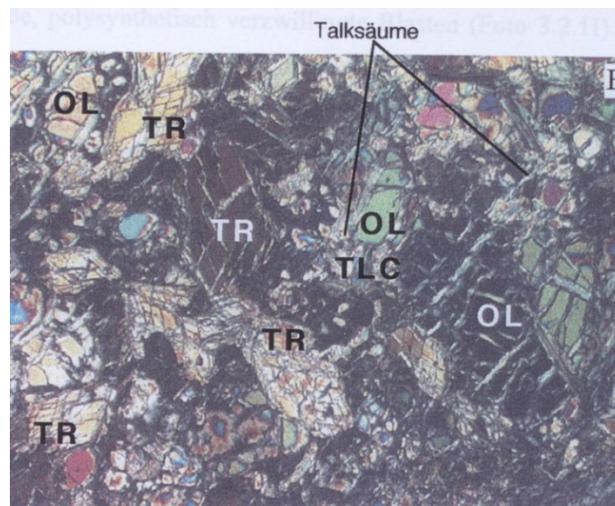


Abbildung 21: Harzburgit von Kraubath mit Tremolit, Olivin und Talk (Bildbreite 2 mm) (Puhl 2000, S. 91)

Die großen Olivin-Kristalle sind in Abbildung 20 ~450 µm und in Abbildung 21 ~150 µm.

Bewertung: überwiegend Dunite und Harzburgite; Chromit liegt körnig verteilt vor

**Beurteilung: ++**

### 5.2.3.3 Wertstoffgehalt

Die Wertstoffgehalte des Ultramafits von Kraubath zeigt Tabelle 17. Die CaO-Gehalte sind für Harzburgite und Dunite sehr verarmt und haben weniger als einen Gewichtsprozent. Die Cr-Gehalte für den Harzburgit liegen zwischen 2.000 bis 3.800 ppm, die Ni-Gehalte bewegen sich zwischen 1.550 bis 2.200 ppm. Für Dunite reichen die Gehalte von Chrom bis zu 5.100 ppm und von Nickel bis zu 2.000 ppm. (Thalhammer et al. 2010, S. 142)

Probe	Harzburgit [Gew.%]	Harzburgit [Gew.%]	Dunit [Gew.%]	Dunit [Gew.%]
SiO <sub>2</sub>	39,16	41,75	43,92	37,05
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	0,26	0,28	0,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,12	9,17	9,06	9,22
MnO	0,11	0,13	0,13	0,13
MgO	40,62	44,81	40,98	43,50
CaO	0,53	0,07	0,23	0,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,01	0,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	0,43	0,39	0,32
LOI	10,08	3,60	5,51	9,55
Total	99,48	100,22	100,55	100,14
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Cr	2566	2929	2686	2216
Ni	1880	2030	1626	1951
Co	120	122	119	114
Cu	131	1	11	13
Zn	49	50	50	33
V	20,7	13,2	21,2	9,4

Tabelle 17: Haupt- und selektierte Spurenelementzusammensetzung repräsentativer, ultramafischer Gesteine des Ultramafits von Kraubath (Thalhammer et al. 2010, S. 141)

Die Verteilung der Gehalte für MgO und Ni zeigt Abbildung 22. Die Gehalte wurden über eine oberflächliche Beprobung eruiert. Fünf Regionen des Vorkommens zeigen hohes Potenzial. Die Verteilung von Cr veranschaulicht Abbildung 23. Die ausgewählten Gebiete haben Cr-Gehalte zwischen 0,20 - 0,40 Gewichtsprozent. 20 Prozent der Proben weisen Gehalte über 0,40 Gewichtsprozent auf.

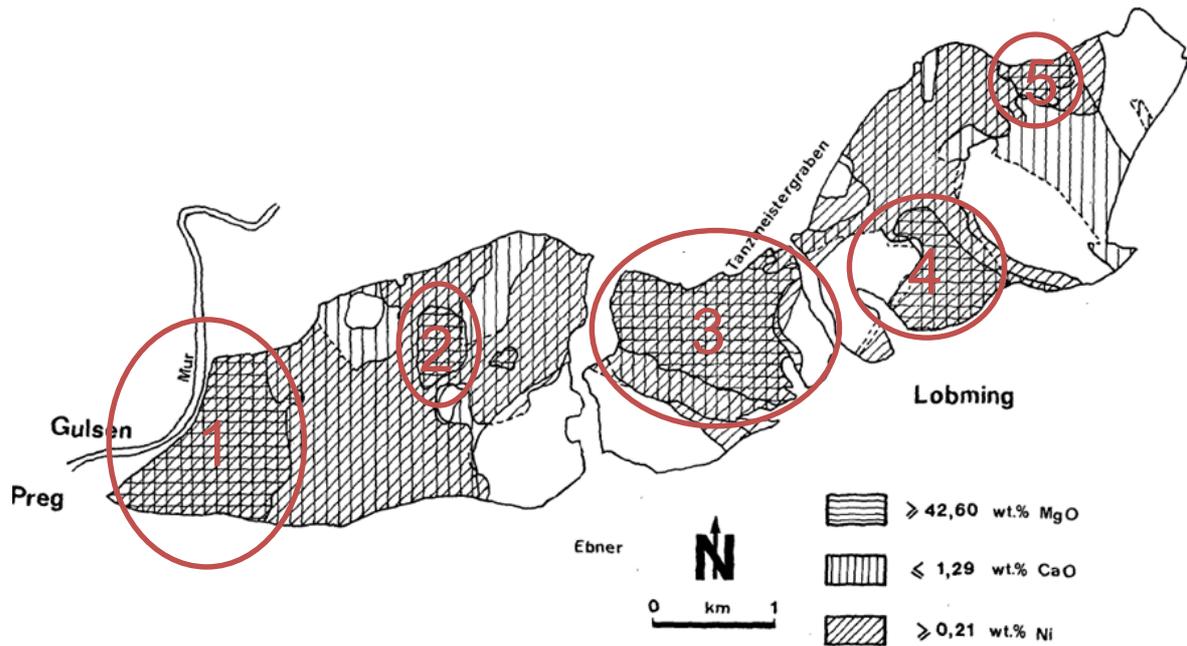


Abbildung 22: Verteilung der MgO und Ni Gehalte im Vorkommen Kraubath im Teil östlich der Mur (Haditsch 1981, S. 255)

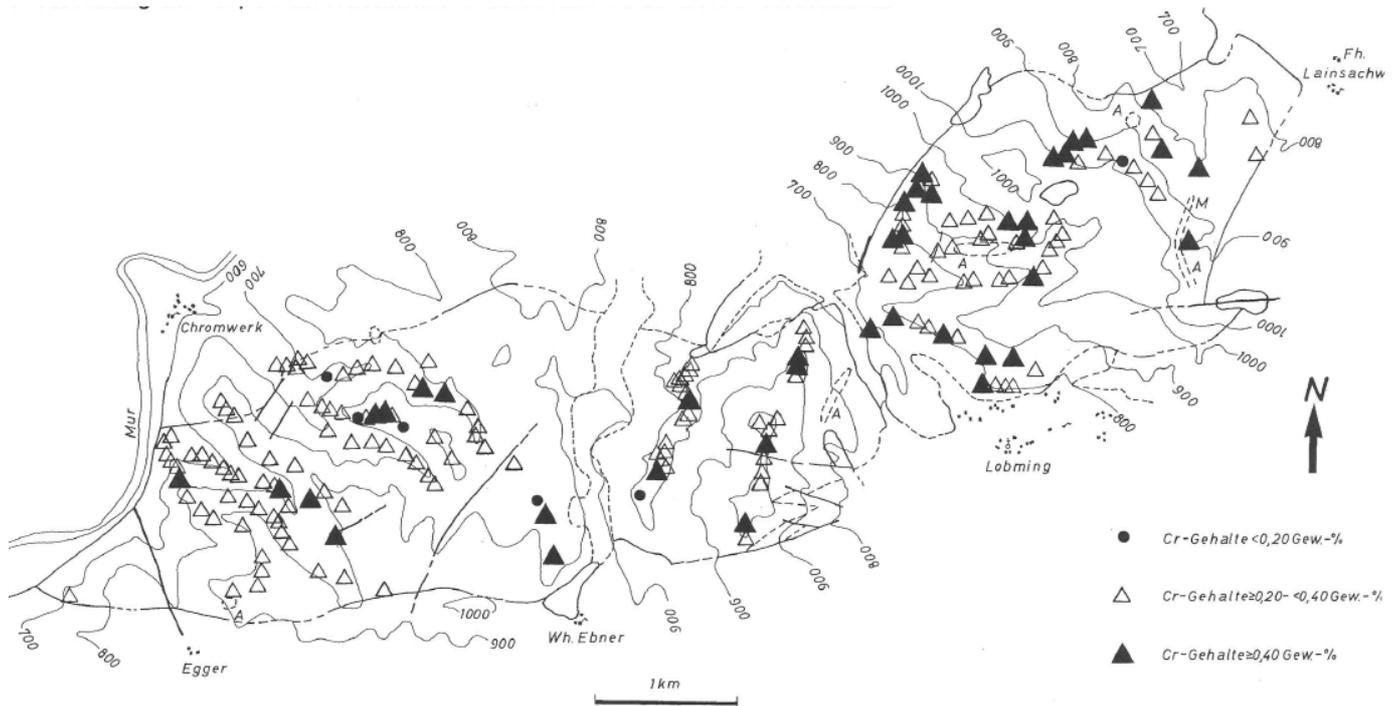


Abbildung 23: Verteilung der Cr Gehalte im Vorkommen Kraubath im Teil östlich der Mur (Petersen-Kraus 1978, S. 31)

Bewertung: Regionen mit hohen Gehalten,  $\text{MgO} \geq 42,60$  Gewichtsprozent und  $\text{Ni} \geq 0,21$  Gewichtsprozent; Cr-Gehalte zwischen 0,2-0,4 Gewichtsprozent;  $\text{CaO} \leq 1,29$  Gewichtsprozent

**Beurteilung: +**

### 5.2.3.4 Lagerstättenform und Wertstoffmenge

Das Ultramafit Vorkommen von Kraubath hat eine langgestreckte linsenförmige Form mit maximal 14 km x 2 km Ausdehnung. Es liegt ein Aufschluss von 400 Höhenmetern vor. Der linsenförmige Körper ist nach Ostnordost ausgerichtet und wird von der Mur geteilt. Es handelt sich um ein massives Vorkommen. (Haditsch 1979, S. 11)

Die Bohrungen der Firma vöestalpine AG aus dem Jahr 1979 zeigen, dass mindestens bis in eine Teufe von 90 m Serpentinit vorliegt. (Montanuniversität Leoben 2015)

Für eine Lagerstättenbetrachtung (siehe Abbildung 19) wird der westliche Teil ausgeschieden, weil dieser von einem Natura 2000 Schutzgebiet umgeben ist. Der östliche Abschnitt des Vorkommens erstreckt sich über 9 km, mit einer Breite von durchschnittlich 1,5 km. Das Lagerstättenvolumen errechnet sich aus den fünf Regionen, welche in 5.2.3.3 definiert sind. Mittels Höhengschnitten erfolgt die Berechnung der Überlagerung über dem Niveau der Mur. Dieser Schritt erfolgt, um den Bergbau nicht unter den Grundwasserspiegel abzuteufen.

<b>Bereich</b>	<b>Länge [km]</b>	<b>Breite [km]</b>	<b>Niveau über der Mur [m]</b>	<b>Volumen [km<sup>3</sup>]</b>
1	1,5	1,10	160	0,264
2	0,8	0,50	230	0,092
3	1,6	0,80	260	0,333
4	1,0	0,75	360	0,270
5	0,5	0,25	180	0,023
				0,982

Tabelle 18: Nutzbares Lagerstättenvolumen Kraubath

Mithilfe des nutzbaren Lagerstättenvolumens von 0,982 km<sup>3</sup> erfolgt die Berechnung der Wertstoffmengen. Diese werden ohne Abbau- und Aufbereitungsverluste mit Mittelwerten der Gehalte aus Tabelle 17 kalkuliert. Die Tabelle 19 beinhaltet die Daten für die Berechnung.

	Einheit	Wert
Volumen	km <sup>3</sup>	0,982
Dichte	t/m <sup>3</sup>	2,70
MgO-Gehalt	Gewichtsprozent	42,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Gehalt	Gewichtsprozent	8,89
Ni-Gehalt	Gewichtsprozent	0,185
Cr-Gehalt	Gewichtsprozent	0,26

Tabelle 19: Berechnungswerte für die Wertstoffmengen vom Vorkommen Kraubath

	Wertstoffmenge [Mt]
MgO	1126,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	235,71
Ni	4,91
Cr	6,89

Tabelle 20: Wertstoffmengen des Kraubather Vorkommens

Bewertung: große Wertstoffmengen für Tagebau vorhanden; die geologische Untersuchung befindet sich im Stadium Übersichtsexploration

**Beurteilung: +**

### 5.2.3.5 Gebirgseigenschaften und Böschungsstabilität

Das Vorkommen ist aufgrund seiner verhältnismäßig einheitlichen petrographischen Entstehung relativ homogen. Die Grenzzonen weisen im nördlichen Abschnitt eine klarere Schieferung auf. In einigen Bereichen gibt es Trennflächen. (Haditsch et al. 1981, S. 28)

Proben aus dem östlichen Bereich der Lagerstätte (Lobming) ergaben, dass die einaxiale Druckfestigkeit bei 116,15 MPa und das E-modul bei 25,67 GPa liegen. Für die Gebirgsklassifikationssysteme wurden folgende Werte ermittelt: Barton's Q-Systems 1,44, Bieniawski's RMR 42,5 und dem Geological Strength Index 50. Dies sind konservative Werte, da bei der Berechnung bei Annahmen immer

durchschnittliche bis schlechte Werte ausgewählt wurden. (Montanuniversität Leoben 2015)

Die Gebirgsfestigkeit definiert Abbildung 24 zwischen 3,48 MPa und 30,20 MPa ausgehend von den Werten der Gebirgsklassifikation.

System	Minimalwert [MPa]	Maximalwert [MPa]	Durchschnitt [MPa] $\sigma_D$	Reibungswinkel [°] $\varphi$	Kohäsion [MPa] c
Barton Q-System	5,81	30,20	18,01	35	4,68
Bieniawski RMR	3,48	24,39	13,94	35	3,62
Hoek-Brown GSI	4,65	29,04	16,85	48	1,01

Tabelle 21: Gebirgsfestigkeitsparameter für das Vorkommen Kraubath

Der Reibungswinkel vom Q-System wurde wie im RMR-System mit 35° angenommen. Der RMR-Reibungswinkel ist für jede Klasse vorgegeben. Die Berechnung der Kohäsion für das Q-System und das RMR-System erfolgte mittels  $c = \frac{\sigma_D \cdot (1 - \sin \varphi)}{2 \cdot \cos \varphi}$ . Die unterschiedlichen Werte für den Reibungswinkel entstehen, weil für das Q-System und RMR-System auf einen Tabellenwert von Bieniawski zurückgegriffen wird, für das Hoek-Brown-System berechnet diesen eine Software (Rocscience).

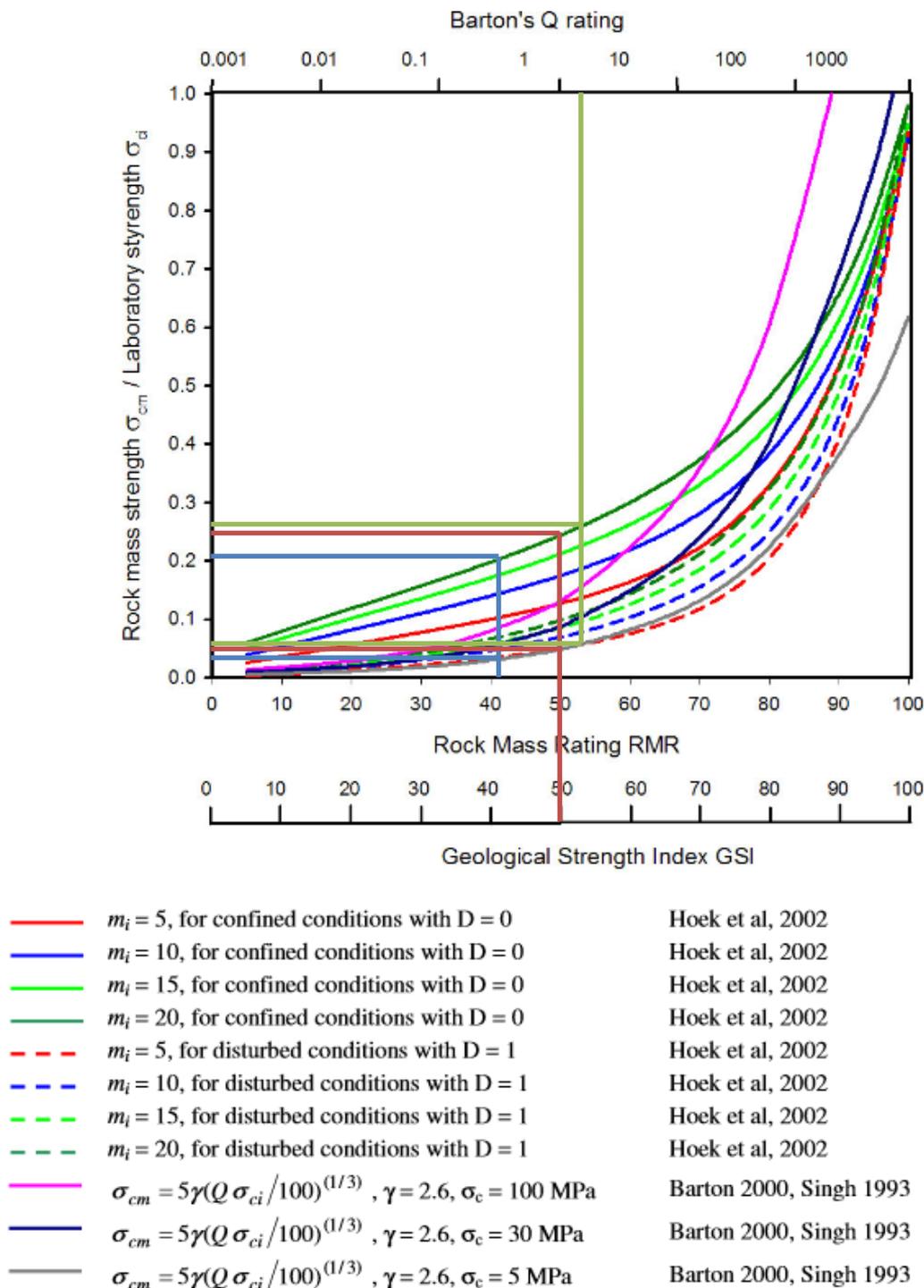


Abbildung 24: Gebirgsfestigkeit (Hoek 2004)

Die Berechnung der Böschungstabilität erfolgt mit folgenden Parametern: Höhe, Generalneigung und Wasserverhältnisse der Böschung sowie Kohäsion, Reibungswinkel und Dichte des Gesteins. Mittels des Circular Failure Charts von Hoek wird der Böschungssicherheitsfaktor ermittelt. Tabelle 22 definiert die unbestimmten Parameter für die Berechnung.

