



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Kritische Hochtechnologierohstoffe im Biologieunterricht
– Didaktische Analyse und Entwicklung von
Unterrichtsmaterialien“

verfasst von / submitted by

Mag.rer.nat. Sabine Macho-Adam

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 299

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Biologie & Umweltkunde /
UF Psychologie & Philosophie

Betreut von / Supervisor:

Univ. Prof. Mag.rer.nat. Dr.mont Frank Melcher

Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- und Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien,.....

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Didaktischer Teil: Schulbuchanalyse.....	6
2.1 Methoden.....	7
2.1.1 Druckbild.....	10
2.1.2 Inhaltsverzeichnis.....	10
2.1.3 Glossar.....	11
2.1.4 Stichwortverzeichnis.....	11
2.1.5 Verständlichkeit des Textes.....	12
2.1.6 Aufbau des Schulbuches.....	13
2.1.7 Verwendete Begriffe und rohstoffbezogene Textstellen..	13
2.2 Ergebnisse der Schulbuchanalyse der 3. Klasse.....	14
2.2.1 Druckbild.....	14
2.2.2 Inhaltsverzeichnis.....	15
2.2.3 Glossar.....	16
2.2.4 Stichwortverzeichnis.....	17
2.2.5 Verständlichkeit des Textes.....	19
2.2.6 Aufbau des Schulbuches.....	30
2.2.7 Verwendete Begriffe und rohstoffbezogene Textstellen..	31
2.3 Ergebnisse der Schulbuchanalyse der 6. Klasse.....	39
2.3.1 Druckbild.....	39
2.3.2 Inhaltsverzeichnis.....	40
2.3.3 Glossar.....	41
2.3.4 Stichwortverzeichnis.....	42
2.3.5 Verständlichkeit des Textes.....	44
2.3.6 Aufbau des Schulbuches.....	57
2.3.7 Verwendete Begriffe und rohstoffbezogene Textstellen..	59
2.4 Interpretation der Ergebnisse.....	70

3 Theoretischer Teil:.....	72
3.1 Lagerstättenkunde.....	73
3.1.1 Magmatogene Erzlagerstätten.....	76
3.1.2 Verwitterungslagerstätten.....	80
3.2.3 Sedimentäre Lagerstätten.....	81
3.1.4 Diagenetische Lagerstätten.....	83
3.1.5 Metamorphe Lagerstätten.....	84
3.1.6 Metamorphogene Lagerstätten.....	84
3.2 Kritische Hochtechnologie-Rohstoffe.....	85
3.2.1 Antimon.....	91
3.2.2 Beryllium.....	92
3.2.3 Chrom.....	94
3.2.4 Kobalt.....	95
3.2.5 Gallium.....	97
3.2.6 Germanium.....	99
3.2.7 Indium.....	100
3.2.8 Magnesium.....	101
3.2.9 Platingruppenelemente (PGE).....	103
3.2.10 Seltene Erden (SE).....	105
3.2.11 Tantal & Niob	108
3.2.12 Wolfram.....	110
4 Schulpraktischer Teil:.....	113
4.1 Erste Unterrichtseinheit.....	116
4.2 Zweite Unterrichtseinheit.....	118
4.3 Dritte Unterrichtseinheit.....	120
Literaturverzeichnis.....	124
Anhang: Unterrichtsmaterial.....	129
Zusammenfassung.....	142
Abstract.....	143

1 Einleitung

Betrachtet man die derzeitigen AHS-Lehrpläne stellt man fest, dass geologische Themen eher geringe Bedeutung im österreichischen Biologieunterricht haben und nur in der 3. Klasse und in der 6. Klasse vorgesehen sind. So ist in der 3. Klasse, zugehörig zum Themenbereich „Tiere und Pflanzen“ *„die Entwicklungsgeschichte der Erde und des Lebens, einschließlich des Menschen, zu behandeln“* (BMB - Lehrplan 2000, 4). Und zugehörig zum Themenbereich „Ökologie und Umwelt“ *„sollen grundlegende geologische Kenntnisse dem Verständnis des Bodens und des Zusammenwirkens von belebter und unbelebter Natur dienen“* (BMB - Lehrplan 2000, 4).