<b>Generalneigung</b>	50°
<b>Wasserverhältnis</b>	Stufe 2 (keine wasserführenden Schichten nur meteorisches Wasser)
<b>Wichte <math>\gamma</math></b>	2700*9,81 kg/(m <sup>2</sup> s <sup>2</sup> )

Tabelle 22: Berechnungswerte für die Böschungstabilität des Kraubather Vorkommens

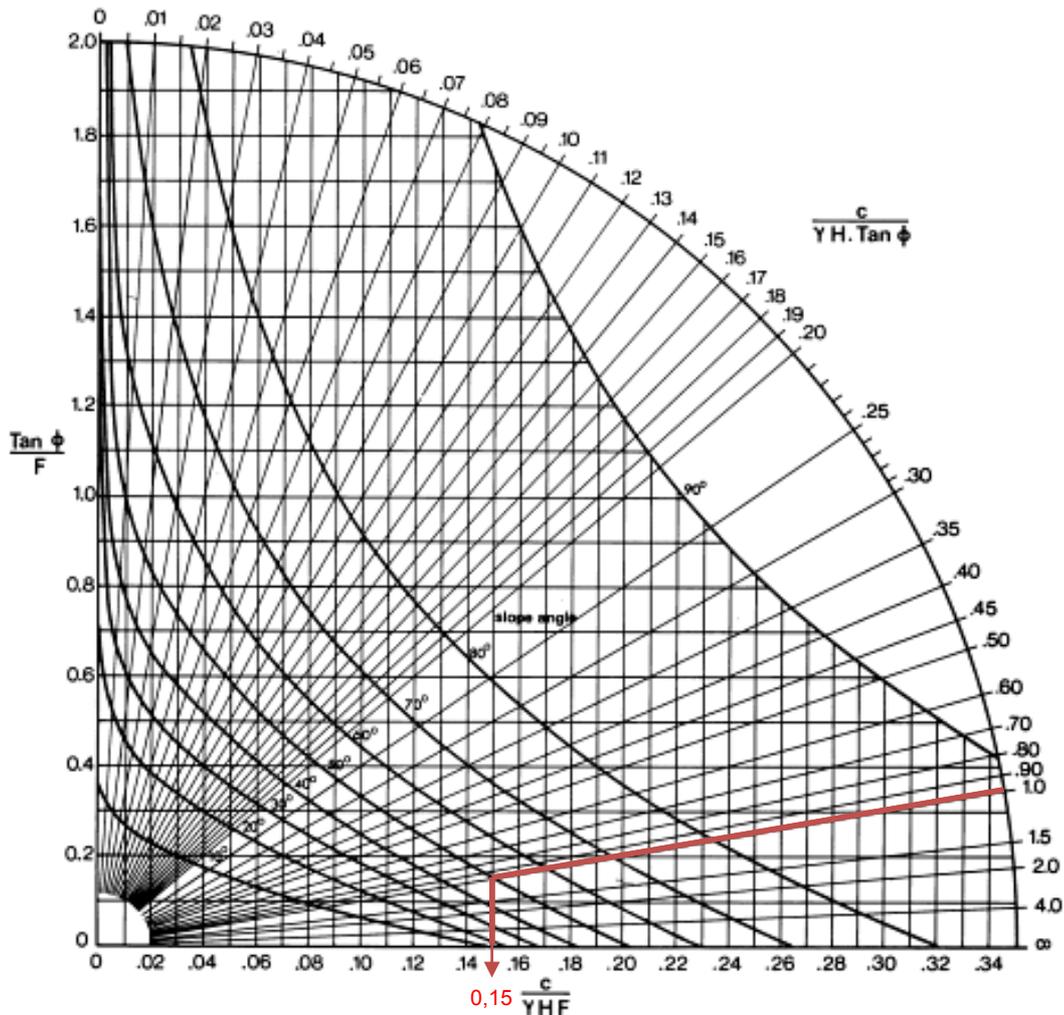


Abbildung 25: Hoek Circular Failure Chart Number 2 (Wyllie et al. 2004, S. 184)

Die Berechnung des Böschungssicherheitsfaktors erfolgt mittels des Circular Failure Charts von Hoek. Grundlage sind die Werte aus Tabelle 21 und Tabelle 22.

Die Formel  $\frac{c}{\gamma \cdot H \cdot \tan \phi}$  dient zur Berechnung des Eingangswertes für den Chart. Mithilfe

des Charts wird der Wert für  $\frac{c}{\gamma \cdot H \cdot F}$  ermittelt. Dieser Wert und die Formel  $F =$

$\frac{c}{\gamma \cdot H \cdot \text{Wert}}$  ergeben den Böschungssicherheitsfaktor F.

Bereich	Böschungshöhe [m]	$\frac{c}{\gamma * H * \tan\varphi}$			Wert von $\frac{c}{\gamma * H * F}$			$F = \frac{c}{\gamma * H * \text{Wert}}$		
		Barton	Bieniawski	Hoek-Brown	Barton	Bieniawski	Hoek-Brown	Barton	Bieniawski	Hoek-Brown
1	160	1,58	1,22	0,21	0,165	0,155	0,085	<b>6,69</b>	<b>5,51</b>	<b>2,80</b>
2	230	1,10	0,85	0,15	0,154	0,144	0,070	<b>5,00</b>	<b>4,13</b>	<b>2,36</b>
3	260	0,97	0,75	0,13	0,150	0,140	0,065	<b>4,53</b>	<b>3,75</b>	<b>2,25</b>
4	360	0,70	0,54	0,10	0,138	0,126	0,055	<b>3,56</b>	<b>3,01</b>	<b>1,93</b>
5	180	1,40	1,08	0,19	0,162	0,153	0,080	<b>6,06</b>	<b>4,96</b>	<b>2,64</b>

Tabelle 23: Bestimmung des Böschungssicherheitsfaktors mittels Hoek's Circular Failure Chart

Im Bereich vier ist der Böschungssicherheitsfaktor für das Klassifikationssystem nach Hoek-Brown zu niedrig. Er sollte mindestens über 2 liegen. Die Standsicherheit ist für Böschungshöhen kleiner 300 m gewährleistet, weil der Sicherheitsfaktor größer 2,3 ist.

Bewertung: Böschungssicherheitsfaktor bis 300 m bei 50° Generalneigung größer 2,3

**Beurteilung: +**

### 5.2.3.6 Aufbereitbarkeit

Ein wichtiger Schritt für die hydrometallurgische Aufbereitung ist die Zerkleinerung des Erzes. Die Zerkleinerungsarbeit für die zwei angeführten hydrometallurgischen Verfahren aus Kapitel 1.2.2, Ruthner-Luwa-Mitterberg- und Magnifin-Verfahren, unterscheiden sich wesentlich. Das RLM-Verfahren (1.2.2.1) benötigt eine Zerkleinerung des Serpentinits auf 44 µm. Der Magnifin-Prozess (1.2.2.2) begnügt sich mit einer Zerkleinerung auf unter 1 mm. Dies resultiert in einem viel geringeren Energieaufwand für die Zerkleinerung beim Magnifin-Verfahren.

Die Abschätzung des Energiebedarfes bei der Zerkleinerung erfolgt mithilfe des Work Index von Bond. Unterschiedliche Werte für den Work Index von Serpentin zeigt Tabelle 24.

Work Index von Bond [kWh/t]	Quelle
≥11,5	(Steiner 1983, S. 3)
10,7	(O'Connor et al. 2001, S. 8)
13,0	(CSMA Consultants 2000, S. 113)

Tabelle 24: Unterschiedliche Work Indexe für Serpentin

Für die Bewertung des Work Index von Serpentin wird der Mittelwert aus Tabelle 24 herangezogen, 11,73 kWh/t.

Es erfolgt keine Bewertung der unterschiedlichen hydrometallurgischen Prozesse, da diese nicht Thema dieser Masterarbeit sind.

Bewertung: Hartgestein; Work Index 11,73 kWh/t

**Beurteilung: +**

### 5.2.3.7 Lage und Infrastruktur

Das Vorkommen liegt verkehrstechnisch vorteilhaft. Der Verlauf von Bahnstrecke und Autobahn führt durch das Rohstoffvorkommen entlang der Mur. Im Bergbau in Preg ist eine Bahnbeladestation vorhanden. Der Bahn- und Autobahnknotenpunkt St. Michael liegt nur 20 km entfernt und ermöglicht einen raschen An- und Abtransport.

Weiterführende Untersuchungen wie die Zugänglichkeit der abzubauenen Gebiete sind durchzuführen. Die Transportsysteme müssen überprüft werden, ob sie den rechtlichen Bestimmungen entsprechen, zum Beispiel dem Immissionsschutz- und Emissionsschutzgesetz.

Bewertung: Von jedem Punkt im Vorkommen beträgt die maximale Entfernung des Eisenbahnnetzes und der Autobahn 5 km.

**Beurteilung: ++**

---

#### **5.2.4 Bergbauberechtigung**

---

Im Vorkommen Kraubath besitzen zwei Firmen eine Bergbauberechtigung. Für Preg und Gulsen die Firma PRONAT Steinbruch Preg GmbH und für Lobming die Firma Magnolithe Gesellschaft m.b.H. (BMWFJ 2014, S. 193)

Für das Vorkommen ist in weiterführenden Studien zu klären, welche Grundbesitzverhältnisse vorliegen und ob mögliche andere Rechte wie Schurfberechtigungen vergeben sind.

## 5.2.5 Bewertung der bergtechnischen Charakterisierung

Bergtechnische Charakterisierung	Standort	Lagerstättenbonität		Lagerstättenqualität			Lagerstättenquantität
		Gebirgseigenschaften und Böschungsstabilität	Hydrologie	Wertstoffgehalt	Aufbereitbarkeit	Mineralogie und Petrologie	
Vorkommen Kraubath	Lage & Infrastruktur	Gebirgseigenschaften und Böschungsstabilität	Hydrologie	Wertstoffgehalt	Aufbereitbarkeit	Mineralogie und Petrologie	Lagerstättenform und Wertstoffmenge
Quantifiziert	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Verweis (Kapitel)	5.2.3.7	5.2.3.5	5.2.3.1	5.2.3.3	5.2.3.6	5.2.3.2	5.2.3.4
Bewertung <sup>14</sup>	++	+	+	+	+	++	+

Tabelle 25: Bewertung der bergtechnischen Parameter des Vorkommens in Kraubath

Fazit: Die Analyse ergibt, dass alle erfassten Daten gut bis sehr gut sind. Es spricht dafür, dass weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden.

<sup>14</sup> Beurteilungsschema: „abbauförderndes Charakteristikum“ ++ zu „abbauhinderndes Charakteristikum“ --

## 5.3 Vorkommen Bernstein

### 5.3.1 Geologie

Das penninische Fenster der Rechnitz Serie ist ein Ophiolith. Er entstammt dem mitteljurasischen Ozean. Der Ophiolith setzt sich zusammen aus Basalten, Gabbros, Plagiograniten und Ultramafiten. (Koller 2009, S. 121)

Der Serpentinittkomplex des Bernsteinfensters ist vollständig serpentiniert. Der Mineralbestand besteht aus Chrysolit und Lizardit. Im Allgemeinen entstanden die vorliegenden Serpentinite aus Harzburgit. Im südlichen Teil steigt der Antigoritgehalt. Er zeigt eine Metamorphose an. Feinkörnige Chloritlinsen, sogenannte Edelserpentine, sind häufig. (Koller 2009, S. 121)

Die Grenzen des Vorkommens sind wegen der hohen Mobilität des Serpentinits von tektonischer Natur. An den Randzonen sind immer wieder kleine und kleinste Scherlinge eingeschaltet. (Pahr 2000, S. 43 f)

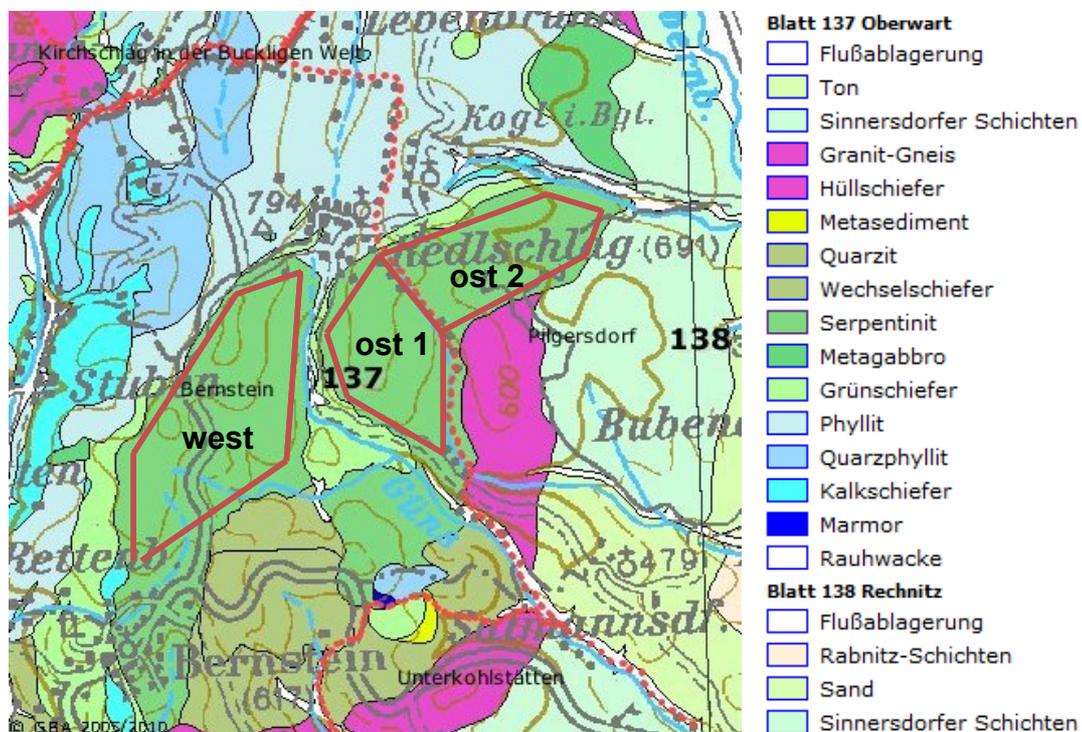


Abbildung 26: Lagerstätte Bernstein (Herrmann und Pahr 1982)

---

### 5.3.2 Bergbauliche Aktivitäten

---

Die Auffindung des Edelserpentin durch Johann W. Lenk geht auf das Jahr 1801 zurück. Dieser gab ihm den Namen Serpentin-Agath (Serpentin-Achat). Um 1860 begann die Verarbeitung zu Schmuck und für Kunstgegenstände. Zur Bedarfsdeckung fing der gezielte Abbau von Edelserpentin im Tagebau an. Die Ausbeute der Förderung war mit 1-1,5 m<sup>3</sup> pro 1.000 m<sup>3</sup> gewonnenem Gestein gering. Seit 150 Jahren wird Edelserpentin kunsthandwerklich verarbeitet. Aus politischen und ökonomischen Gründen kam es zu Unterbrechungen bei der Produktion. Trotzdem blieb das Handwerk bis heute erhalten. Zurzeit werden Gebrauchsgegenstände, Schmuck- und Galanteriewaren, Nippesfiguren und Bildhauerarbeiten aus dem Edelserpentin gefertigt. (Huber und Huber 2009, S. 126–129)

---

### 5.3.3 Bergtechnische Parameter des Vorkommens

---

#### 5.3.3.1 Hydrologie

Im Vorkommen sind keine wasserführenden Schichten bekannt. Der Fluss Güns teilt das Vorkommen mittig in einen Ost- und einen Westteil und hat mehrere kleine Zuflüsse im Lagerstättengebiet. Meteorisches Wasser dringt über Klüfte und Spalten ein, darum können wasserführende Schichten nicht ausgeschlossen werden. Bei Abbaugebieten unter dem Niveau der Güns könnte es zu Wasserzufluss in den Abbaubereich kommen. Aufgrund dessen sind fortlaufend hydrologische Untersuchungen für die Abbaugebiete durchzuführen.

Bewertung: Güns Ursprung; **keine bekannten** wasserführenden Schichten

**Beurteilung: +**

#### 5.3.3.2 Mineralogie und Petrologie

Das Bernsteiner Vorkommen ist vollständig serpentiniert und der Mineralbestand besteht zum Wesentlichen aus Chrysotil und Lizardit. In südlicher Richtung nimmt der Antigoritgehalt zu. Grundsätzlich sind die Serpentine ehemalige Harzburgite. (Koller 2009, S. 121)

Auftretende Erze sind Chromit, Magnetit und Pyrit. (Koller 1985, S. 87)

**Als Kluffüllung treten häufig Asbestfasern auf.** (Fleischanderl 2006, S. 56)

Die Asbestfasern in den Kluffüllungen **können eine positive Umweltverträglichkeitsprüfung erschweren.** Es ist daher abzuklären, ob diese in allen Abbaubereichen auftreten.

Bewertung: ehemalige Harzburgite

**Beurteilung: +**

### 5.3.3.3 Wertstoffgehalt

Die Werte der Tabelle 26 beschreiben die Zusammensetzung der Proben des Ultramafits von Bernstein. Die Harzburgite weisen MgO-Gehalte von 35,67 bis 37,85 Gewichtsprozent auf, die Cr-Gehalte bewegen sich von 2.467 bis 3.331 ppm und die Ni-Gehalte befinden sich zwischen 1.838 und 2.846 ppm. Der CaO Wert ist sehr verarmt und meist kleiner als ein Gewichtsprozent. Es gibt keine Angaben dazu wo die Proben gezogen wurden und wie sich die Gehalte über die Lagerstätte verteilen.

	Harzburgit [Gew.%]	Harzburgit [Gew.%]	Harzburgit [Gew.%]	Harzburgit [Gew.%]	Lherzolith [Gew.%]	Lherzolith [Gew.%]
SiO <sub>2</sub>	41,76	37,02	38,34	37,52	34,34	42,97
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,10	0,07	0,00	0,23	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,15	1,50	1,58	1,16	16,03	3,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,61	12,34	9,94	8,98	0,79	5,67
FeO	2,18	0,00	0,00	0,00	4,30	2,29
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,11	0,11	0,09	0,00	0,15	0,09
MgO	37,56	35,67	36,75	37,85	31,39	32,58
CaO	0,15	0,10	0,10	1,03	1,73	1,21
K <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
H <sub>2</sub> O	11,94	12,03	12,62	12,79	11,31	10,41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36	0,43	0,44	0,67	0,22	0,33
NiO	0,25	0,32	0,30	0,24	0,09	0,24
Sum %	101,14	99,65	100,25	100,24	100,58	99,14
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
V	34,00	0,00	39,00	0,00	67,00	50,00
Cr	2467,00	0,00	3331,00	0,00	1484,00	2483,00
Co	96,00	0,00	112,00	0,00	35,00	63,00
Ni	1838,00	0,00	2846,00	0,00	590,00	1763,00
Cu	25,00	0,00	28,00	0,00	8,00	8,00
Zn	43,00	0,00	37,00	0,00	60,00	48,00

Tabelle 26: Ultramafite von Bernstein (Daten von Koller 1985, S. 124)

Bewertung: MgO-Gehalt 35,30 Gewichtsprozent; Ni-Gehalt 0,17 Gewichtsprozent; Cr-Gehalt 0,24 Gewichtsprozent; CaO-Gehalt 0,72 Gewichtsprozent; MgO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO = 2,47

**Beurteilung: -**

### 5.3.3.4 Lagerstättenform und Wertstoffmenge

Das linsenförmige ultramafische Vorkommen beißt großflächig an der Oberfläche aus. Es beginnt in Bernstein, breitet sich in nord-östliche Richtung aus und zieht an Redlschlag vorbei. Die größte Längserstreckung beträgt 5 km, in der Breite 2 km, nach Pahr 1977 besitzt es eine Mächtigkeit von bis zu 260 m.

Die Güns teilt das Vorkommen in einen westlichen und einen östlichen Teil. Um den Tagebau nicht unter den Grundwasserspiegel abzusenken, wird nur über dem Niveau der Güns abgebaut. Abbildung 26 zeigt die Einteilung der Abbaubereiche. Der westliche Bereich ist 2,4 km x 1 km und liegt im Durchschnitt 120 m über dem Fluss. Der östliche „Abschnitt 1“ ist 2 km x 1 km und liegt im Mittelwert 100 m über der Güns. Im östlichen „Abschnitt 2“ fällt das Niveau in Richtung Nordost ab, das gesamte Gebiet liegt unter dem Niveau der Güns. Grundwasserspiegelmessungen sind erforderlich für eine Abschätzung des nutzbaren Tagebauvolumens. Aufgrund der fehlenden Messungen, wird dieses Volumen nicht in die Kubatur miteinberechnet. Das Vorkommen hat ein nutzbares Lagerstättenvolumen von 0,5 km<sup>3</sup>.

Die Wertstoffmengen errechnen sich aus dem nutzbaren Lagerstättenvolumen (0,5 km<sup>3</sup>) und den Durchschnittsgehalten aus Tabelle 26. Tabelle 27 beinhaltet die Daten für die Kalkulation der Wertstoffmengen.

	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>
<b>Volumen</b>	km <sup>3</sup>	0,50
<b>Dichte</b>	t/m <sup>3</sup>	2,70
<b>MgO-Gehalt</b>	Gewichtsprozent	35,30
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt</b>	Gewichtsprozent	7,22
<b>FeO</b>	Gewichtsprozent	1,46
<b>Ni-Gehalt</b>	Gewichtsprozent	0,17
<b>Cr-Gehalt</b>	Gewichtsprozent	0,24

Tabelle 27: Berechnungswerte für Wertstoffmengen des Vorkommens von Bernstein

	Menge [Mt]
<b>MgO</b>	476,55
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	97,47
<b>FeO</b>	19,71
<b>Ni</b>	2,30
<b>Cr</b>	3,24

Tabelle 28: Wertstoffmengen des Bernsteiner Vorkommens

Der geologische Untersuchungsstand des Vorkommens befindet sich aufgrund der geringen Anzahl an genommenen Proben und der somit hohen Ungenauigkeit im Untersuchungsstadium der Prospektion.

Bewertung: massiv linsenförmig; großflächig ausbeißend; nutzbares Lagerstättenvolumen von 0,5 km<sup>3</sup>; im geologischen Untersuchungsstadium der Prospektion

**Beurteilung: ±**

### 5.3.3.5 Gebirgseigenschaften und Böschungsstabilität

Das Gestein ist massig bis weitständig geklüftet. (Fleischanderl 2006, S. 56)

Mit dem Gestein wurden Versuche wie der Los-Angeles-Wert und der Proctorversuch durchgeführt. Der Los-Angeles Wert gibt die Widerstandsfestigkeit einer Gesteinskörnung an, der Proctorversuch steht für die Verdichtbarkeit dieser. Es liegen keine anderen Versuchswerte vor, weil in den Tagebauen aus Serpentin Gesteinskörnungen produziert werden. Die Versuche erfolgen, um die Wertigkeit des abgebauten Materials garantieren zu können. Für die Bestimmung der Gebirgsfestigkeit müsste das Gestein von Bernstein auf seine einaxiale Druckfestigkeit untersucht werden. Aufgrund der fehlenden Untersuchungswerte vom Vorkommen Bernstein wird auf die Gebirgsfestigkeitswerte von Kraubath zurückgegriffen 5.2.3.5.

Die Berechnung der Böschungstabilität erfolgt mit einer konservativen Generalneigung von 45° um einen hohen Sicherheitsfaktor gewährleisten zu können.

<b>Generalneigung</b>	45°
<b>Wasserverhältnis</b>	Stufe 2 (keine wasserführenden Schichten nur meteorisches Wasser)
<b>Wichte <math>\gamma</math></b>	2700*9,81 kg/(m <sup>2</sup> s <sup>2</sup> )
<b>Böschungshöhe</b>	Maximaler Höhenunterschied von Güns Niveau ist 230 m
<b>Barton Q-System</b>	Reibungswinkel $\varphi = 35^\circ$ Kohäsion $c = 4,68$ MPa
<b>Bieniawski RMR</b>	Reibungswinkel $\varphi = 35^\circ$ Kohäsion $c = 3,62$ MPa
<b>Hoek-Brown GSI</b>	Reibungswinkel $\varphi = 48^\circ$ Kohäsion $c = 1,01$ MPa

Tabelle 29: Berechnungswerte für die Böschungstabilität vom Vorkommen Kraubath

Die Ermittlung des Böschungstabilitätsfaktors erfolgt mithilfe des Circular Failure Chart von Hoek wie in Kapitel 5.2.3.5 beschrieben.

<b>System</b>	$\frac{c}{\gamma * H * \tan\varphi}$	Wert von $\frac{c}{\gamma * H * F}$	$F = \frac{c}{\gamma * H * \text{Wert}}$
<b>Barton Q-System</b>	1,10	0,145	<b>5,30</b>
<b>Bieniawski RMR</b>	0,85	0,138	<b>4,31</b>
<b>Hoek-Brown GSI</b>	0,15	0,065	<b>2,55</b>

Tabelle 30: Bestimmung des Böschungssicherheitsfaktors mittels Hoek's Circular Failure Chart

Aufgrund der konservativ gewählten Generalneigung sind die Böschungssicherheitsfaktoren hoch und die Standsicherheit gewährleistet.

Bewertung: Böschung standsicher bis 230 m mit Generalneigung von 45° mit einem Böschungssicherheitsfaktor größer 2,55

**Beurteilung: ++**

### **5.3.3.6 Aufbereitbarkeit**

Kapitel 5.2.3.6 analysiert die Aufbereitbarkeit von Serpentin.

### **5.3.3.7 Lage und Infrastruktur**

Das Vorkommen ist an zwei Landesstraßen angebunden, die L104 und die L346. Um einen Teil des Vorkommens führen die Bundesstraßen B50 und B55. Die A2 ist vom Vorkommen maximal 15 km entfernt. Der Abtransport großer Mengen an Material ist mit LKWs schwer durchführbar. Der nächstliegende Bahnhof befindet sich in Oberwart und ist vom Vorkommen Bernstein 15 km entfernt. Eine Anbindung an das Eisenbahnnetz ist für hohe Fördermengen vorteilhaft.

Weiterführende Untersuchungen wie die Zugänglichkeit der abzubauenen Gebiete sind durchzuführen. Die Transportsysteme müssen überprüft werden, ob sie den rechtlichen Bestimmungen entsprechen, wie zum Beispiel dem Immissionsschutz- und dem Emissionsschutzgesetz.

Bewertung: Die maximale Entfernung des Eisenbahnnetzes und der Autobahn beträgt 15 km

**Beurteilung: +**

---

### **5.3.4 Bergbauberechtigung**

---

Eine Bergbauberechtigung für das Ultramafitvorkommen in Bernstein besitzt die Firma Gerhard Böhm Steinbruch-Erdbewegungen. (BMWFJ 2014, S. 193)

Für das Vorkommen ist in weiterführenden Studien zu klären, welche Grundbesitzverhältnisse vorliegen und ob mögliche andere Rechte wie Schurfberechtigungen vergeben sind.

### 5.3.5 Bewertung der bergtechnischen Charakterisierung

Bergtechnische Charakterisierung	Standort	Lagerstättenbonität		Lagerstättenqualität			Lagerstättenquantität
		Gebirgseigenschaften u. Böschungstabilität	Hydrologie	Wertstoffgehalt	Aufbereitbarkeit	Mineralogie und Petrologie	
Vorkommen Bernstein	Lage & Infrastruktur	Gebirgseigenschaften u. Böschungstabilität	Hydrologie	Wertstoffgehalt	Aufbereitbarkeit	Mineralogie und Petrologie	Lagerstättenform u. Wertstoffmenge
Quantifiziert	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Verweis (Kapitel)	5.3.3.7	5.3.3.5	5.3.3.1	5.3.3.3	5.3.3.6	5.3.3.2	5.3.3.4
Bewertung <sup>15</sup>	+	++	+	-	+	+	±

Tabelle 31: Bewertung der bergtechnischen Parameter des Vorkommens von Bernstein

Fazit: Die bergtechnische Charakterisierung ergibt, dass die Bewertung des Kapitels „Wertstoffgehalt“ problematisch ist. Die schlechte Beurteilung begründet sich darauf, da die vorliegenden Wertstoffgehalte unpassend für das Ruthner-Luwa-Mitterberg-Verfahren sind. Die unpassenden Wertstoffgehalte sprechen gegen das Weiterführen von Studien, außerdem sind die Asbestfasern in den Kluffüllungen des Gesteins ungünstig für die Umweltverträglichkeitsprüfung.

<sup>15</sup> Beurteilungsschema: „abbauförderndes Charakteristikum“ ++ zu „abbauhinderndes Charakteristikum“ --

---

## 5.4 Gegenüberstellung der Vorkommen Kraubath und Bernstein

---

Die beiden Vorkommen sind hinsichtlich des Mineralbestandes ähnlich. Das Kraubather Vorkommen besteht hauptsächlich aus Harzburgiten und Duniten, während in Bernstein die Serpentine ehemalige Harzburgite sind. Größere Unterschiede treten jedoch bei den Wertstoffgehalten auf, diese entsprechen nicht der Definition von Haditsch 1979 für das Ruthner-Luwa-Mitterberg-Verfahren, da sie durchgehend zu niedrig sind.

Hervorzuheben ist aber der Größenunterschied der Vorkommen. Kraubath verfügt über das doppelte nutzbare Volumen von 0,982 km<sup>3</sup>, Bernstein hingegen nur über 0,5 km<sup>3</sup>.

Bei der Infrastrukturbewertung schneidet Bernstein wegen der maximalen Entfernung von 15 km für das Eisenbahnnetz und der Autobahnanbindung schlechter ab. In Kraubath sind es maximal 5 km.

Für den Bereich Mineralogie und Petrologie ist das Vorhandensein von Asbestfasern im Vorkommen Bernstein hervorzuheben, welches sich auf die Umweltverträglichkeitsprüfung negativ auswirken könnte.

Die Böschungstabilität kann für die anfallenden Böschungshöhen gewährleistet werden. Das Vorkommen Bernstein ist bis zu einer Böschungshöhe von 230 m und einer Generalneigung von 45° standsicher, im Vorkommen Kraubath ist diese bis 300 m mit einer Generalneigung von 50° gesichert.

Die Bewertung der Aufbereitbarkeit, welche sich mit der Zerkleinerung des Serpentinits beschäftigt, wurde allgemein für beide Lagerstätten durchgeführt. Der Work Index nach Bond ist für Serpentin mit 11,73 kWh/t festgelegt.

Kraubath geht in dieser Gegenüberstellung als Favorit hervor.

	<b>Bernstein</b>	<b>Kraubath</b>
<b>Rohstoffgehalte</b>	[Gew. %]	[Gew. %]
<b>SiO<sub>2</sub></b>	38,66	40,50
<b>MgO</b>	35,30	42,50
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8,68	8,89
<b>Ni</b>	0,17	0,18
<b>Cr</b>	0,24	0,26
	[km <sup>3</sup> ]	[km <sup>3</sup> ]
<b>Nutzbares Volumen</b>	0,50	0,98
<b>Transportinfrastruktur</b>	[km]	[km]
<b>Minimalentfernung</b>	10,00	0,00
<b>Maximalentfernung</b>	15,00	5,00
	[m]	[m]
	[°]	[°]
<b>Böschung</b>	230,00	300,00
<b>(standsicher)</b>	45,00	50,00

Tabelle 32: Wertstoffgehalte

---

## **6 Mine to Mill Concept – Bergbauplanungskonzepte ausgewählter Vorkommen ultramafischer Gesteine in Österreich**

---

Um einen Bergbau oder eine Erweiterung eines bestehenden Bergbaus zu planen müssen mehrere Phasen durchlaufen werden. Dies veranschaulicht der Bergbauprojektplan.

Anschließend werden die möglichen Abbaumethoden aufgezeigt und eine Eingrenzung dieser durchgeführt.

Der nächste Schritt ist die Kostenanalyse für die Bergbaue mit unterschiedlichen Förderszenarien.

Abschließend erfolgt die Erhebung der rechtlichen Rahmenbedingungen.

---

### **6.1 Bergbauprojektplan**

---

Ein Bergbauprojekt unterteilt sich grob in 3 Phasen, eine Vorproduktionsphase (Vorbereitungsphase), eine Produktionsphase (Betriebsphase) und eine Nachproduktionsphase. Bergbauprojekte unterscheiden sich grundlegend von anderen Projekten durch die geologischen Risiken. Abbildung 27 zeigt ausführlich den Ablauf eines Bergbauprojektes. Es wird in allen Phasen verdeutlicht, wie sich die geologischen und wirtschaftlichen Risiken, die Investitionen und Finanzerfordernisse, die Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit, die Kapitalbindungen und die Stände der Kapitalrückflüsse verhalten.

Für die Projekte ist es sehr wichtig, in der Vorbereitungsphase die bergbaulichen Risiken einzuschränken. Eine bergtechnische-bergwirtschaftliche Bewertung ist das essentielle Mittel dafür. Die Auswahl der Abbaumethode beeinflusst die Wirtschaftlichkeit des Projektes maßgeblich. Ist die Entscheidung auf die günstigste Art der Lagerstättengewinnung gefallen, heißt das nicht, dass die Bewertungen nun abgeschlossen sind. Auch in der Betriebsphase und der

Nachproduktionsphase sind bergtechnische-bergwirtschaftliche Untersuchungen und Bewertungen nötig. (Slaby und Wilke 2005, S. 107 ff)

Slaby und Wilke 2005 gliedern die Untersuchungen und Entscheidungen für das gesamte Projekt in folgende Stadien:

- *„Opportunitätsstudie/Viabilitystudie,*
- *Prefeasibility Studie,*
- *Feasibility Studie*
- *Studie/Dokumentation zur Projektentscheidung,*
- *Dokumentation für rechtliche Genehmigungs- und Betriebsplanverfahren,*
- *Studien/Dokumentationen für Investitionen und Maßnahmen der Erhaltung, des Ersatzes und der Anpassung der Kapazität in der Betriebsphase,*
- *Studien/Dokumentationen für Abschlussbetriebsplan und Maßnahmen der Nachsorge und Sanierung nach Einstellung des Betriebes.“* (Slaby und Wilke 2005)

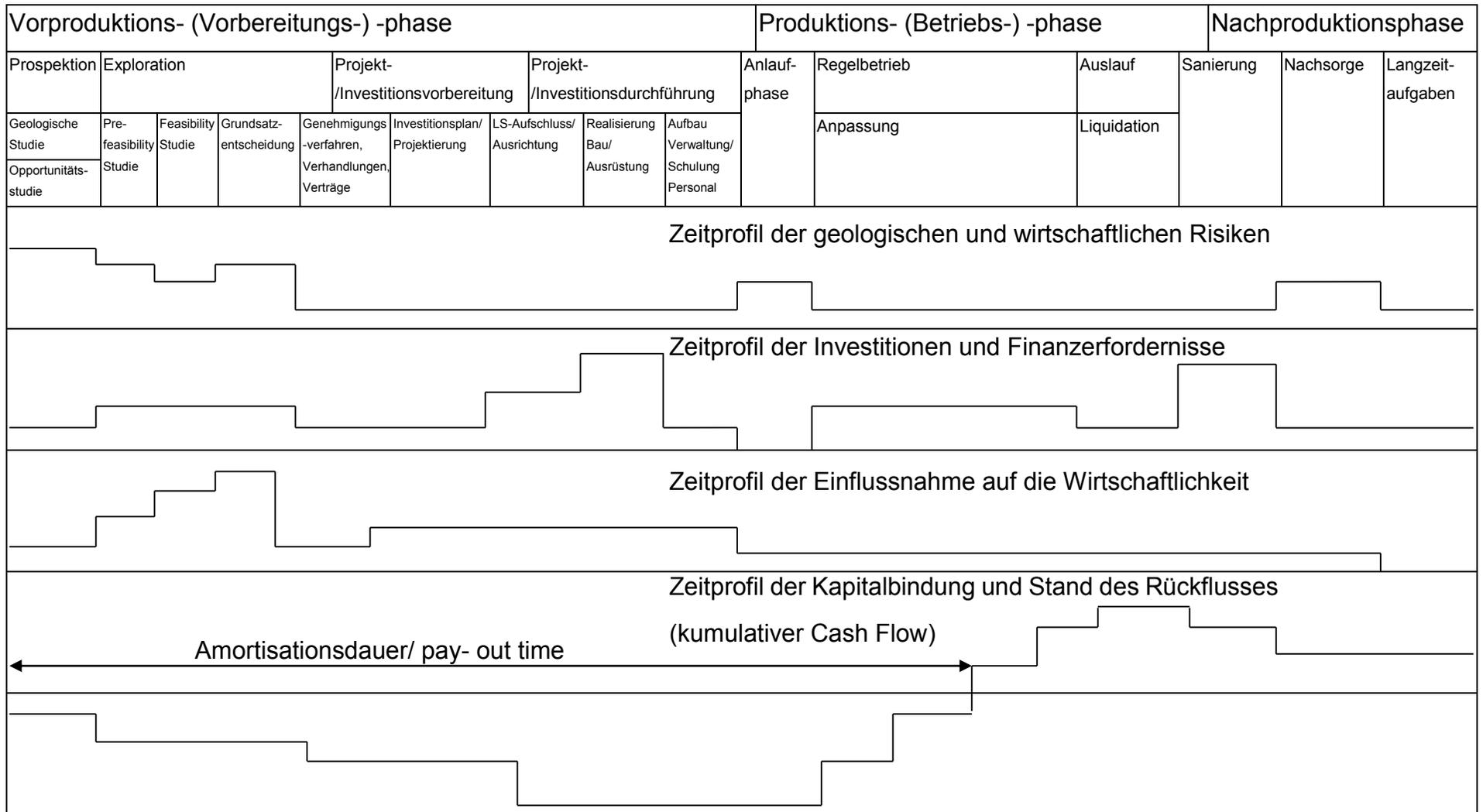


Abbildung 27: Projektphase für Bergbauprojekte und Aktivitätsschwerpunkte (Zeitachse nicht maßstäblich) (Slaby und Wilke 2005, S. 108)

Das Ziel einer Opportunitätsstudie ist es, eine eingeschränkte Bewertung der Bauwürdigkeit der Vorkommensvorräte durchzuführen. Dies kann über Mindestanforderungen für Rohstoffgehalte, die Teufe und Mächtigkeit des Vorkommens und Kosten erfolgen. Es werden erste Konzepte für die Nutzung durchdacht und diese bergtechnisch und wirtschaftlich beurteilt. Wegen der fehlenden Daten können noch keine konkreten Aussagen über Vorratsmengen, Methoden der Gewinnung oder Aufbereitung getroffen werden. (Slaby und Wilke 2005, S. 110 f)

Die Prefeasibility Studie folgt auf die Opportunitätsstudie und bewertet die daraus vorliegenden Konzepte. Es wird für jede der Varianten genauer auf die Bauwürdigkeitsabgrenzung der Vorräte sowie auf deren Gewinnung eingegangen. Ziel der Studie ist eine erste Abgrenzung der bauwürdigen Vorräte und eine Ausschließung technischer Konzepte hinsichtlich geologischer, umweltrelevanter, gesetzlicher, technischer und wirtschaftlicher Parameter. Als Grundlage für die Bewertung dient die Übersichtsexploration. Es sollen in der Studie folgende Punkte behandelt werden (Slaby und Wilke 2005, S. 111 f):

- Lage und Infrastruktur
- Qualität, Quantität und Bonität des Vorkommens (inklusive Bauwürdigkeitseinteilung)
- Rechtliche Aspekte (Besitzverhältnisse, öffentliches Interesse, rechtliche Genehmigungsfähigkeit)
- Marktanalyse in Bezug auf Preise und Nachfrage
- Umweltverträglichkeitsprüfung und Auswirkungen auf Regionalplanung
- Technische Verfahren für Gewinnung, Aufbereitung und Entsorgung
- Grobe wirtschaftliche Beurteilung von dem Vorkommen und der Konzeptvarianten
- Projektfinanzierung
- Risikobeurteilung bezogen auf Geologie, Technik und Wirtschaftlichkeit

Durch den frühen geologischen Untersuchungsstand kommt bei einer Prefeasibility Studie eine Fehleinschätzung von 25% der Vorratsmengen zustande. (Slaby und Wilke 2005, S. 112)

Der nächste Schritt in einem Projekt ist die Feasibility Studie. Diese soll eine technische und wirtschaftliche Grundlage schaffen, mit welcher eine Entscheidungsfindung möglich ist, ob das Projekt durchführbar ist und mit welchem Konzept. Als Datengrundlage dient die Detailexploration. Es kommt zu einer weiteren Vertiefung der zu bearbeitenden Punkte der Prefeasibility Studie. Das Finden der technisch und wirtschaftlich besten Alternative erfordert eine genaue Betrachtung der ausbringbaren Vorräte, der optimalen Betriebsgröße und Fördermengen, der Investitionen, des Energieverbrauches, des Personalaufwandes, der Erlöse und der Kosten. Für die Umsetzung des Projektes bedarf es eines Finanzierungskonzeptes. Alle diese Faktoren sollen eine maximale Fehlertoleranz von  $\pm 10$  Prozent aufweisen. (Slaby und Wilke 2005, S. 112)

Die Grundsatzentscheidung erfolgt durch eine vertiefte Untersuchung der in der Feasibility Studie ausgewählten Variante, welche mittels „der Dokumentation zur Projektentscheidung“ erfolgt. Diese beinhaltet den zeitlichen Ablauf der Projektierung, Verträge, Vereinbarungen und Angebote. Das Genehmigungsverfahren behandelt die technischen Ansprüche für den Schutz der Umwelt und die Effekte des Gewinnungsbetriebes auf die Region. (Slaby und Wilke 2005, S. 113)

Die bergtechnische und bergwirtschaftliche Beurteilung endet nicht mit dem Beginn der Betriebsphase. Sie kommt auch zum Einsatz bei der Beurteilung von Maßnahmen infolge des Abbaufortschrittes, von neuen geologischen Erkenntnissen und von neuen technischen Möglichkeiten für die Produktion. In der Nachproduktionsphase wird sie zur Findung einer wirtschaftlichen Auslaufphase und zur Bewertung der möglichen Nachnutzungsvarianten eingesetzt. (Slaby und Wilke 2005, S. 115)

---

## 6.2 Abbauverfahren

---

Um eine Auswahl des Abbauverfahrens durchzuführen, werden die möglichen bergmännischen Gewinnungsverfahren mineralischer Rohstoffe aufgezeigt:

- Tagebau
- untertägiger Bergbau
- Bohrlochbergbau
- submariner Bergbau oder Meeresbergbau

Im Tagebau erfolgt die Gewinnung eines Vorkommens durch das Erschließen von der Oberfläche aus. Dies ist erst möglich, nachdem der Abraum, welcher das Vorkommen überlagert, abgetragen ist.