In der Oberstufe finden sich geologisch relevante Inhalte, nach Lehrplan 2004, in der 6. Klasse unter dem Themenbereich „Weltverständnis und Naturerkenntnis“ mit dem Unterkapitel „Bioplanet Erde“, worin ein *„Einblick in die Stellung der Erde im Weltall, Wissen um Aufbau und Struktur der Erde und der geodynamischen Formungskräfte als Grundlage der Entstehung ausgewählter österreichischer Landschaften“* (BMB - Lehrplan 2004, 3) gefordert wird.

Mit September 2017 sind, beginnend für die 5. und 6. Klassen, die neuen kompetenzorientierten semestrierten Lehrpläne in Kraft getreten, wobei geologische Inhalte nur mehr im 4. Semester (= 2. Semester der 6. Klasse) in Form von *„Aufbau und Struktur der Erde“* und *„geodynamische Formungskräfte“* aufscheinen (BMB - Lehrplan 2004).

Vergleicht man die aktuellen Lehrpläne mit denen aus früheren Jahren, so zeigt sich deutlich, dass in den letzten 30 Jahren erdwissenschaftliche Themen im Biologieunterricht immer weiter in den Hintergrund getreten sind und durch andere populärere biowissenschaftliche und humanbiologische Themen verdrängt wurden. So beinhaltet der AHS Unterstufenlehrplan von 1985 in der 3. Klasse den Themenbereich „Geologie“ mit *„Kenntnis der wichtigsten Gesteine und Minerale, den geologischen Aufbau Österreichs, die Entstehungsgeschichte der Heimat, den Kreislauf der Gesteinsbildung, Erstarrungsgesteine, Umwandlungsgesteine, Sedimentgesteine, das Vorkommen von Bodenschätzen sowie die daraus entstehenden Umweltprobleme bei der Gewinnung und Nutzung von*

Bodenschätzen.“ Zudem waren auch in der 4. Klasse erdwissenschaftliche Themen vertreten unter dem Themenbereich „Entwicklung der Erde und der Lebewesen“, waren *„die Entwicklungsgeschichte der Erde und der Lebewesen, Fossilien, die Entstehung von Fossilien und die Rolle der Fossilien bei der Erforschung der Entwicklungsgeschichte der Pflanzen- und Tierwelt und des Menschen.“* enthalten. (vgl. BURGHARD 2015, 65)

In der AHS Oberstufe kamen nach dem Lehrplan 1989 erdwissenschaftliche Themen in mehreren Klassen vor. So beinhaltete die 5. Klasse das „kosmische Bedingungsfeld“ mit *„Sonnensystem, Planeten, Atmosphäre und Hydrosphäre“* und das „geologische Bedingungsfeld“ mit *„Erdaufbau, magmatische Gesteine, metamorphe Gesteine, Verwitterung, Abtragung, Ablagerung, Sedimentgesteine, Kreislauf der Gesteinsbildung, Plattentektonik, Geologie von Österreich, Lagerstätten, Boden und Bodenbildung“*. Zudem waren in der 7. Klasse im Realgymnasium „Populationsökologie“ mit *„Bergbau und Boden“* sowie „Katastrophenökologie“ mit *„Erosion, Überschwemmungen und Desertifikation“* vertreten. Das Vertiefungsgebiet der 7. Klasse beinhaltete *„regionale Geologie, Bergbau, Bodenschätze und Bodenkunde“*. Die 8. Klasse beinhaltete *„den Ablauf der Entwicklungsgeschichte“* sowie *„chemische und biologische Evolution“*. (BURGHARD 2015, 66)

Auch in der Ausbildung der Lehrer und Lehrerinnen war die Geologie früher in einem größeren Umfang vertreten. So müssen im Zuge des Lehramt - Diplomstudiums im Unterrichtsfach „Biologie und Umweltkunde“, insgesamt 10 Semesterwochenstunden (davon 5 im ersten Abschnitt und 5 im zweiten Abschnitt) *Erdwissenschaftliche Fächer* absolviert werden. Dazu zählt eine zweistündige Vorlesung mit dem Titel „Das dynamische Bild der Erde“, eine dreistündige Lehrveranstaltung (Vorlesung plus Übung) unter dem Titel „Mineralogie und Rohstoffkunde“, das Seminar „Erdgeschichte unter der besonderen Berücksichtigung der Geologie Österreichs“ sowie die dreistündige „Gesteins- und Bodenkunde“ (Vorlesung plus Übung). Allerdings kann dieses Diplomstudium seit 2015 nicht mehr inskribiert werden und läuft mit 30.04.2020 aus. (vgl. UNIVERSITÄT WIEN – Curriculum Diplom Lehramt Biologie & Umweltkunde)