Der untertägige Bergbau erschließt das Vorkommen mithilfe von Stollen oder Schächten. Durch diese findet die Förderung und der Material- und Personenverkehr für den Abbau statt.

Im Bohrlochbergbau werden meist Gase oder Flüssigkeiten gewonnen. Der Abbau von festen Wertstoffen ist möglich, indem diese in situ in einen anderen Aggregatzustand übergeführt werden. Im flüssigen oder gasförmigen Zustand ist eine Förderung durch das Bohrloch durchführbar.

Der Meeresbergbau gewinnt Rohstoffe, die sich infolge Sedimentation am Meeresboden akkumulierten.

Bei ultramafischen Vorkommen handelt es sich um Festgestein. Dies schließt Bohrlochbergbau und Meeresbergbau daher für die Gewinnung der Vorkommen aus. Der Tagebau und der untertägige Bergbau können zum Einsatz kommen.

---

## 6.2.1 Abgrenzung Tagebau – Untertagebau

---

Der Tagebau erfolgt an Vorkommen, welche oberflächennah oder ausbeißend sind. Je mächtiger die überlagernden Schichten, desto kostspieliger wird dieses Verfahren. Ohne die Abtragung des Abraums ist die Gewinnung des Wertminerals im Tagebau nicht möglich. Ab einer gewissen Teufe ist der teurere Untertagebau für den Abbau des Rohmaterials günstiger. Für jedes Vorkommen wird individuell entschieden, ob ein Tagebau, ein Untertagebau oder ein Tagebau mit anschließendem Untertagebau zum Einsatz kommt.

<b>Vor- und Nachteile eines Tagebaus</b>	
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Geringe Abbauverluste	Hoher Flächenbedarf
Hohe Produktivität	Emissionen (Lärm, Staub, Erschütterungen, ...)
Sicherere Arbeitsbedingungen	Große Abbaumengen (abhängig von der Überlagerung)
Geringere Komplexität	Folgekosten (Rekultivierung)
Im Allgemeinen sind die Kosten gegenüber dem Untertagebergbau dreimal kleiner (Shahriar et al. 2007, S. 4) (große Blockbruchbaue haben gleiche Kosten)	

Tabelle 33: Vor- und Nachteile eines Tagebaus

Weil die näher zu betrachtenden Lagerstätten, Bernstein und Kraubath, großflächig an der Oberfläche ausbeissen und die Untertageabbauverfahren meist teurer sind, wird auf diese nicht näher eingegangen.

---

## 6.2.2 Tagebau Abbauart

---

Bei Abbaufverfahren durch Tagebau erfolgt eine Unterscheidung zwischen Lockergestein und Festgestein. Ultramafische Lagerstätten sind Festgesteinslagerstätten. Die Gewinnung ist mit den nachfolgenden Methoden möglich.

### 6.2.2.1 Hügel- oder Hangabbau

Diese Abbauart kommt bei Lagerstätten zum Einsatz, welche langsamer als ihre Umgebung erodieren und diese daher überragen. Die Erhebung kann gänzlich abgebaut werden, es besteht auch die Möglichkeit eines Abbaus entlang der Bergflanke. (Goergen 1987, S. 7)

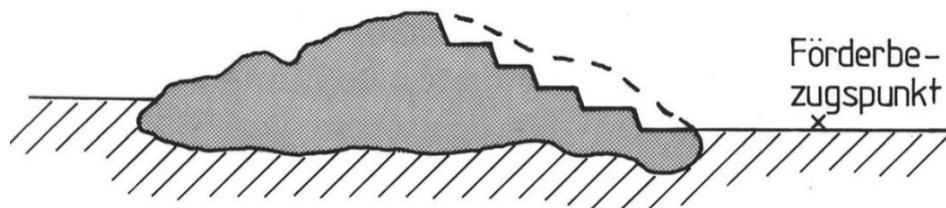


Abbildung 28: Hügelabbau (Goergen 1987, S. 7)

### 6.2.2.2 Abbau nach der Teufe

Der Abbau nach der Teufe findet bei massiven oder linsenförmigen Vorkommen Anwendung. Diese Abbauart folgt dem Rohstoff in die Teufe. Um dies zu bewerkstelligen muss die Tagebauöffnung stetig erweitert werden. (Goergen 1987, S. 7)

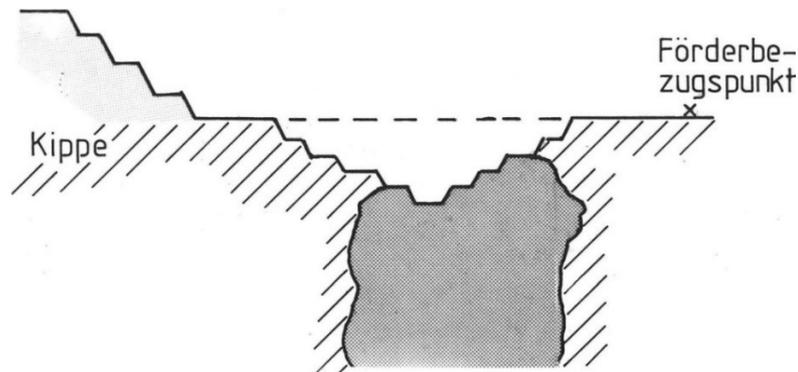


Abbildung 29: Abbau nach der Teufe (Goergen 1987, S. 7)

### 6.2.2.3 Flächenhafter Abbau

An flözartigen, söhligem oder gering einfallenden Vorkommen ist eine effiziente Art der Gewinnung der flächenhafte Abbau. Diese Methode zeichnet sich durch die kurzen Verkippungswege des Abraums aus. Die Verkippung erfolgt im laufenden Betrieb im Inneren des Bergbaus. (Goergen 1987, S. 8)

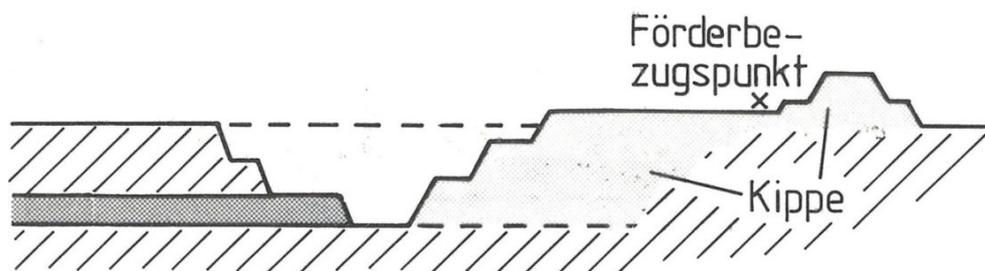


Abbildung 30: Flächenhafter Abbau (Goergen 1987, S. 8)

---

## 6.2.3 Tagebau Abbauverfahren

---

Die Abbauverfahren unterteilt Goergen 1987 in:

- Scheibenabbau
- Wandabbau
- Streifenabbau
- Pushbackabbau

### 6.2.3.1 Scheibenabbau

Der Scheibenabbau gewinnt das Vorkommen so konsequent wie möglich etagenweise herein. Der Abbau der Scheiben erfolgt mit geringer Mächtigkeit. Dieses Abbauverfahren ist sehr gut geeignet für den Abbau in die Tiefe. (Goergen 1987, S. 9)

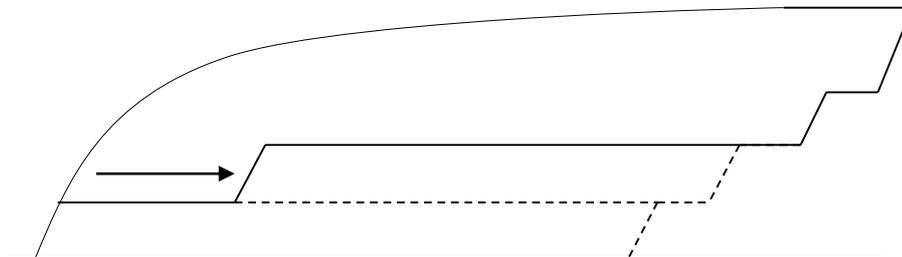


Abbildung 31: Scheibenabbau

### 6.2.3.2 Wandabbau

Der Wandabbau wird meist beim Hügel- oder Hangabbau angewendet. Für den Transport des Materials benützt dieses Verfahren überwiegend die Schwerkraft. Beim Wandabbauverfahren sind mehrere Sohlen gleichzeitig im Verhau. Das gesprengte Haufwerk, welches nicht gleich auf die Hauptfördersohle fällt, wird mittels Radlader hinabgeschoben. Dieses Abbauverfahren ist wegen der Gefährdung bei Ladearbeiten durch nachrutschendes Material und wegen der hohen Staubemission umstritten. (Goergen 1987, S. 9)

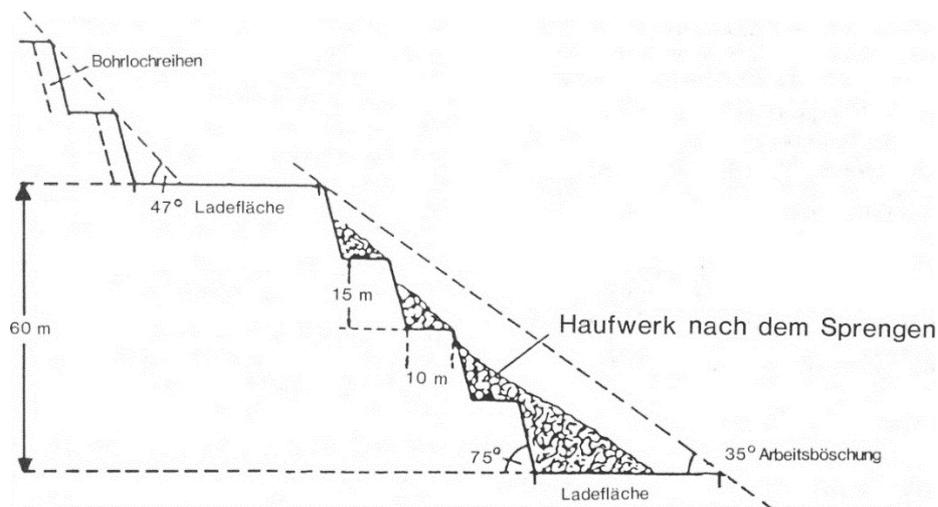


Abbildung 32: Wandabbau (Goergen 1987, S. 9)

### 6.2.3.3 Pushbackabbau

Der Pushbackabbau kommt beim Hügel- und Hangabbau zum Einsatz. In diesem Verfahren ist immer nur eine Sohle im Verhieb. Bei der Gewinnung wird nur ein Teil der geplanten Sohlentiefe hereingewonnen. Der Abbau eines Abschnittes beginnt beim geplanten Höchstpunkt und endet mit dem Verhieb der tiefsten Sohle. Ist ein Abschnitt abgebaut erfolgt der nächste Pushback bis die Lagerstätte vollkommen hereingewonnen ist.

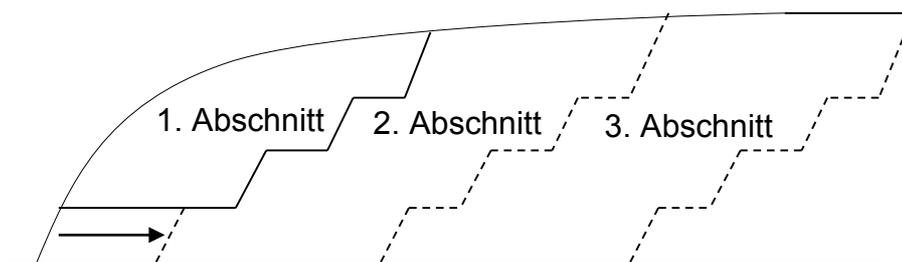


Abbildung 33: Pushbackabbau

### 6.2.3.4 Streifenabbau

Streifenabbau wird auf flözartigen, söhligen Vorkommen mit geringer Überlagerung betrieben. Dieses Verfahren ermöglicht den kürzesten Weg für die Abraumbeseitigung. (Goergen 1987, S. 9)

## 6.2.4 Tagebau Abbauführung

Die Abbauführung im Tagebau gliedert sich in Parallel-, Schwenk- und Weitungsabbau. Der Parallelabbau nützt eine regelmäßige Abbaufont, welche sich in eine Richtung bewegt. Auch beim Schwenkabbau wird eine regelmäßige Abbaufont eingesetzt, doch diese dreht sich um einen fixen Drehpunkt. Der Weitungsabbau ist die typische Form für den Festgesteinsabbau. Durch die flexiblen Betriebsmittel (Bagger und SLKW) kann an unterschiedlichen Punkten gefördert werden, dies ermöglicht einen selektiven Abbau. (Goergen 1987, S. 10)

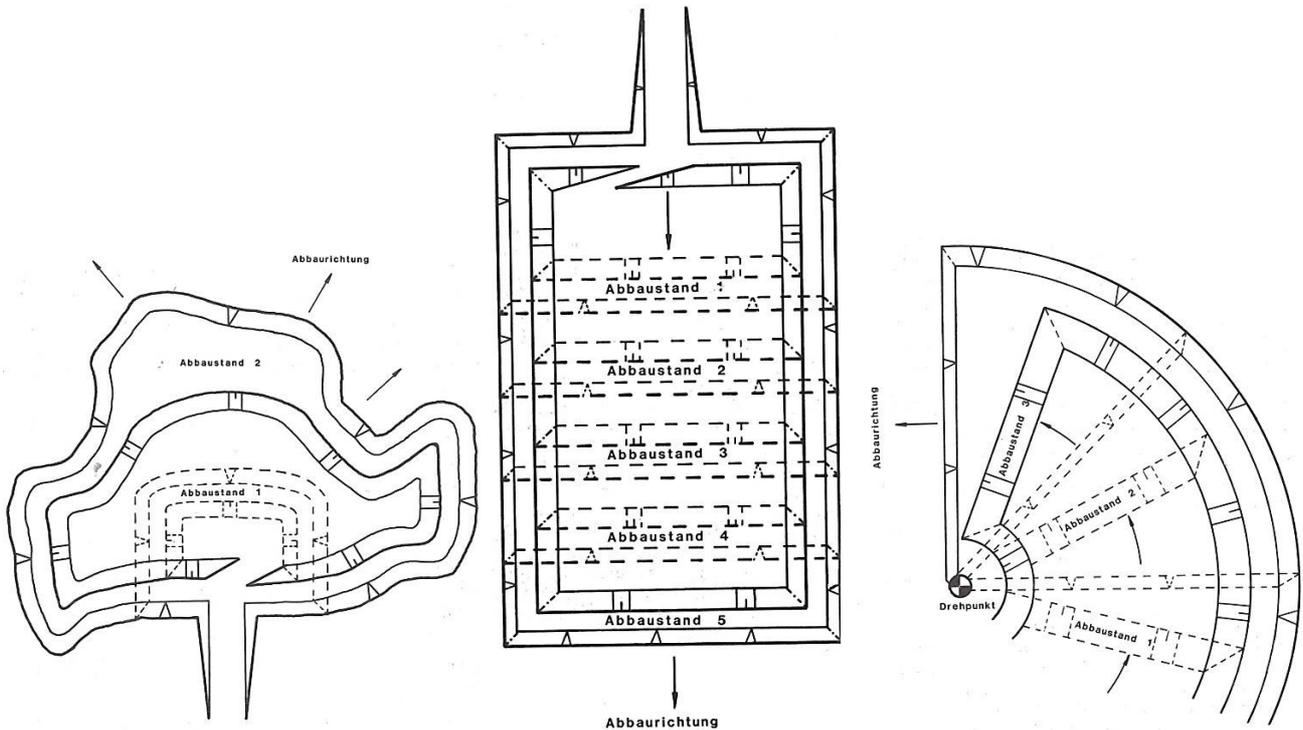


Abbildung 34: Weitungsabbau (links), Parallelabbau (Mitte), Schwenkabbau (rechts) (Goergen 1987, S. 10)

---

## 6.2.5 Schlussfolgerung Tagebausystem

---

Im Vorkommen Bernstein und Kraubath wird aufgrund der Art des Vorkommens der Hügel- oder Hangabbau angewandt. Dieser kann eingesetzt werden, weil die Vorkommen großflächig ausbeissen.

Als Abbaufverfahren sind der Scheibenabbau, der Pushbackabbau oder der Wandabbau einsetzbar.

Beim Scheibenabbau und beim Pushbackabbau ist immer nur eine Sohle im Verhieb, das ermöglicht einen effizienteren Einsatz der Geräte durch die Minimierung der Umstellungszeiten von Lade- und Bohrgeräten. Aufgrund des Verzichtes der Gravitationsförderung sind die Staubemissionen geringer.

Weiters gestattet der Scheibenabbau den Einsatz eines Sturzschathtes. Er kann auch als Kulissenabbau durchgeführt werden.

Vorteilhaft beim Pushbackabbau ist die gleichmäßigere Gewinnung von Lagerstätten mit ungleichmäßiger Verteilung der Gehalte durch den Aufschluss der gesamten Abbauhöhe.

Beide Verfahren haben bei gleicher Förderart ähnlich hohe Investitionskosten.

Der Wandabbau bewirkt niedrigere Investitions- und Energiekosten durch den Einsatz der Gravitationsförderung. Dies resultiert aus dem Verzicht von SLKWs. Nachteile der Gravitationsförderung sind die hohe Staubemission und das Sicherheitsrisiko der Arbeitskräfte im Ladebereich. Eine Genehmigung ist daher auszuschließen.

Der Scheibenabbau oder der Pushbackabbau ist zu empfehlen.

## 6.3 Prozessgliederung und Kostenanalyse des Bergbauendproduktes

Die Produktionsphase ist eine rekursive Tätigkeit, welche in vier Arbeitsschritte untergliedert ist: Geologische Untersuchung, Abbau, Logistik und Aufbereitung. Mithilfe dieser Schritte ist ein Bergbauendprodukt produzierbar. Bei dem Bergbauendprodukt handelt es sich um einen Serpentinit kleiner 100 µm.

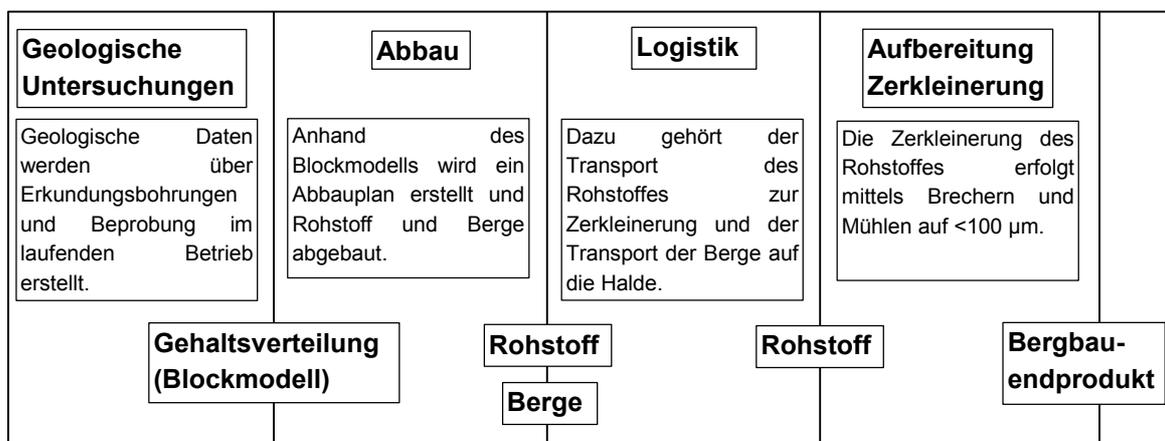


Abbildung 35: Die vier Arbeitsschritte der Produktionsphase mit ihren Übergabeschnittstellen

Das Aufzeigen der Kostenunterschiede für die vier Arbeitsschritte erfolgt anhand von drei Förderszenarien mit 500.000 t, 1.000.000 t und 5.000.000 t pro Jahr.

---

### 6.3.1 Exploration

---

Die Exploration erfolgt mittels Kernbohrungen. Für die Detailexploration wird ein Bohrlochrastrer mit 50 Metern gewählt. Diese Maßnahme gewährleistet, dass die Rohstoffvorräte sicher nachweisbar sind. (Rohstoffvorräte siehe 3.3.4) Die Kostenberechnung der Exploration beruht auf folgenden Werten:

<b>Bohrkosten</b>	180 €/m
<b>Analysekosten</b>	70 €/m
<b>Gesamtkosten</b>	250 €/m

Tabelle 34: Explorationskosten pro Meter

Die Kosten der Exploration von 0,037 €/t ergeben sich aus dem zugehörigen Volumen von 2500 m<sup>3</sup> je Bohrlochmeter, den Gesamtkosten je Bohrmeter und der Dichte des Gesteins.

Die Lagerstättenvorräte sollen anhand der drei Szenarien für die nächsten 10 Jahre nachgewiesen werden. Es ergeben sich Investitionskosten für die Exploration von:

	<b>Förderleistung</b>		
	500.000 [t/a]	1.000.000 [t/a]	5.000.000 [t/a]
<b>Explorationskosten</b>	185.000 €	370.000 €	1.852.000 €

Tabelle 35: Investitionskosten der drei Szenarien für die Exploration

---

### 6.3.2 Bergbau

---

Hervorzuheben ist, dass die Vorkommen der ausgewählten Ultramafite großflächig ausbeissen. Dadurch fallen nur geringe Mengen an Abraum an, die Gewinnung des Rohstoffes kann nach der Rodung und der Humusentfernung beginnen.

Im Allgemeinen gilt, dass die Lagerstättenvorräte einen konstanten Betrieb des Bergwerks über mindestens 20 Jahre ermöglichen. Je höher die Grundinvestition, desto länger soll die mögliche Betriebsdauer sein, um die Amortisation zu gewährleisten. Tabelle 36 zeigt die Lebensdauer bei maximaler Förderrate. (Wilke 1990, S. 87)

	<b>Lagerstättenvorräte</b> <b>[Mt]</b>	<b>Abbaurrate</b> <b>[t/a]</b>	<b>Lebensdauer</b> <b>[a]</b>
<b>Bernstein</b>	1.350	5.000.000	<b>270</b>
<b>Kraubath</b>	2.651	5.000.000	<b>530</b>

Tabelle 36: Lebensdauer der Vorkommen Kraubath und Bernstein

Die Vorräte ermöglichen eine sehr lange Betriebsdauer und könnten, falls der Bedarf besteht, mit größeren Fördermengen betrieben werden.

Bevor eine Erweiterung oder ein neuer Abbau die Gewinnung aufnimmt, benötigt dieser eine rechtliche Genehmigung. Für kleinere Betriebe genügt ein Materienrechtsverfahren, größere Bergwerke brauchen eine Umweltverträglichkeitsprüfung. Die Kosten für diese beginnen bei einer Million Euro.

Die Geräteauswahl erfolgt nach der Betriebsgröße. Dies bedeutet, dass bei Reparaturen (geplant oder ungeplant) der Betrieb aufrechterhalten werden kann. Die Geräte sollen an die Fördermenge angepasst und die Flotte miteinander abgestimmt sein. Für die Beladung der Fördergeräte sind mindestens drei Ladezyklen erforderlich, um diese nicht zu überladen oder zu beschädigen. Die folgenden Tabellen sind zur Veranschaulichung der Unterschiede zwischen den Szenarien gedacht.

Geräte	Förderleistung		
	500.000 [t/a]	1.000.000 [t/a]	5.000.000 [t/a]
<b>Hydraulikbagger</b> [Anzahl; m³]	1 2,3	1 2,3	1 8,4
<b>Radlader</b> [Anzahl; m³]	1 2,3	1 2,3	1 16,1
<b>SLKW</b> [Anzahl; m³]	4 32	5 32	8 77,0
<b>Bohrer</b> [Anzahl; mm]	2 64	3 64	3 172
<b>Planierraupe</b> [Anzahl; kW]	1 110	1 110	2 110
<b>Wassertank</b> [Anzahl; Liter]		1 9.500	1 19.000
<b>Reparatur LKW</b> [Anzahl]	1	2	5
<b>Geländewagen</b> [Anzahl]	3	3	7

Tabelle 37: Bergbaugeräte

Angestellte	Förderleistung		
	500.000 [t/a]	1.000.000 [t/a]	5.000.000 [t/a]
<b>Betriebsleiter</b>	1	1	1
<b>Assistent</b>			1
<b>Vorarbeiter</b>	2	2	2
<b>Geologe</b>			1
<b>Steiger</b>	1	1	3
<b>Sekretärin</b>	1	1	1

Tabelle 38: Angestellte Bergbau

Arbeiter	Förderleistung		
	500.000 [t/a]	1.000.000 [t/a]	5.000.000 [t/a]
<b>Mineur</b>	2	3	4
<b>Sprengmeister</b>	2	2	2
<b>Baggerfahrer</b>	3	3	4
<b>LKW-Fahrer</b>	5	8	15
<b>Maschinenarbeiter</b>	5	7	8
<b>Werkstättenmitarbeiter</b>	5	7	15

Tabelle 39: Arbeiter Bergbau

Die Kostenabschätzung für die drei Szenarien zeigt das Diagramm (Abbildung 36), welches auf Daten von SME 2011 beruht. Der Abbau erfolgt im Zweischichtbetrieb mit 312 Betriebstagen pro Jahr. Die vorliegenden Daten wurden so verändert, dass kein Abraum bei der Berechnung berücksichtigt wird. Die Daten stammen aus dem US Bergbau. Die essentiellen Unterschiede zwischen der europäischen Wirtschaft und der amerikanischen Wirtschaft liegen in den niedrigeren Personal- und Energiekosten in Amerika. Aufgrund dessen wurden die Kosten für beide Bereiche um 30% angehoben, siehe Tabelle 55 und Tabelle 56.

Die Kosten enthalten alle wichtigen Parameter für einen Bergbau:

- Geräte
- Gebäude
- Personal (Arbeiter und Angestellte)
- Betriebsmaterialien (Diesel, Sprengstoff, Zünder, Bohrköpfe, Sprengschnur)
- Förderdistanzen (Steigungen im Bergbau und zur Aufbereitung)

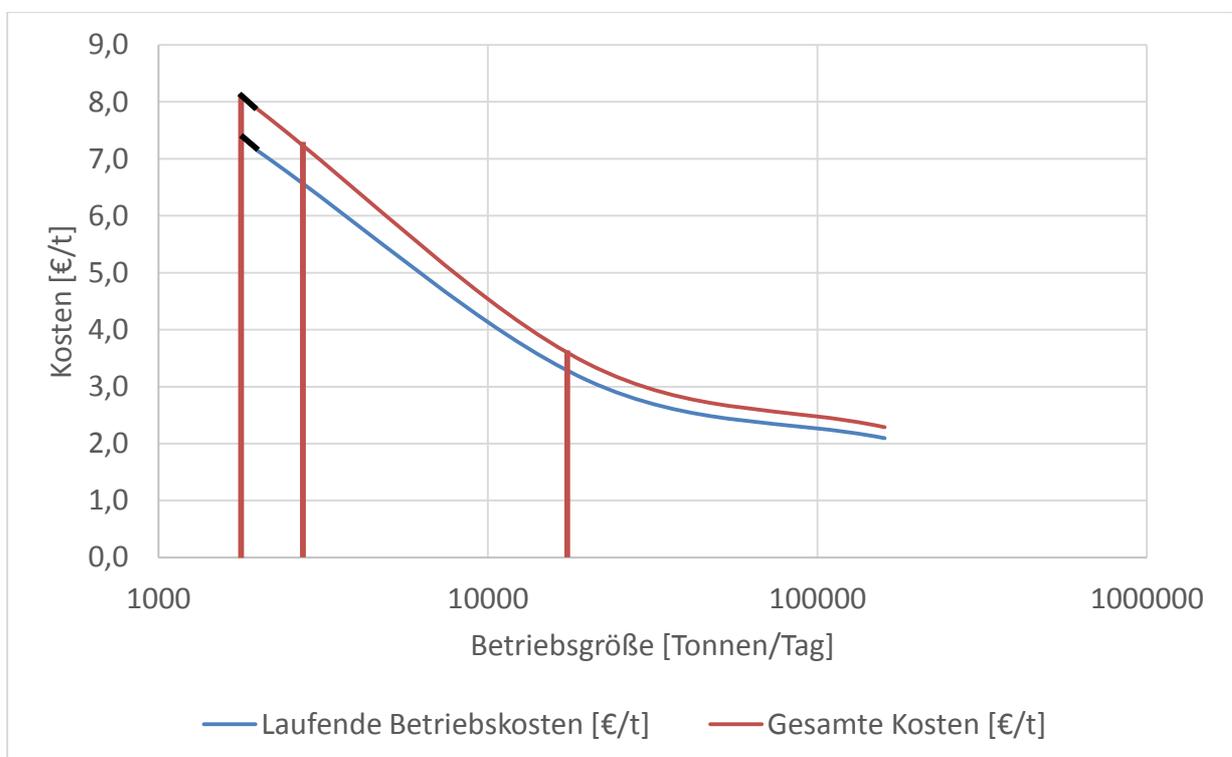


Abbildung 36: Laufende Betriebskosten und Gesamtkosten eines Bergbaubetriebes (Daten aus SME 2011, S. 290 ff) Tabelle im Anhang

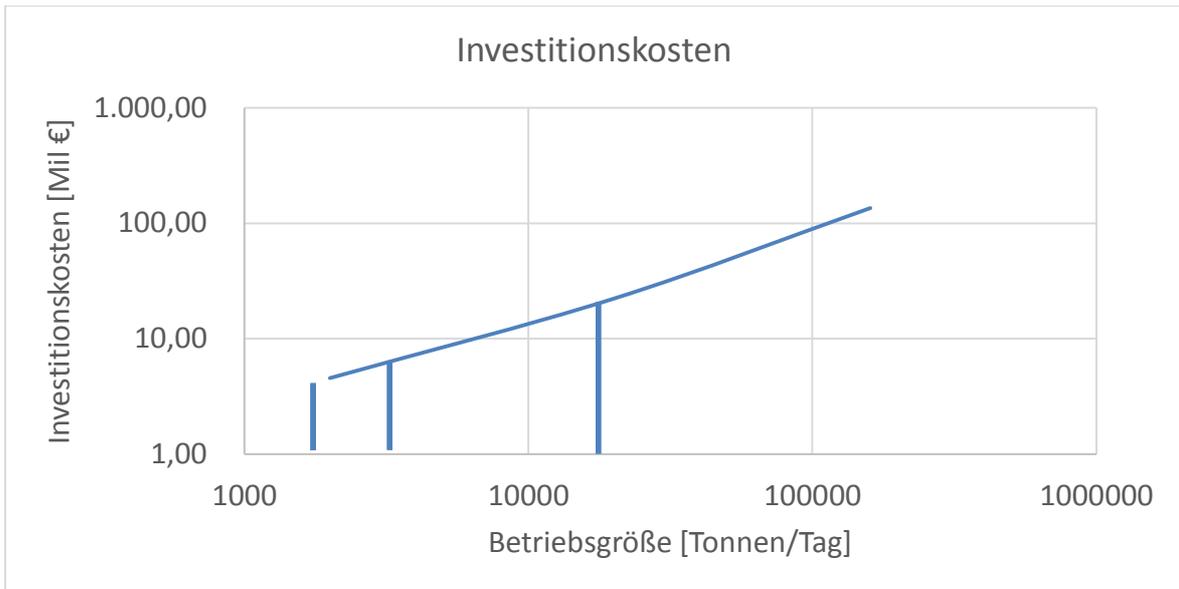


Abbildung 37: Investitionskosten eines Bergbaubetriebes (Daten aus SME 2011, S. 290 ff) Tabelle im Anhang

Fördermenge [t/a]	Fördermenge [t/d]	Investitionskosten [€ Mil]
500.000	1.600	4,5
1.000.000	3.200	8,5
5.000.000	16.000	18,0

Tabelle 40: Bergbaukosten pro Tonne aus Abbildung 36

Die Gesamtkosten pro Tonne sind für die drei Szenarien in Tabelle 41 dargestellt. Für die Fördermenge von 500.000 t pro Jahr wurde der Wert mittels zeichnerischer Extrapolation ermittelt.

Fördermenge [t/a]	Fördermenge [t/d]	Laufende Kosten [€/t]	Gesamtkosten [€/t]
500.000	1.600	7,40	8,15
1.000.000	3.200	6,50	7,20
5.000.000	16.000	3,25	3,55

Tabelle 41: Bergbaukosten pro Tonne aus Abbildung 36

---

### 6.3.3 Logistik

---

Die Kosten der Logistik hängen stark von folgenden Einflussgrößen ab:

- Entfernung
- Transportmittel
- Produktart (lose, verpackt)
- Economy of scale (Menge)
- Energiekosten
- Infrastruktur (Effizienz von Übergabestationen)

Die Kalkulation der Logistikkosten für den Transport des Serpentinits vom Abbau zur Aufbereitung erfordert die Auswahl eines Aufbereitungsstandortes. Von der Firma Minex gibt es für das Vorkommen in Kraubath bereits einen geplanten Aufbereitungsstandort. Er liegt auf dem ehemaligen Gelände des ÖDK-Werkes in Zeltweg. Der Standort hat einen Bahnanschluss und ist 20 km vom Bergwerk in Preg entfernt, mögliche Fördermittel sind Eisenbahn oder LKW.

Für das Vorkommen in Bernstein bietet sich Oberwart als Standort einer Aufbereitungsanlage an. Die Auswahl erfolgt aufgrund eines Eisenbahnanschlusses und der guten Erreichbarkeit von Bernstein über die B50 mit dem LKW. Die durchschnittliche Entfernung von der Lagerstätte beträgt 15 km.

Die Kostenkalkulation der Logistik wird für den LKW-Transport und den Eisenbahntransport durchgeführt.

### 6.3.3.1 Kostenberechnung für den LKW Transport

Der erste Schritt der Kostenberechnung des LKW Transportes ist die Ermittlung der Förderleistung eines LKWs pro Stunde. Die Berechnung erfolgt mithilfe der Formel:

$$\frac{t}{h} = \frac{\text{Nutzlast} * 60}{(2 * \text{Fahrzeit} + \text{Beladung} + \text{Entladung})}$$

	Nutzlast [t]	Fahrzeit [min]	Beladung [min]	Entladung [min]	Förderleistung [t/h]
<b>Kraubath</b>	25	19	5	5	31,25
<b>Bernstein</b>	25	15	5	5	37,50

Tabelle 42: Förderleistung eines LKWs

Der nächste Schritt ist die Berechnung der benötigten LKW-Anzahl für die drei unterschiedlichen Szenarien:

	Fördermenge [t/a]	Fördermenge [t/h]	Fördermenge LKW [t/h]	LKWs
<b>Kraubath</b>	500.000	100	31,25	3,2 ~ 4
	1.000.000	200	31,25	6,4 ~ 7
	5.000.000	1000	31,25	32
<b>Bernstein</b>	500.000	100	37,50	2,67 ~ 3
	1.000.000	200	37,50	5,33 ~ 6
	5.000.000	1000	37,50	26,7 ~ 27

Tabelle 43: Benötigte LKWs

Die Kosten für den LKW Transport werden mithilfe der Kostentabelle der Firma Prantauer GmbH berechnet. Die Kostenkalkulation für die geliehenen LKWs erfolgt mit nachfolgender Formel:

$$\text{Kosten} = \frac{\text{Anzahl LKW} * \text{Stunden} * (\text{LKW Preis} + \text{kmPreis} * \text{Strecke} * \text{Fahrten/h}) * \text{Arbeitstage}}{\text{Fördermenge}}$$

	LKW-Preis [€/h]	Stunden	Km Preis [€/km]	Strecke [km]	Fahrten [Anzahl/h]	Leihkosten [€/t]
<b>Kraubath</b>	71,80	16	0,29	20	2,5	<b>2,76</b>
<b>Bernstein</b>	71,80	16	0,29	16	3,0	<b>2,29</b>

Tabelle 44: LKW Transportkosten

Aufgrund der Abhängigkeit der LKW Anzahl von der Fördermenge sind die Kosten in €/t je Standort für alle Szenarien gleich.

Die Gesamtkosten für den LKW-Transport setzen sich aus den Leih-, den Diesel- und den Fahrerkosten zusammen. Die Kosten für Fahrer und Diesel werden mit den Daten aus der Tabelle 45 und den nachstehenden Formeln berechnet.

<b>Fahrerkosten</b>	18 €/h
<b>Dieselskosten</b>	1,1 €/Liter
<b>LKW-Verbrauch</b>	22 Liter/100km

Tabelle 45: Werte für LKW-Kostenberechnung

$$\text{Dieselkosten} = \frac{\text{Anzahl LKW} * \text{Strecken} * \text{Fahrten} * \text{Stunden} * \text{Arbeitstage} * \text{LKWVerbrauch} * \text{Dieselkosten}}{\text{Fördermenge}}$$

$$\text{Fahrer Kosten} = \frac{\text{Anzahl LKW} * \text{Stunden} * \text{Fahrerkosten} * \text{Arbeitstage}}{\text{Fördermenge}}$$

	Dieselskosten [€/t]	Fahrerkosten [€/t]
<b>Kraubath</b>	0,39	0,57
<b>Bernstein</b>	0,31	0,47

Tabelle 46: Benötigte LKWs

	Leihkosten [€/t]	Dieselskosten [€/t]	Fahrerkosten [€/t]	LKW Gesamtkosten [€/t]
Kraubath	2,76	0,39	0,57	<b>3,72</b>
Bernstein	2,29	0,31	0,47	<b>3,07</b>

Tabelle 47: Benötigte LKWs

Aufgrund der Emissionen von Lärm, Staub und giftigen Gasen ist bei der Förderung mit LKWs durch besiedelte Gebiete mit Widerstand gegen das Bergbauprojekt zu rechnen. Eine mögliche Problemlösung ist der Bau von Umfahrungsstraßen.

### 6.3.3.2 Kostenberechnung für den Eisenbahntransport

Die Vorteile des Transportes über das Eisenbahnnetz sind die großen möglichen Fördermengen und der emissionsarme Transport. Die Berechnung der Kosten erfolgt mit dem Gütertarif der ÖBB von 2015.

$$\text{Eisenbahntransportkosten} = \frac{\text{Kosten Schüttgutwagen leer} + \text{Kosten Schüttgutwagen voll}}{\text{Lademenge}}$$

Kosten Schüttgutwagen voll 20 km [€]	Kosten Schüttgutwagen leer 20 km [€]	Lademenge per Schüttgutwagen [t]	Eisenbahntransportkosten [€/t]
212,50	43,14	63	<b>3,99</b>

Tabelle 48: Kosten des Eisenbahntransportes (ÖBB Rail Cargo Group 2015)

Die hohen Eisenbahntransportkosten von 3,99 €/t ergeben sich daraus, dass es sich bei der Lieferstrecke von 20 km um eine Kurzstrecke handelt. Skaliert auf Kosten pro tkm ergibt das einen Preis von 0,20 €/tkm. In Europa liegen die durchschnittlichen Eisenbahntransportkosten für Lang- bis Mittelstrecken bei 0,11 €/tkm. Dies ergibt für die Kurzstrecke von 20 km eine Kostenerhöhung um 82 Prozent.