Seit 2011 stellt das Lehramtsstudium Unterrichtsfach „Biologie und Umweltkunde“

ein Bachelor- beziehungsweise Masterstudium dar, bei welchem geologische Themen nur noch im Zuge des Pflichtmoduls „*Der Lebensraum Erde und seine Geschichte*“ in der zweistündigen Vorlesung „Erdwissenschaftliche Grundlagen“ gelehrt werden. (vgl. UNIVERSITÄT WIEN – Curriculum Bachelor Lehramt Biologie & Umweltkunde)

Die Tatsache, dass der Geologie in den AHS Lehrplänen eher geringe Bedeutung zukommt und dass sie im Lehramtsstudium für Biologie und Umweltkunde nur einen relativ kleinen Teil ausmacht, könnte die Vermutung nahe legen, dass geologische Themen von Lehrern und Lehrerinnen nicht sehr umfangreich unterrichtet und eher stiefmütterlich behandelt werden. Insgesamt kommt also die Geologie im Schulunterricht oft zu kurz, was sehr schade ist, denn gerade erdwissenschaftliche Themen stellen oft einen Bezug zur Lebenswelt der Schüler und Schülerinnen her und sind oft durch Aktualität und mediale Präsenz gekennzeichnet.

Einen guten Anhaltspunkt dafür, in welchem Umfang erdwissenschaftliche Themen im Biologieunterricht tatsächlich durchgemacht werden, liefern Schulbücher. Vielfach werden diese Lehrwerke von Lehrern und Lehrerinnen zur Unterrichtsvorbereitung verwendet. Schon KUHN & RATHMAYR (1977) bezeichneten das Schulbuch als „...*ein zum Leben erweckter Lehrplan*“. Somit spiegeln sich Umfang und Qualität des unterrichteten Themas im Schulbuch, welches zur Unterrichtsvorbereitung verwendet wurde, wieder. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, gängige Lehrwerke zu analysieren und auf Umfang und Qualität bestimmter Inhalte zu überprüfen. So wird im ersten Teil dieser Diplomarbeit eine vergleichende Schulbuchanalyse durchgeführt. Dabei werden einerseits allgemeine Kriterien wie äußere Gestaltung und Aufmachung der Bücher untersucht, denn sowohl Lehrer und Lehrerinnen als auch Schüler und Schülerinnen verwenden diese nur gerne, wenn sie in ihrer Handhabung praktisch sind und von der äußeren Aufmachung her ansprechend erscheinen. Andererseits werden im Zuge der Schulbuchanalyse bestimmte Inhalte auf Umfang und Qualität hin verglichen, wobei der Schwerpunkt hier auf das Thema Rohstoffe gelegt wird. Dieses Thema spielt eine bedeutende Rolle in der Alltagswelt von Schülern und Schülerinnen, wie beispielsweise geologische Rohstoffe. Für die Herstellung diverser Konsumgüter, die von Schülern und Schülerinnen genutzt werden, wie z.B. dem Handy, benötigt man eine Vielzahl von Rohstoffen. Neben

fossilem Erdöl für die Kunststoffe, braucht man auch eine Reihe an metallischen Rohstoffen, welche diversen Lagerstätten in Form von Erzen entnommen werden müssen. All diese Rohstoffe wachsen nicht nach und müssen in aufwändigen Verfahren abgebaut und verarbeitet werden. Das kostet Energie und stellt eine Belastung für Natur und Umwelt dar. Somit ist es sehr wichtig, bei den Schülern und Schülerinnen im Sinne des Nachhaltigkeitsgedankens, ein Bewusstsein dafür zu schaffen, mit Rohstoffen sorgsam umzugehen und mögliche Lösungsansätze, wie beispielsweise Recycling aufzuzeigen.

Obwohl die aktuellen Lehrpläne geologische Themen nur in geringem Ausmaß berücksichtigen, gibt es doch verschiedenste Möglichkeiten im Biologieunterricht genauer darauf einzugehen. So bietet zum Beispiel die freie Gestaltung des Erweiterungsbereiches in der Unterstufe die Möglichkeit geologische Themen genauer durchzunehmen. Außerdem besteht im Rahmen des Wahlpflichtfaches in der Oberstufe die Möglichkeit erdwissenschaftliche Themen zu behandeln. Im österreichischen Lehrplan wird ausdrücklich auf die Notwendigkeit fächerübergreifenden Unterrichts hingewiesen (vgl. BMB - Lehrplan 2000, 8). Dafür bieten geologische Themen zahlreiche Möglichkeiten, wie z.B. mit Chemie im Bereich der Mineralogie und der Zusammensetzung von Gesteinen, oder mit Physik, wenn es um den Aufbau der Erde und des Sonnensystems geht, oder mit Geographie und Wirtschaftskunde bei Themen wie Verteilung von Ressourcen und soziale Ungerechtigkeiten, die damit einhergehen.