---

### 6.3.4 Aufbereitung (Zerkleinerung)

---

Die Kostenberechnung der Zerkleinerungsanlage setzt sich aus einer Abschätzung für die Investitionskosten und den Betriebskosten zusammen. Der größte Teil der Betriebskosten entfällt auf den Energieverbrauch. Dieser wird über den Work Index von Bond 1952 ermittelt.

$$P = 10Wi * \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

*P ... benötigte Energie*

*Wi ... Bond Work Index*

*P<sub>80</sub> ... Maschenweite bei 80 % Durchgang des Produktes*

*F<sub>80</sub> ... Maschenweite bei 80 % Durchgang bei der Aufgabe*

„Maschenweite bei 80 % Durchgang“ bedeutet, dass 80 Gewichtsprozent kleiner dieser bestimmten Maschenweite sind.

Für die Aufgabe (F<sub>80</sub>) werden 50 cm angenommen und für das Produkt (P<sub>80</sub>) 75 µm. P<sub>80</sub> wird kleiner gewählt um 100 % Durchgang bei 100 µm zu erreichen. Der Bond Work Index für Serpentin liegt bei 13,0 kWh/t. Dies ergibt einen Energieverbrauch von 14,82 kWh/t für die Zerkleinerung. (CSMA Consultants 2000, S. 113 f)

Die Abschätzung der Investitionskosten erfolgt mithilfe von Abbildung 38.

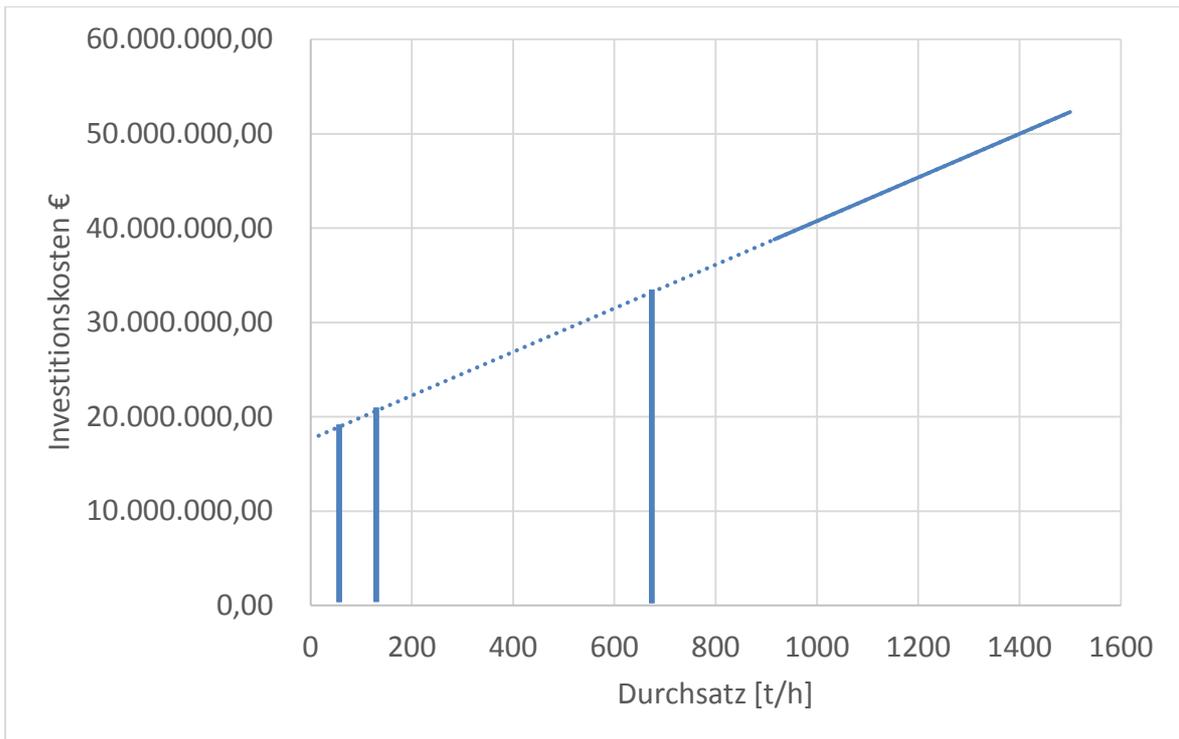


Abbildung 38: Investitionskosten Zerkleinerung (Daten aus CSMA Consultants 2000, S. 114)

Die Betriebskosten der Zerkleinerung beruhen auf Daten von CSMA Consultants 2000 und Energiekosten von 0,06 €/kWh. (EXXA 2015)

Posten	Kosten [€/t]
Elektrische Energie	0,89
Mahlkörper	0,72
Personal	0,88
Reparatur- u. Betriebsmittel	0,33
<b>Gesamt</b>	<b>2,82</b>

Tabelle 49: Betriebskosten Zerkleinerung (Umrechnung im Anhang)

Die Gesamtkosten der Zerkleinerung setzen sich aus der Abschreibung pro Jahr und den Betriebskosten zusammen. Die Abschreibung der Aufbereitungsanlage beträgt 20 Jahre.

Fördermenge [t/a]	Fördermenge [t/h]	Investitionskosten [€]	Investitionskosten [€/t]	Gesamtkosten [€/t]
500.000	66,7	19.000.000	1,90	<b>4,72</b>
1.000.000	133,3	21.000.000	1,05	<b>3,87</b>
5.000.000	666,7	34.000.000	0,34	<b>3,16</b>

Tabelle 50: Investitionskosten und Gesamtkosten der Zerkleinerung

### 6.3.4.1 Mögliche Zusatzkosten für Schlammteiche

Anzuführen ist noch die Möglichkeit von anfallenden Zusatzkosten aufgrund des Aufbereitungsprozesses. Ist dieser nicht in der Lage, alle Rohstoffe des Serpentinits zu verwerten, müssen diese verhandelt werden. Wegen der Zerkleinerung des Gesteins auf < 100 µm können nur Schlammteiche für die Haldung zum Einsatz kommen. Für solche Schlammteiche sind passende Flächen zu finden. Diese Ergänzung soll auf mögliche anfallende Kosten hinweisen, eine detaillierte Ausführung ist nicht Teil dieser Masterarbeit.

---

### 6.3.5 Kostenbewertung Rekultivierung/Renaturierung

---

Die Nachnutzung ist ein wichtiger Teil des Bergbauprojektes. Die in Anspruch genommene Fläche soll wieder Teil der Natur oder der Kulturlandschaft werden. Für die Rekultivierung oder Renaturierung wird mit Kosten von 20 €/m<sup>2</sup> gerechnet. Die Berechnung erfolgt mit einem Endböschungswinkel von 50°. Das Volumen kalkuliert sich über ein Trapez als Querschnittsfläche. Multipliziert mit der Dichte (2,7 t/m<sup>3</sup>) ergeben sich die abbaubaren Tonnen. Der Boden und die zwei Seitenflächen sind die zu rekultivierenden Areale. Das Verhältnis von der zu rekultivierenden Fläche zu den abbaubaren Tonnen multipliziert mit den Kosten pro m<sup>2</sup> ergibt die Kosten pro Tonne.

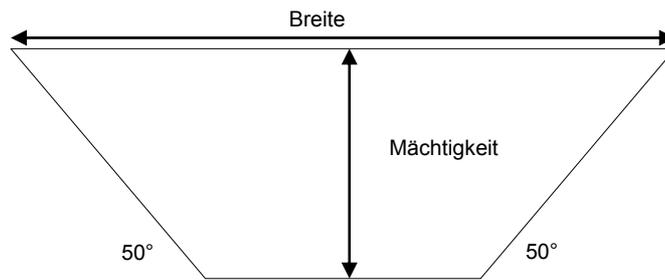


Abbildung 39: Skizze für die Berechnung der Kosten pro Tonne für die Nachnutzung

Die Berechnung des Fußabdruckes vom Bergbau erfolgt anhand einer Fläche, welche Material für fünf Jahre bei einer Fördermenge von 5.000.000 t pro Jahr ermöglicht. Es sind maximal Flächen erschlossen, die fünf Jahre Abbau gewähren. Um dies zu bewerkstelligen, erfolgt nach Abschluss der Abbautätigkeit eine Rekultivierung der abgebauten Flächen.

	Nutzbare Mächtigkeit [m]	Breite [km]	Länge [km]	[m <sup>2</sup> /t]	[€/t]	Maximale Abbaufäche [ha]
Kraubath	260	1,5	1,5	0,00194	0,039	4,84
	230	0,5	0,8	0,00375	0,075	9,37
	260	0,8	1,6	0,00255	0,051	6,38
	360	0,75	1	0,00249	0,050	6,23
	150	0,25	0,5	0,00776	0,155	19,39
Bernstein	120	1	2,4	0,00392	0,078	9,79
	100	1	2	0,00451	0,090	11,28

Tabelle 51: Kosten für Renaturierung/Rekultivierung

Für die Gesamtkostenberechnung werden Durchschnittskosten der Bergwerke angesetzt: Kraubath 0,08 €/t und Bernstein 0,09 €/t.

### 6.3.6 Gesamtkosten Bergbau

Die Gesamtkosten für den Bergbau beinhalten die Investitionskosten, sowie die Betriebskosten bezogen auf eine Tonne. Tabelle 52 zeigt, dass die unterschiedlichen Szenarien Kostenunterschiede bis zu 60 % bewirken.

Fördermengen [t/a]	Kostenstelle	Kosten Bernstein [€/t]	Kosten Kraubath [€/t]
500.000	Exploration	0,04	0,04
	Bergbau	8,15	8,15
	Logistik	3,07	3,72
	Zerkleinerung	4,72	4,72
	Renaturierung	0,09	0,08
	<b>Gesamt</b>	<b>16,07</b>	<b>16,71</b>
1.000.000	Exploration	0,04	0,04
	Bergbau	7,20	7,20
	Logistik	3,07	3,72
	Zerkleinerung	3,87	3,87
	Renaturierung	0,09	0,08
	<b>Gesamt</b>	<b>14,27</b>	<b>14,91</b>
5.000.000	Exploration	0,04	0,04
	Bergbau	3,55	3,55
	Logistik	3,07	3,72
	Zerkleinerung	3,16	3,16
	Renaturierung	0,09	0,08
	<b>Gesamt</b>	<b>9,91</b>	<b>10,55</b>

Tabelle 52: Gesamtkosten Bergbau

---

### 6.3.7 Target Costing

---

Target Costing ist ein marktorientiertes Zielkostenmanagement. Es wurde für die Automobilindustrie entwickelt und kommt seit 1970 zum Einsatz. Anwendung findet es in der Entwicklung und Einführung von neuen Produkten. Für die einzuführenden Produkte erfolgt eine Kundenanalyse, um herauszufinden wie viel das Produkt kosten darf. (Fischer und Götze 2008, S. 59)

In der traditionellen Kostenrechnung erfolgt die Kostenkalkulation eines Produktes mithilfe der Kostenauswertung des Leistungserstellungsprozesses. Dieses Vorgehen kann sich in einem wettbewerbsorientierten Markt auf die Gewinnspanne des Produktes auswirken. Bei Target Costing handelt es sich um eine Methode, mit der diese Problematik umgehbar ist. (Syska 2006, S. 147)

Target Costing kommt zur Anwendung um eine Reduktion der Kosten eines Produktes zu erreichen. Durch die gezielte Ausrichtung des Produktes auf den Kundenwunsch sind niedrigere Produktionskosten möglich. Dies wird durch das Vermeiden von Fehlern in der Produktentwicklung, wie zu teuren oder unerwünschten Zusatzeigenschaften, erzielt. (Fischer und Götze 2008, S. 59)

### 6.3.7.1 Ablauf des Target Costing

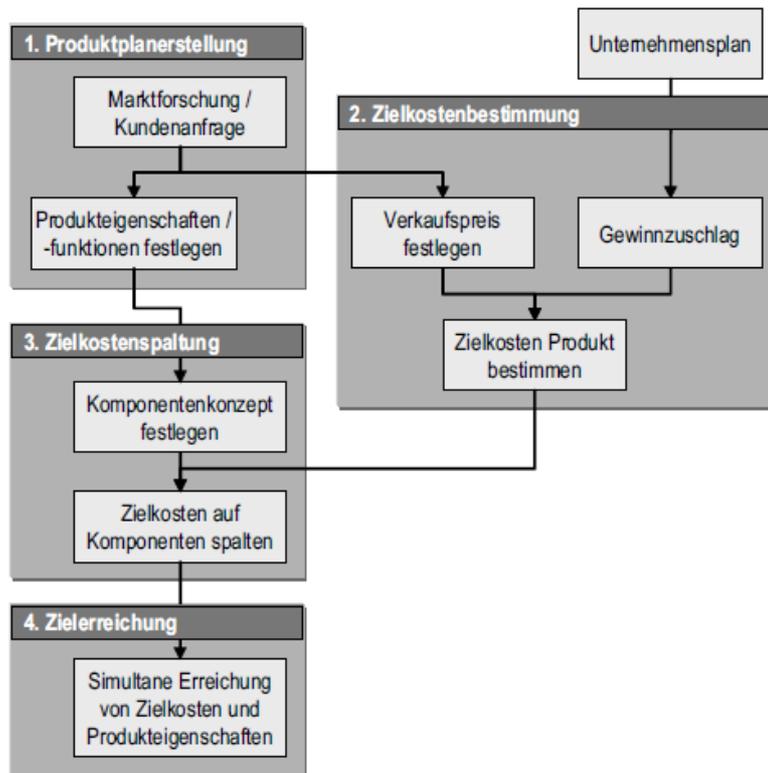


Abbildung 40: Ablauf Targetcosting (Fischer und Götze 2008, S. 60)

### 6.3.7.2 Möglichkeiten von Target Costing im Bergbau

Bei diesem Bergbauprojekt kann Target Costing als Zielkostenanalyse zum Einsatz kommen. Das Bergbauendprodukt (Serpentinit kleiner 100 µm) erhält einen „erlaubten Preis“ und von diesem wird ein angestrebter Gewinnanteil subtrahiert. Das Ergebnis sind die „erlaubten Kosten“ (allowable costs), welche als Zielkosten (target costs) übernommen werden. (Fischer und Götze 2008, S. 62)

Der „erlaubte Preis“ des Bergbauendproduktes errechnet sich aus dem Reengineering eines möglichen Gesamtverkaufspreises der Endprodukte. Der Verkaufspreis ist stark abhängig von den enthaltenen Metallen Eisen, Nickel und Chrom. Diese unterliegen der Volatilität des Marktes. In der Kalkulation sind die Marktschwankungen zu berücksichtigen. Ebenso sind die Auswirkungen des Dollarkurses zu beachten, da der Metallhandel in Dollar erfolgt.

Für das Reengineering müssen die anfallenden Kosten von der Aufbereitung bis zum Verkauf der Endprodukte definiert werden.

$$\text{erlaubter Preis Bergendbauprodukt} = \text{Verkaufspreis} - \text{Gewinn} - \text{Aufbereitungskosten}$$

In vielen Fällen sind die „allowable costs“ weit von den mit dem aktuellen Verfahren berechneten Kosten (den Standardkosten) entfernt. Das Auffinden von Stellschrauben für die Kostensenkung ist essentiell. Die vier Abschnitte des Gewinnungsprozesses (Exploration, Bergbau, Logistik und Zerkleinerung) müssen auf ihr Potenzial zur Kostensenkung untersucht werden.

Eine Kostensenkung bei der Exploration resultiert in einem ungenaueren geologischen Modell. Dies kann zu einem ineffizienten Abbauplan führen und somit zu höheren Kosten.

Der Bergbau hat Potenzial für die Kostenreduktion. In Kapitel 6.3.2 wird ersichtlich, welche Möglichkeiten „economy of scale“ hat. Große Fördermengen ermöglichen die Nutzung großer Maschinen und Anlagen, die in Relation mit einem geringeren Kapitalbedarf und Personalaufwand betreibbar sind. Die drei Szenarien ergeben Kostenreduktionen von bis zu 50 Prozent.

Eine weitere Möglichkeit zur Kostensenkung ist die ABC-Analyse. Diese Methode ordnet die Betriebsmittel nach ihren Gesamtkosten für den Betrieb. 20 Prozent der teuersten Betriebsmittel verursachen 80 Prozent der Kosten. Einsparungen bei diesen haben große Auswirkungen auf die Gesamtkosten.

Kontinuierliche Fördersysteme für die Logistik, im Bergbau und vom Bergbau zur Aufbereitung sind aufgrund ihrer niedrigen Betriebskosten vorteilhaft.

Die Zerkleinerung zeigt wegen ihrer hohen Energieabhängigkeit wenig Potenzial für eine Kostensenkung.

### 6.3.7.3 Analyse der Aufbereitungskosten mittels Target Costing

Mithilfe des Target Costing soll eine Abschätzung der „erlaubten Kosten“ für die Aufbereitung des Bergbauendproduktes erfolgen. Für die Analyse wird als Endprodukt der Aufbereitung von einem PMC (Precipitated Magnesium Carbonate) ausgegangen, welches sehr ähnliche Eigenschaften wie PCC (Precipitated Calcium Carbonate) hat. Aufgrund der Vergleichbarkeit wird der Verkaufspreis von PCC (300 €/t) für PMC angesetzt. Das Reengineering der „erlaubten Kosten“ für den Aufbereitungsprozess beginnt mit der Berechnung der „erlaubten Kosten“ des Gesamtproduktes:

$$\text{erlaubte Gesamtkosten} = \text{Verkaufspreis} - \text{Gewinn}$$

Der nächste Schritt ist die Berechnung der „erlaubten Kosten“ der Aufbereitung.

$$\text{erlaubte Kosten Aufbereitung} = \text{erlaubte Gesamtkosten} - \text{Bergbaukosten} - \text{Zerkleinerungskosten}$$

Verkaufspreis [€/t]	Gewinn 30 % vom Preis [€/t]	Erlaubte Gesamtkosten [€/t]	Bergbaukosten & Zerkleinerungskosten [€/t]	Erlaubte Kosten Aufbereitung [€/t]
300	90	210	17	193

Tabelle 53: Gesamtkosten Bergbau

Die Kosten für den Aufbereitungsprozess des Produktes dürfen 193 €/t betragen.

---

## 6.4 Rechtliche Rahmenbedingungen

---

Für die Abwicklung eines Bergbauprojektes sind folgende Gesetze essentiell:

- Mineralrohstoffgesetz
- Forstgesetz
- Wasserrechtsgesetz
- Abfallwirtschaftsgesetz
- Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
- Tagbauarbeitenverordnung
- Sprengarbeitenverordnung
- Markscheideverordnung 2013
- Allgemeine Bergpolizeiverordnung
- Immissionsschutzgesetz
- Emissionsschutzgesetz

Ein wichtiger Schritt ist die Klärung, um welchen Rohstoff es sich rechtlich handelt. In Österreich gliedern sich diese in **bergfreie**, **bundeseigene** und **grundeigene mineralische Rohstoffe**.

---

## 6.4.1 Rechtliche Rohstoffart

---

Zurzeit sind die gewonnenen Serpentinite in Österreich „Grundeigene mineralische Rohstoffe“. § 3 des Mineralrohstoffgesetzes zeigt auf, dass diese Gangart vielleicht überdacht werden muss:

*„§ 3. (1) Bergfreie mineralische Rohstoffe sind:*

- 1. alle mineralischen Rohstoffe, aus denen Eisen, Mangan, Chrom, Molybdän, Wolfram, Vanadium, Titan, Zirkon, Kobalt, Nickel, Kupfer, Silber, Gold, Platin und Platinmetalle, Zink, Quecksilber, Blei, Zinn, Wismut, Antimon, Arsen, Schwefel, Aluminium, Beryllium, Lithium, Seltene Erden oder Verbindungen dieser Elemente technisch gewinnbar sind, soweit sie nicht nachstehend oder in den folgenden Paragraphen angeführt sind;*
- 2. Gips, Anhydrit, Schwerspat, Flußspat, Graphit, Talk, Kaolin und Leukophyllit;*
- 3. alle Arten von Kohle und Ölschiefer;*
- 4. Magnesit, Kalkstein (mit einem  $\text{CaCO}_3$ -Anteil von gleich oder größer als 95%) und Diabas (basaltische Gesteine), soweit diese als Festgesteine vorliegen, Quarzsand ( $\text{SiO}_2$ -Anteil von gleich oder größer als 80%) und Tone, soweit diese als Lockergesteine vorliegen.*

*(2) Das Eigentumsrecht an Grund und Boden erstreckt sich nicht auf die im Abs. 1 Z 1 bis 3 angeführten bergfreien mineralischen Rohstoffe. Die bergfreien mineralischen Rohstoffe gehen mit der Aneignung in das Eigentum des hiezu Berechtigten über.“ (Mihatsch 2007, S. 25)*

Die Montanbehörde entscheidet zurzeit für jedes ultramafische Bergbauprojekt im Einzelfall, um welche rechtliche Rohstoffart es sich handelt. Es darf aus dem Serpentin nur dann Eisen, Chrom und Nickel gewonnen werden, wenn das Bergwerk „bergfreie mineralische Rohstoffe“ gewinnt.

### 6.4.1.1 Zuständigkeit der Behörde

§ 170 und § 171 des Mineralrohstoffgesetzes geben vor, dass für die Gewinnung und Aufbereitung mineralischer Rohstoffe die Montanbehörde zuständig ist. Eine Ausnahme bilden grundeigene mineralische Rohstoffe, welche obertägig gewonnen und aufbereitet werden. Diese unterliegen der Bezirksverwaltungsbehörde, in welcher sich der Bergbau befindet. Liegen

untertägige Bauwerke oder Anlagen vor, geht die Zuständigkeit wieder an die Montanbehörde zurück. (Mihatsch 2007, S. 269 ff)

### **6.4.1.2 Genehmigungsverfahren**

Das Genehmigungsverfahren für „bergfreie mineralische Rohstoffe“ gliedert sich in vier Stufen:

1. Verleihung des Freischurfes. Dieser steht für das grundsätzliche Recht nach mineralischen Rohstoffen zu suchen. Der Freischurf wird über den Mittelpunkt, im Gauß-Krüger-Koordinatensystem der Landesvermessung, und die zugehörige(n) Katastralgemeinde(n) angegeben. Dies regelt der § 10 des Mineralrohstoffgesetzes. (Mihatsch 2007, S. 34 f)
2. Die Genehmigung eines Arbeitsprogrammes nach § 17 im Mineralrohstoffgesetz. Der Antrag klärt wie und in welcher Reihenfolge die Explorationsarbeiten an den Schurfen erfolgen und wer dafür verantwortlich ist. Maßnahmen für den Oberflächenschutz sind anzugeben und die Sicherung der Oberflächennutzung ist zu gewährleisten. Anzuhängen sind Zustimmungserklärungen und ein Lageplan der Katastralmappe in zweifacher Ausführung. Im Plan müssen die Schurfgebiete eingezeichnet sein, sowie Bergbaugebiete und andere Freischurfe. (Mihatsch 2007, S. 39 f)
3. Bergwerksberechtigung: Diese gibt das Recht einen bergfreien mineralischen Rohstoff für den beantragten Bereich zu gewinnen. Der Raum wird in Grubenmaßen oder Überscharen angegeben. (Mihatsch 2007, S. 43)
  - a. Das Grubenmaß ist eine 48.000 m<sup>2</sup> große Fläche mit unbeschränkter Tiefenerstreckung. Die kürzeste Rechteckseite muss minimal 120 m messen. Die Angaben der Koordinaten der Schnittfigur erfolgen in Metern auf zwei Dezimalstellen genau im System der Landesvermessung. (Mihatsch 2007, S. 44)
  - b. Die Bekanntgabe der Überschare geschieht durch die Koordinaten der Eckpunkte der Schnittfigur, auf zwei Dezimalstellen genau, im System der Landesvermessung. Weiters ist der Flächeninhalt

anzugeben und die Nummern der Grundstücke, die betroffen sind.  
(Mihatsch 2007, S. 340)

Das Verleihungsgesuch enthält die geologischen-lagerstättenkundlichen Verhältnisse für den Nachweis, dass es sich um einen bergfreien mineralischen Rohstoff handelt. Sowie Angaben über die Abbauwürdigkeit und Art und den Umfang der Tätigkeiten bei der Erschließung bis zum Regelbetrieb. Ebenfalls enthält es Maßnahmen zum Schutz der Oberfläche und Informationen zu den Grundstücken, wie Katastralgemeinde inklusive dessen Ortsgemeinde und deren politischer Bezirk, Grundbucheinträge und Grundeigentümer. Es beinhaltet Auskünfte über andere bergbauliche Gegebenheiten inklusive der Namen der Rechteinhaber, ebenso Bescheinigungen über technische und finanzielle Mittel für die Durchführung der Gewinnung und Zustimmungserklärungen von allen Grundstückseignern. Die Einreichung erfolgt in vierfacher Ausführung und mit rechtskräftiger Unterschrift. (Mihatsch 2007, S. 47–50)

4. Gewinnungsbetriebsplan: Die Planung erfolgt über eine maximale Zeitspanne von fünf Jahren. Er beinhaltet die Beschreibung der Gewinnung (Aufschluss, Abbau und Abtransport) und der Sicherheitsmaßnahmen. Die technischen Abläufe müssen dem Stand der Technik entsprechen. Ebenso enthalten sind Gutachten über erwartete Emissionen und die durchgeführten Maßnahmen zur Minderung. Erläutert werden der Schutz der Oberfläche beim Betrieb und die Möglichkeiten zur Nachnutzung, sowie deren Kosten. Die abzugebenden Lagepläne definieren die Begrenzungen der Bergbaugebiete, die Aufschluss- und Abbauschnitte und die Schutzmaßnahmen für die Oberfläche und der Nachnutzung. Die Pläne müssen in dreifacher Ausführung ausgefertigt werden. Die Grundstücke in welchen Bergbautätigkeiten auftreten, sind in einem Verzeichnis beizulegen mit Name und Anschrift des Grundeigentümers. (Mihatsch 2007, S. 160 f)

---

## 6.4.2 Umweltverträglichkeitsprüfung

---

Bei Vorhaben im Festgesteinsbergbau, welche größer als 10 ha sind, besteht die Pflicht einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Für Erweiterungen gilt eine UVP Pflicht, wenn die genehmigten Flächen der letzten 10 Jahre größer als 13 ha sind und die Erweiterung mindestens 3 ha in Anspruch nimmt. (BMLFUW 2004, S. 47)

Es gibt drei Arten für die Abwicklung eines UVP-Verfahrens. Das Feststellungsverfahren, die Einzelfallprüfung und das konzentrierte UVP-Verfahren. Das Feststellungsverfahren teilt der Behörde mit, dass das Projekt oder die Erweiterung unter den vorliegenden Schwellenwerten liegt und keine UVP-Pflicht besteht.

Zur Einzelfallprüfung kommt es, wenn ein Schwellenwert überschritten wird. Sie stellt fest, ob mit erheblichen Beeinträchtigungen zu rechnen ist. Für die Prüfung sind wichtige Parameter: Größe, Zusammenwirken mit anderen Projekten, Abfall (Menge und Art) und Empfindlichkeit des vorliegenden Ökosystems. Durch die vorgelegten Gutachten über Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen, sowie die Wasserverschmutzung kann die Beurteilung erfolgen. (BMLFUW 2004, S. 2)

Das konzentrierte UVP-Verfahren ist das ausführlichste. Es handelt sich um ein öffentliches Verfahren. Für dieses wird eine Umweltverträglichkeitserklärung benötigt. Sie bewertet alle möglichen Projektvarianten bezüglich ihrer Umweltauswirkungen und der gesetzten Maßnahmen zur Vermeidung. Es erfolgt auch eine Prüfung der Nullvariante. Die Behörde erstellt das Umweltverträglichkeitsgutachten basierend auf der Umweltverträglichkeitserklärung. (BMLFUW 2011, S. 11 ff)

---

## 7 Diskussion

---

Das ultramafische Gestein, der Serpentin, wird in dieser Masterarbeit genauer betrachtet. Er zeigt hohes Potenzial aufgrund der beinhaltenden Rohstoffe Chrom, Eisen, Magnesium, Nickel und Silizium. Wobei es sich bei Chrom, Magnesium und Silizium um kritische Rohstoffe handelt. Nickel und Eisen sind potenziell kritische Rohstoffe. Die Rohstoffe Eisen und Magnesium werden in Österreich bereits abgebaut. Chrom und Nickel sind von hoher volkswirtschaftlicher Bedeutung und müssen bis heute zu 100 Prozent importiert werden. Die Importabhängigkeit der österreichischen Wirtschaft könnte sich bei der Gewinnung dieser kritischen Rohstoffe aus ultramafischem Gestein reduzieren.

Bei der Eingrenzung der österreichischen ultramafischen Vorkommen fiel die Auswahl auf Kraubath und Bernstein. Von den beiden Vorkommen zeigt nur Kraubath Potenzial für die hydrometallurgische Gewinnung der beinhaltenden Rohstoffe.

Bevor die Durchführung weiterführender Studien im Bereich Bergbau erfolgt, sollte geklärt werden, ob mittels der Aufbereitung die Rohstoffe aus dem Serpentin in gewünschter Qualität gewinnbar sind.

Können die Rohstoffe in der gewünschten Qualität gewonnen werden, ist es für den Bereich Bergbau wichtig, die rechtliche Lage zu klären: Ist der Serpentin ein bergfreier oder ein grundeigener mineralischer Rohstoff? Handelt es sich nämlich nicht um einen bergfreien mineralischen Rohstoff, darf Chrom, Nickel und Eisen nicht daraus gewonnen werden. Weitere Schritte beinhalten die Erhebung der Grundbesitzverhältnisse, sowie die Überprüfung möglicher anderer Rechte, wie zum Beispiel die Schurfberechtigung. Die Zugänglichkeit der abzubauenen Gebiete ist ebenfalls abzuklären. Auch die Maschinen und Fördersysteme sind dahingehend zu überprüfen, ob sie dem Immissionsschutz- und dem Emissionsschutzgesetz entsprechen.

Außerdem müssen Zerkleinerungsversuche mit dem Gestein durchgeführt werden. Diese sind immens wichtig, weil sich die Gesteine in jedem Vorkommen aufgrund der vorherrschenden Tektonik und ihrer Genese bei der Zerkleinerung

unterschiedlich verhalten. Mithilfe der Tests ist es möglich, die richtigen Maschinen für die Zerkleinerung auszuwählen und die genauen Energiekosten zu berechnen.

Ich möchte in meiner Arbeit aufzeigen, dass die Schaffung einer rechtlichen Basis für die Gewinnung von polymetallischen Erzen, wie dem Serpentin, für den österreichischen Bergbau essentiell ist. Dieser Schritt ermöglicht es, neue Vorkommen zu gewinnen und somit den Rohstofffluss zu gewährleisten. Durch die lokale Gewinnung der Rohstoffe ist eine sichere Versorgung der österreichischen Wirtschaft gewährleistet und Versorgungsengpässe könnten trotz Streiks, Minenunfällen, Naturkatastrophen, politischen Krisen oder Kriegen ausgeglichen oder vermieden werden.

„Glück Auf“

---

## 8 Literaturverzeichnis

---

- BMLFUW: Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit, 2004
- BMLFUW: Bergbau Leitfaden Überarbeitung 2011, 2011
- BMVIT: Kritische Rohstoffe und potenziell kritische Rohstoffe mit Bezug auf Österreich, 2014
- BMWFJ: Österreichisches Montan Handbuch 2013, Bergbau Rohstoffe Grundstoffe Energie, 2014
- Bond, F.: The Third Theory Of Comminution, 1952
- CSMA Consultants: CO2 STORAGE AS CARBONATE MINERALS, 2000
- Egger, H., Kernmayr, H. G., Mandl, G. W., Matura, A., Nowotny, G., Pascher, G., Pestal, G. und Pistotnik, J.: Geologische Karte von Österreich 1:2.000.000, Geologische Bundesanstalt, 1999
- Fettweis, G. B.: Der Produktionsfaktor Lagerstätte, in: Die elementaren Produktionsfaktoren des Bergbaubetriebs, S. Wahl (Hg.). Essen: Verl. Glückauf, 1990, S. 1–148
- Fischer, Jan O.; Götze, Uwe: Kostenbewusstes Konstruieren, Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess, Springer, 2008
- Fleischanderl, M.: Metamorphite im Burgenland. Vorkommen – Abbau – Verwendung, 2006
- Goergen, H.: Festgesteinstagebau, Trans Tech Publ, 1987
- Götzinger, M. A. und Pertlik, F.: Zur Mineralogie der Magnetit-Ilmenit-Vererzung des Serpentinites von Stegsdorf bei Friesach in Kärnten, Institut für Mineralogie und Kristallographie, 1982
- Grill, M.: Grundlagen der hydrometallurgischen Verarbeitung von Kraubather Ultramafit zu reinem Magnesiumoxid und anderen Produkten, in: Vorträge der Montangeschichtlichen Tagung "Kraubath und die Montanistik", H. J. Köstler (Hg.). Leoben, 2010, S. 40–43
- Haditsch, J. G.: Nickelführende Ultramafite Österreichs unter besonderer Berücksichtigung einer nassmetallurgischen Verwertung der Dunite und Peridotite von Kraubath, 1979
- Haditsch, J. G.: Geological and geochemical investigation of the Kraubath ultramafic massif (Styria, Austria), 1981

- Haditsch, J. G., Petersen-Kraus, D. und Yamac, Y.: Beiträge für eine geologisch-lagerstättenkundliche Beurteilung hinsichtlich einer hydrometallurgischen Verwertung der Kraubather Ultramafitmasse, 1981
- Herrmann, P. und Pahr, A.: Oberwart ÖK 50, Geologische Bundesanstalt, 1982
- Hoek, Evert: Estimates of rock mass strength, 2004
- Huber, S. und Huber, P.: Der "Edelserpentin" von Bernstein, in: Die Mineralien des Burgenlandes, Ingrid Altenburger (Hg.). Eisenstadt: Amt der Burgenländischen Landesregierung Abt. 7 - Kultur Wiss. und Archiv Landesmuseum Burgenland, 2009, S. 125–131
- Joint Ore Reserves Committee: The JORC Code, 2012
- Koller, F.: Petrologie und Geochemie der Ophiolite des Penninikums am Alpenostrand, 1985
- Koller, F.: Bernstein und die Rodingite in den Serpentiniten, in: Die Mineralien des Burgenlandes, Ingrid Altenburger (Hg.). Eisenstadt: Amt der Burgenländischen Landesregierung Abt. 7 - Kultur Wiss. und Archiv Landesmuseum Burgenland, 2009, S. 121–123
- Kürzl, H.: Der Serpentin vom Lärchkogel bei Trieben, Montanuniversität Leoben, 1982
- Lehner, M., Ellersdorfer, M., Treimer, R., Moser, P., Theodoridou, V. und Biedermann, H.: Carbon Capture and Utilization (CCU) - Verfahrenswege und deren Bewertung, 157. Aufl., BHM, 2012
- LeMaitre, R. W. (Hg.): Igneous rocks, A classification and glossary of terms: recommendation of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 2. ed, Cambridge Univ. Press, 2005
- Meisel, T., Melcher, F., Tomascak, P., Dingeldey, C. und Koller, F.: Re-Os isotopes in orogenic peridotite massifs in the Eastern Alps, Austria, Chemical Geology 143, 1997
- Meixner, H.: Der Serpentin des Grießerhofs (Gulitzen) bei Hirt, Kärnten, Österr.-Alpine Montangesellschaft, 1953
- Melcher, F., Meisel, T., Puhl, J. und Koller, F.: Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: constraints from geochemistry, Lithos 65, 2002
- Mihatsch, A. (Hg.): Mineralrohstoffgesetz, 3., aktualisierte und überarb. Aufl, Manzsche Gesetzesausgaben / Sonderausgabe, Nr. 99, Manz, 2007
- Montanuniversität Leoben (Hg.): Feasibility study of a raw materials project, 2015

- Neubauer, F.: Bau und Entwicklungsgeschichte des Rennfeld-Mugel- und des Gleinalm-Kristallins (Ostalpen), Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 42, 1988
- ÖBB Rail Cargo Group: Gütertarif, 2015
- O'Conner, W. K., Dahlin, D. C., Rush, G. E., Gerdemann, S. J., Penner, L. R. und Nilsen, D. N.: AQUEOUS MINERAL CARBONATION, Mineral Availability, Pretreatment, Reaction Parametrics, And Process Studies, Office of Fossil Energy, US DOE, 2005
- O'Connor, W. K., Dahlin, D. C., Nilsen, D. N., Rush, G. E., Gerdemann, S. J., Walters, R. P. und Turner, P. C.: Carbon Dioxid Sequestration, Aqueous Mineral Carbonation Studies Using Olivine and Serpentine, 2001
- Okrusch, M.; Matthes, S.: Mineralogie, Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, 9. Aufl, Springer-Lehrbuch, Springer, 2014
- Pahr, A: Die Gesteine der Rechnitzer Einheit, in: Burgenland, H. P. Schönlaub und M. Heinrich (Hg.). Wien: Geologische Bundesanstalt, 2000, S. 43–49
- Pahr, A.: Ein neuer Beitrag zur Geologie des Nordostsporn der Zentralalpen, Geologische Bundesanstalt, 1977
- Petersen-Kraus, D.: Gesteine des Serpentinivorkommens südlich von St. Stefan ob Leoben (Steiermark) im Rahmen des Forschungsprogramms "Rohstoffsicherung der Steiermark "Teilprojekt Kraubath", zur Vorlage bei der Landesregierung, Landesregierung Steiermark, 1978
- Puhl, J.: Vergleichende Petrologie und Geochemie von ultramafischen Massiven der Ostalpen, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2000
- Punzengruber, K. und Polegeg, S.: Vermiculit Niederösterreich, FREN - Forschungsgesellschaft für Rohstoff-Erkundung und -Nutzung, 1982
- Riesco, M., Stüwe, K. und Reche, J.: Formation of corundum in metapelites around ultramafic bodies. An example from the Saualpe region, Eastern Alps, Mineralogy and Petrology 83, 2004
- Schall, A.: Petrographische und geochemische Aufnahme des Serpentinits von Aggsbach / Dorf, NÖ, Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, 1988
- Sebastian, U.: Gesteinskunde, Ein Leitfaden für Einsteiger und Anwender, 2., erweiterte und verbesserte Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2012
- Shahriar, K., Oraee, K. und Bakhtavar, E.: Effective factors investigation in choice between surface and underground mining, Department of Mining and Metallurgy, 2007

Slaby, D.; Wilke, L.: Wirtschaftslehre der mineralischen Rohstoffe und der Lagerstätten, 1. Aufl, Bergwirtschaftslehre, / Slaby; Wilke ; Teil 1, Verl. der Techn. Univ. Bergakademie, 2005

SME (Hg.): SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed, 2011

Steiner, Hans-Jörg: Orientierende aufbereitungstechnische Untersuchung der Nickelführung von asbesthaltigen Dunitproben vom Hochgrössen/Steiermark, Montanuniversität Leoben, 1983

Syska, Andreas: Produktionsmanagement, Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute, 1. Aufl, Gabler, 2006

Teir, S., Revitzer, H., Eloneva, S., Fogelholm, C. und Zevenhoven, R.: Dissolution of natural serpentinite in mineral and organic acids, 2007

Thalhammer, O. R., Ebner, F., Horkel, K. und Mali, H.: Der Ultramafit-Komplex von Kraubath, Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik, 2010

United Nations: United Nations international framework classification for reserves/resources, Solid fuels and mineral commodities, 1997

United Nations: United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009, 2010

Wilke, F. L.: Planung und Organisation im Bergbau, in: Bergwirtschaft, O. Hahn (Hg.). Essen: Verl. Glückauf, 1990, S. 31–174

Wyllie, Duncan C.; Mah, Christopher W.; Hoek, Evert: Rock slope engineering, Civil and mining, 4th ed, Spon Press, 2004

---

## 8.1 Internetquellen

---

EXXA. <http://www.exaa.at/de>, (04.02.2015)

geoland.at. [http://www.geoland.at/geo\\_webgis/%28S%28wgnifcdeqvx4cscjhv3uwqs%29%29/init.aspx](http://www.geoland.at/geo_webgis/%28S%28wgnifcdeqvx4cscjhv3uwqs%29%29/init.aspx), (16.05.2014)

Geologische Bundesanstalt.