Im zweiten Teil der Diplomarbeit wird ein Thema vorgestellt, welches sich aufgrund seiner Aktualität, seiner Nähe zur Alltagswelt der Schüler und Schülerinnen und aufgrund seiner Komplexität gut für einen fächerübergreifenden Unterricht eignen würde. Dabei geht es um metallische Rohstoffe, welche für Hochtechnologieanwendungen benötigt werden und aufgrund ihres steigenden Bedarfs und ihrer begrenzten Verfügbarkeit innerhalb der Europäischen Union als kritisch bezeichnet werden. Zu Beginn erfolgt eine kurze Einführung in die Lagerstättenkunde, um danach bezüglich der erwähnten Metalle einen Überblick über deren Verwendung und Vorkommen zu geben. Dabei werden auch mögliche Vorkommen in Österreich erwähnt und somit ein Bezug zur heimischen Geologie hergestellt. Der stark ansteigende Verbrauch dieser Rohstoffe hat natürlich dramatische Folgen für

Mensch und Umwelt. Daher ist es wichtig, die Schüler und Schülerinnen über diese Auswirkungen zu informieren und ein Bewusstsein für diese Problematik zu schaffen. Den Schülern und Schülerinnen sollen mögliche Lösungsansätze aufgezeigt werden, wie die Notwendigkeit von nachhaltigem Konsum und Recycling der Rohstoffe.

Im dritten Teil der Diplomarbeit wird entwickeltes Unterrichtsmaterial zu diesem Thema vorgestellt. Es soll den Schülern und Schülerinnen ermöglichen sich fächerübergreifend Wissen in größeren Zusammenhängen anzueignen. Es soll junge Menschen dazu anregen ihr Konsumverhalten kritisch zu hinterfragen und einen bewussten Umgang mit Rohstoffen sowie mögliche Lösungsansätze aufzeigen.

2 Didaktischer Teil - Schulbuchanalyse

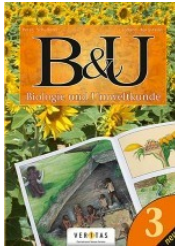
Das Schulbuch hat eine zentrale Bedeutung im Unterricht. Es stellt das am häufigsten genutzte Unterrichtsmaterial dar und auch bei der Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts spielt es eine bedeutende Rolle (vgl. LÄSSIG 2010, 200). Für Schüler und Schülerinnen ist das Schulbuch eine wichtige Informationsquelle und es vermittelt den Anspruch auf Allgemeingültigkeit (OLECHOWSKY 1995, 17). Sehr oft bestimmt der Inhalt eines Schulbuches was im Unterricht gelehrt wird (SNYDER & BROADWAY 2004, 619). Demzufolge ist es nicht überraschend, dass es schon seit deren Einführung Bestrebungen gibt, diese Lehrwerke zu verbessern. Eine Auseinandersetzung mit der Qualität von Schulbüchern und deren Verbesserung auf wissenschaftlicher Basis, etablierte sich im deutschsprachigen Raum aber erst in den 60er und 70er Jahren des vorangegangenen Jahrhunderts. So wurde in Wien 1988 das Institut für Schulbuchforschung und Lernförderung auf Initiative von Bamberger gegründet (BAMBERGER 1995, 60). Eine zentrale Methode der Schulbuchforschung ist die Schulbuchanalyse, um die Qualität der Bücher zu verbessern und einen Vergleich verschiedener Lehrwerke zu ermöglichen. Bei dem Versuch zu einer objektiven Beurteilung von Schulbüchern zu gelangen, wurden zahlreiche Beurteilungskriterien und Untersuchungsmethoden entwickelt und in sogenannten Schulbuchrastern zusammengetragen. Allerdings gibt es bis heute keine allgemeingültigen und verbindlichen Kriterienkataloge und es setzte sich in der Schulbuchforschung die Ansicht durch, dass jede Lehrbuchanalyse demnach auch ein subjektives Unterfangen sei (DUSZENKO 1994, 28).