[http://geomap.geolba.ac.at/GEO/GEO\\_main.cfm?Init=false](http://geomap.geolba.ac.at/GEO/GEO_main.cfm?Init=false), (16.05.2014)

GIS-Steiermark: Digitaler Atlas Steiermark.

[http://gis2.stmk.gv.at/atlas/\(S\(3ayad2es1yxlyn1dxdqisxpe\)\)/init.aspx?karte=erdwis&ks=das&redliningid=upgcjaf51irzqvmyicz0dna](http://gis2.stmk.gv.at/atlas/(S(3ayad2es1yxlyn1dxdqisxpe))/init.aspx?karte=erdwis&ks=das&redliningid=upgcjaf51irzqvmyicz0dna), (17.01.2015)

Prantauer GmbH: Preisliste Transporte.

[http://www.prantauer.at/fileadmin/user\\_upload/pdf/T1\\_Transportpreisliste\\_B\\_\\_ohne\\_.pdf](http://www.prantauer.at/fileadmin/user_upload/pdf/T1_Transportpreisliste_B__ohne_.pdf), (12.03.2015)

---

## 9 Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Vorgänge der Plattentektonik und die prinzipiellen Bildungsmöglichkeiten (Sebastian 2012, S. 35) .....	3
Abbildung 2: IUGS-Klassifikation von ultramafischen Gesteinen nach ihren Bestandteilen, Olivin (Ol), Orthopyroxene (Opx), Klinopyroxene (Cpx), Pyroxene (Px) und Hornblende (Hbl) (nach Streckeisen) (LeMaitre 2005, S. 28) .....	6
Abbildung 3: IUGS Klassifikation von Vulkaniten (links) und Plutoniten (rechts) mit QAPF Doppeldreieck nach dem modalem Mineralbestand (nach Streckeisen) (LeMaitre 2005, S. 22–31).....	7
Abbildung 4: Schematisches Tiefenprofil durch die ozeanische Lithosphäre (Okrusch und Matthes 2014, S. 519).....	8
Abbildung 5: Verfahrensschema MAGNIFIN-Verfahren (Grill 2010, S. 42).....	13
Abbildung 6: Fließbild eines Sprühröstofens mit Rückgewinnung der Salzsäure (Grill 2010, S. 43).....	13
Abbildung 7: Grundprinzip der Karbonatisierung mineralischer Rohstoffe abgeändert von (Lehner et al. 2012, S. 66).....	14
Abbildung 8: Der Speik-Komplex als ophiolithische Decke innerhalb des Muralpenkristallins (Neubauer 1988, S. 54) .....	20
Abbildung 9: Ultramafische Vorkommen in Österreich (Egger et al. 1999) .....	26
Abbildung 10: Schema zur Darstellung der abbauwürdigen und der bedingt abbauwürdigen Lagerstätten und Lagerstättenvorräte von Steinkohle als Teilmenge von Steinkohlenvorkommen (Fettweis 1990, S. 18) .....	30
Abbildung 11: Grundlegende Zusammenhänge zwischen Vorratsbegriffen und den Arbeitsetappen der geologischen und bergwirtschaftlichen Bewertung (Slaby und Wilke 2005, S. 215).....	31
Abbildung 12: Schema zur Erläuterung der Klassifikation fester mineralischer Rohstoffe nach geologischer Gewissheit, Abbauwürdigkeit und Ausbringen (Fettweis 1990, S. 73) .....	33
Abbildung 13: Klassifikation der Vorräte und der Vorratsbasis von mineralischen Rohstoffen (Slaby und Wilke 2005, S. 155).....	34
Abbildung 14: General relationship between Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (Joint Ore Reserves Committee 2012).....	36
Abbildung 15: Klassifikation mit Beispielen (United Nations 2010).....	37

Abbildung 16: Einflussgrößen für Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bergwerken (Gewinnung und Aufbereitung) (Fettweis 1990, S. 23).....	38
Abbildung 17: Geologisch bestimmte Einflussgrößen für die Abbauwürdigkeit (Fettweis 1990, S. 29) .....	42
Abbildung 18: Ground water flow condition chart (Wyllie et al. 2004, S. 182) .....	53
Abbildung 19: Geologische Karte des Kraubather Ultramafit-Komplexes (GIS-Steiermark 2015).....	58
Abbildung 20: Reliktischer Mantelolivin in einem Dunit aus Kraubath. Die Maschenserpentine bilden eine Mosaikstruktur (Bildbreite 2 mm) (Puhl 2000, S. 87) .....	61
Abbildung 21: Harzburgit von Kraubath mit Tremolit, Olivin und Talk (Bildbreite 2 mm) (Puhl 2000, S. 91) .....	61
Abbildung 22: Verteilung der MgO und Ni Gehalte im Vorkommen Kraubath im Teil östlich der Mur (Haditsch 1981, S. 255) .....	63
Abbildung 23: Verteilung der Cr Gehalte im Vorkommen Kraubath im Teil östlich der Mur (Petersen-Kraus 1978, S. 31).....	63
Abbildung 24: Gebirgsfestigkeit (Hoek 2004) .....	67
Abbildung 25: Hoek Circular Failure Chart Number 2 (Wyllie et al. 2004, S. 184)..	68
Abbildung 26: Lagerstätte Bernstein (Herrmann und Pahr 1982).....	73
Abbildung 27: Projektphase für Bergbauprojekte und Aktivitätsschwerpunkte (Zeitachse nicht maßstäblich) (Slaby und Wilke 2005, S. 108) .....	86
Abbildung 28: Hügelabbau (Goergen 1987, S. 7).....	91
Abbildung 29: Abbau nach der Teufe (Goergen 1987, S. 7) .....	92
Abbildung 30: Flächenhafter Abbau (Goergen 1987, S. 8).....	92
Abbildung 31: Scheibenabbau.....	93
Abbildung 32: Wandabbau (Goergen 1987, S. 9).....	94
Abbildung 33: Pushbackabbau .....	94
Abbildung 34: Weitungsbau (links), Parallelbau (Mitte), Schwenkabbau (rechts) (Goergen 1987, S. 10).....	95
Abbildung 35: Die vier Arbeitsschritte der Produktionsphase mit ihren Übergabeschnittstellen.....	97
Abbildung 36: Laufende Betriebskosten und Gesamtkosten eines Bergbaubetriebes (Daten aus SME 2011, S. 290 ff) Tabelle im Anhang.....	101

Abbildung 37: Investitionskosten eines Bergbaubetriebes (Daten aus SME 2011, S. 290 ff) Tabelle im Anhang .....	102
Abbildung 38: Investitionskosten Zerkleinerung (Daten aus CSMA Consultants 2000, S. 114).....	108
Abbildung 39: Skizze für die Berechnung der Kosten pro Tonne für die Nachnutzung .....	110
Abbildung 40: Ablauf Targetcosting (Fischer und Götze 2008, S. 60).....	113

---

## 10 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1: Gewinnbare Elemente aus ultramafischen Gesteinen .....	1
Tabelle 2: Farbindex Bezeichnungen (LeMaitre 2005, S. 5) .....	5
Tabelle 3: Chemischer Charakter magmatischer Gesteine (Sebastian 2012, S. 36) .....	5
Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung, Karbonatisierungspotenzial und Karbonatisierungsreaktivität (O'Conner et al. 2005, S. 2).....	17
Tabelle 5: Einsatzmöglichkeiten der enthaltenen Stoffe von ultramafischen Gesteinen .....	18
Tabelle 6: Ultramafische Vorkommen in Österreich (erweitert nach Melcher et al. 2002, S. 72).....	25
Tabelle 7: Einteilung der geologischen Untersuchungsstadien zitiert aus (United Nations 1997, S. 137).....	35
Tabelle 8: Geographische Gegebenheiten (i. w. S.) am Standort eines Rohstoffvorkommens (Fettweis 1990, S. 26).....	41
Tabelle 9: MgO-Gehalte ultramafischer Gesteine .....	47
Tabelle 10: Beurteilung ultramafischer Gesteine in Österreich gemäß Kapitel 4..	50
Tabelle 11: Definition der Bewertungsskala .....	52
Tabelle 12: Bewertungsskala für den Böschungssicherheitsfaktor.....	53
Tabelle 13: MgO-Gehalte ultramafischer Gesteine .....	54
Tabelle 14: Bewertungsskala der geologischen Untersuchungsstadien.....	55
Tabelle 15: Bewertungsskala für die Zerkleinerbarkeit.....	55
Tabelle 16: Bewertungsskala der geologischen Untersuchungsstadien.....	56
Tabelle 17: Haupt- und selektierte Spurenelementzusammensetzung repräsentativer, ultramafischer Gesteine des Ultramafits von Kraubath (Thalhammer et al. 2010, S. 141).....	62
Tabelle 18: Nutzbares Lagerstättenvolumen Kraubath .....	64
Tabelle 19: Berechnungswerte für die Wertstoffmengen vom Vorkommen Kraubath .....	65
Tabelle 20: Wertstoffmengen des Kraubather Vorkommens .....	65
Tabelle 21: Gebirgsfestigkeitsparameter für das Vorkommen Kraubath .....	66

Tabelle 22: Berechnungswerte für die Böschungsstabilität des Kraubather Vorkommens .....	68
Tabelle 23: Bestimmung des Böschungssicherheitsfaktors mittels Hoek`s Circular Failure Chart.....	69
Tabelle 24: Unterschiedliche Work Indexe für Serpentin .....	70
Tabelle 25: Bewertung der bergtechnischen Parameter des Vorkommens in Kraubath.....	72
Tabelle 26: Ultramafite von Bernstein (Daten von Koller 1985, S. 124) .....	76
Tabelle 27: Berechnungswerte für Wertstoffmengen des Vorkommens von Bernstein .....	77
Tabelle 28: Wertstoffmengen des Bernsteiner Vorkommens .....	78
Tabelle 29: Berechnungswerte für die Böschungsstabilität vom Vorkommen Kraubath.....	79
Tabelle 30: Bestimmung des Böschungssicherheitsfaktors mittels Hoek`s Circular Failure Chart.....	79
Tabelle 31: Bewertung der bergtechnischen Parameter des Vorkommens von Bernstein .....	81
Tabelle 32: Wertstoffgehalte.....	83
Tabelle 33: Vor- und Nachteile eines Tagebaus.....	90
Tabelle 34: Explorationskosten pro Meter .....	98
Tabelle 35: Investitionskosten der drei Szenarien für die Exploration .....	98
Tabelle 36: Lebensdauer der Vorkommen Kraubath und Bernstein.....	99
Tabelle 37: Bergbaugeräte .....	100
Tabelle 38: Angestellte Bergbau .....	100
Tabelle 39: Arbeiter Bergbau.....	100
Tabelle 40: Bergbaukosten pro Tonne aus Abbildung 36.....	102
Tabelle 41: Bergbaukosten pro Tonne aus Abbildung 36.....	102
Tabelle 42: Förderleistung eines LKWs.....	104
Tabelle 43: Benötigte LKWs .....	104
Tabelle 44: LKW Transportkosten .....	105
Tabelle 45: Werte für LKW-Kostenberechnung .....	105
Tabelle 46: Benötigte LKWs .....	105
Tabelle 47: Benötigte LKWs .....	105

Tabelle 48: Kosten des Eisenbahntransportes (ÖBB Rail Cargo Group 2015) ..	106
Tabelle 49: Betriebskosten Zerkleinerung (Umrechnung im Anhang) .....	108
Tabelle 50: Investitionskosten und Gesamtkosten der Zerkleinerung .....	109
Tabelle 51: Kosten für Renaturierung/Rekultivierung .....	110
Tabelle 52: Gesamtkosten Bergbau .....	111
Tabelle 53: Gesamtkosten Bergbau .....	115
Tabelle 54: Vorkommen mit Position in unterschiedlichen Koordinatensystemen..	II
Tabelle 55: Umrechnung der Daten mit amerikanischen Werten für Personalkosten und Betriebsmittel auf europäisches Niveau (SME 2011, S. 290–293) .....	III
Tabelle 56: Umrechnung der Bergbaukosten von Dollar auf Euro (SME 2011, S. 290–293) .....	III
Tabelle 57: Umrechnung der Betriebskosten der Zerkleinerung in Euro auf europäisches Lohnniveau (CSMA Consultants 2000, S. 114) .....	IV

---

## 11 Abkürzungsverzeichnis

---

GE	Geldeinheit
LOA	Lower Austroalpine
ME	Mengeneinheit
MOA	Middle Austroalpine
Mt	Millionen Tonnen
PEN	Penninic
RLM	Ruthner-Luwa-Mitterberg
SUAA	South Upper Austroalpine
UVE	Umweltverträglichkeitserklärung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung

# Anhang

## Die österreichischen Vorkommen in unterschiedlichen Koordinatensystemen

Ultramafische Vorkommen in Österreich	BMN M31		GK M31		Lambert		WGS 84		UTM 33N		UTM 32N	
	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H
Burgenland												
Bernstein					621148	395545	16°15'54"	47°25'19"	595422	5252831		
Redlschlag					624855	397450	16°18'55"	47°26'16"	599169	5254656		
Rumpersdorf					626659	386619	16°20'01"	47°20'23"	600741	5243788		
Badersdorf					631166	370562	16°23'05"	47°11'38"	604902	5227637		
Steinbach					624106	401160	16°18'26"	47°28'17"	598500	5258380		
Kärnten												
Gulitzen	534217	199398	84217	199398	484190	337125	14°26'18"	46°55'42"	457251	5197360		
Saualpe	544164	197241	94164	197241	494134	334970	14°34'07"	46°54'28"	467146	5194994		
Stegsdorf	529601	203198	79601	203198	479576	340923	14°22'43"	46°57'47"	452719	5201256		
Niederösterreich												
Dobersberg-Waldkirchen	596995	424369	146995	424369	546979	561989	15°20'20"	48°56'23"	524827	5420799		
Raabs Umgebung			158136	416844	558112	554460	15°29'17"	48°52'09"	535793	5413037		
Drosendorf-Pingendorf (Standort Pingendorf)			168506	411464	568474	549075	15°37'38"	48°49'06"	546035	5407435		
Blumau-Ludweis												
Sulzmühle			157563	406630	557533	544250	15°28'35"	48°46'39"	534997	5402845		
Blumau			155686	404002	555655	541624	15°26'59"	48°45'16"	533064	5400260		
Wanzenau-Steinegg-Wegscheid			164603	389981	564561	527604	15°33'56"	48°37'34"	541668	5386058		
Zöbing-Schiltern (Standort Klopfhartsberg)			172654	379944	572602	517569	15°40'14"	48°32'02"	549492	5375856		
Rastbach-Wurschenaigen			154854	378200	554811	515834	15°25'44"	48°31'22"	531671	5374500		
Klein Heinrichschlag Umgebung	597225	364957	147225	364957	547180	502600	15°19'16"	48°24'20"	523761	5361435		
Weiten Umgebung (Dölla)	591338	349229	141338	349229	541291	486882	15°14'11"	48°15'56"	517539	5345848		
Ispertal	575673	343781	125673	343781	525632	481441	15°01'26"	48°13'12"	501769	5340745		
Aggsbach im Dunkelsteinerwald			157455	352673	557401	490319	15°27'16"	48°17'34"	533716	5348941		
Salzburg												

Hackbrettl	399258	228279	-50742	228279	349276	365992	12°39'47"	47°11'29"	322972	5229095	777475	5232958
Stubachtal	396482	225928	-53518	225928	346500	363643	12°37'36"	47°10'13"	320147	5226805	774832	5230455
Schwarze Wand	377314	230137	-72686	230137	327339	367852	12°22'24"	47°12'22"	301073	5231422	755452	5233595
Felbertal	384250	228802	-65750	228802	334273	366517	12°27'54"	47°11'42"	307979	5229939	762455	5232647
Steiermark												
Kraubath												
Gulsen	570826	239479	120826	239479	520778	377192	14°55'47"	47°16'59"	494685	5236633		
Preg	571480	239273	121480	239273	521432	376987	14°56'18"	47°16'52"	495334	5236413		
Lobming	577007	241278	127007	241278	526956	378991	15°00'43"	47°17'53"	500900	5238299		
Pernegg (Traföß)			152068	246963	552002	384674	15°20'42"	47°20'38"	526060	5243444		
Hochgrössen	519323	258094	69323	258094	469298	395797	14°15'07"	47°27'29"	443617	5256334		
Lärchkogel bei Trieben	534785	258684	84785	258684	484753	396386	14°27'25"	47°27'41"	459081	5256592		
Tirol												
Ochsner	334697	212784	115303	212784	284739	350509	11°48'55"	47°02'38"	258093	5214978	713856	5213902
Höchnöderer					159122	343300	10°10'01"	46°56'42"	132219	5210406	588810	5199720
Matrei Zone												
Blauspitze	394878	209126	-55122	209126	344896	346846	12°36'27"	47°01'08"	318186	5210041	774162	5213581
Ködnitztal	401087	210520	-48913	210520	351102	348240	12°41'21"	47°01'55"	324422	5211302	780287	5215318
Gösleswand	371087	205005	-78913	205005	321112	342729	12°17'44"	46°58'46"	294312	5206426	750626	5208148
Wurmtal	Italien											
Buinlandtal	Italien											
Reckner	320434	224224	129566	224224	270484	361946	11°37'28"	47°08'39"	244073	5226721	698982	5224533
Idalpe					170685	346955	10°19'01"	46°58'55"	143873	5213823	600152	5204012
Nauders					184602	336365	10°30'17"	46°53'30"	157585	5202929	614636	5194212
Mailfrosnitz (Dorfertal)	374015	211541	-75985	211541	324040	349263	12°19'58"	47°02'19"	297378	5212899	753189	5214839

Tabelle 54: Vorkommen mit Position in unterschiedlichen Koordinatensystemen

## Berechnungen Kosten

Operating costs [\$/t]	Mine Size		
	2000	20000	160000
Supplies	2,105	0,845	0,555
Labor	2,42	0,955	0,44
Equipment operation	0,835	0,72	0,85
Administration	1,1	0,345	0,14
Sundry items	0,645	0,285	0,2
	7,105	3,15	2,185

Für Europa +30 % Personalkosten und +30 % Betriebsmittel (Diesel)

Operating costs [€/t]			
Supplies	2,31	0,93	0,61
Labor	2,65	1,05	0,48
Equipment operation	0,70	0,61	0,72
Administration	0,93	0,29	0,12
Sundry items	0,54	0,24	0,17
	7,14	3,11	2,10

Tabelle 55: Umrechnung der Daten mit amerikanischen Werten für Personalkosten und Betriebsmittel auf europäisches Niveau (SME 2011, S. 290–293)

Mine size	Operating cost [\$/t]	Investment cost	depreciation time	depreciation per a	Total cost [\$/t]	Days	Total Resources
Betriebsgröße	Laufende Betriebskosten [€/t]	Investitionskosten	Abschreibungsdauer	Abschreibung pro Jahr	Gesamte Kosten [€/t]		
[t/d]	[\$/t]	[\$]	[a]	[\$/a]	[\$/t]	[d/a]	[Million t]
2000	7,105	5.396.500,00	10	539.650,00	8,83	312	3,12
20000	3,15	26.344.600,00	12	2.195.383,33	3,85	312	37,44
160000	2,185	160.382.500,00	12	13.365.208,33	2,64	365	350,4
[t/d]	[€/t]	[€]	[a]	[€/a]	[€/t]	[d/a]	[Million t]
2000	7,1	4.552.644,57	10	455.264,46	7,9	312	3,12
20000	3,1	22.225.071,81	12	1.852.089,32	3,4	312	37,44
160000	2,1	135.303.347,94	12	11.275.279,00	2,3	365	350,4
Euro / Dollar	1,185355						

Tabelle 56: Umrechnung der Bergbaukosten von Dollar auf Euro (SME 2011, S. 290–293)

Item	Cost [\$/t] 2000	Cost [\$/t] 2014	Kosten [€/t]
Electrical energy	0,77		0,89
Grinding media	0,6	0,85	0,72
Labour	0,57	0,81	0,88
Repair materials and supplies	0,28	0,40	0,33
Total	2,22		2,82
Euro / Dollar		Inflationsbereinigt 2,5 %	Lohnkosten plus 30 % in Europa
	1,185355		Energiekosten 6ct/kWh

Tabelle 57: Umrechnung der Betriebskosten der Zerkleinerung in Euro auf europäischen Lohnniveau (CSMA Consultants 2000, S. 114)