Möchte man eine Schulbuchanalyse durchführen, bedarf es der Entwicklung eines eigenen Kriteriensystems, wobei unter anderem auch die Besonderheit des jeweiligen Faches berücksichtigt werden sollte. Die meisten der entwickelten Kriterien beziehen sich auf die allgemeine Gestaltung und auf den Inhalt des Schulbuches.

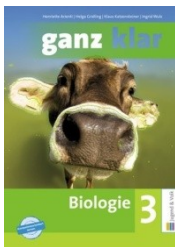
2.1 Methoden

Zur Schulbuchanalyse werden je 5 Schulbücher aus der 3. Klasse und 5 Schulbücher aus der 6. Klasse AHS untersucht und miteinander verglichen. Dabei wurden folgende Bücher aus dem aktuellen Schulbuchkatalog ausgewählt:

3. Klasse:



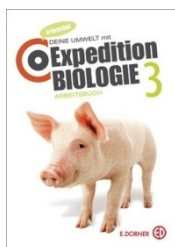
Schulbuch 1:
BURGSTALLER, J. & SCHULLERER, P. (2010):
B&U Biologie und Umweltkunde.
Veritas Verlag, Linz
(Schulbuchnummer: 145.093)



Schulbuch 2:
ARIENTI, H. et al. (2012):
ganz klar Biologie 3.
Verlag Jugend & Volk GmbH, Wien
(Schulbuchnummer: 135.419)



Schulbuch 3:
BIEGL, C.E. (2012):
Begegnungen mit der Natur 3.
Verlag öbvhpt GmbH & Co. KG, Wien
(Schulbuchnummer: 155.127)



Schulbuch 4:
MÖSLINGER, E. & SCHIRL, K. (2013):
Expedition Biologie 3.
Verlag E. Dorner GmbH, Wien
(Schulbuchnummer: 160.345)



Schulbuch 5:

DOBERS, J. & SCHIRL, K. et al. (2014):

Über die Natur 3.

Verlag E. Dorner GmbH, Wien

(Schulbuchnummer: 105.192)

5. Klasse:



Schulbuch 1:

SCHERMAIER et al. (2015):

bio @ school.

Veritas Verlag, Linz

(Schulbuchnummer: 170.188)



Schulbuch 2:

FLECK et al. (2014):

Basiswissen Biologie 2.

Verlag öbvht GmbH & Co. KG, Wien

(Schulbuchnummer 130.232)



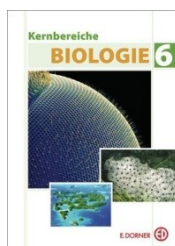
Schulbuch 3:

BIEGL, C.E. (2014):

Begegnungen mit der Natur 6.

Verlag öbvht GmbH & Co. KG, Wien

(Schulbuchnummer: 165.307)



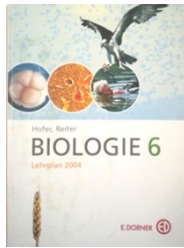
Schulbuch 4:

KOCH, B. & KOCH E.M. (2013):

Kernbereiche BIOLOGIE 6.

Verlag E. Dorner GmbH, Wien

(Schulbuchnummer: 160.414)



Schulbuch 5:
HOFER H. & REITER, E. (2011):
BIOLOGIE 6.
Verlag E. Dörner GmbH, Wien
(Schulbuchnummer: 126.032)

Die bei der folgenden Schulbuchanalyse verwendeten Analysekriterien beziehen sich auf allgemeine und formale Gesichtspunkte, sowie auf inhaltlich-didaktische.

Erstere erachte ich als bedeutend, da die Motivation der Schüler und Schülerinnen mit der äußeren Gestaltung des Buches einhergeht.

Eine inhaltlich-didaktische Untersuchung der Schulbücher ist ebenso unerlässlich, da sich die unterschiedlichen Lehrwerke im fachlichen Umfang der einzelnen Kapitel und in der Sachgenauigkeit des jeweiligen Stoffgebietes erheblich unterscheiden. Welche der untersuchten Biologie-Schulbücher ausreichend fachlich richtige Informationen zu geologischen Themen und speziell zu Rohstoffen und Lagerstätten beinhalten, soll anhand dieser Kriterien analysiert werden. Zudem ist es wichtig, dass die Texte in einer altersadäquaten Sprache verfasst sind, was mithilfe einer Textanalyse festgestellt werden kann.

Allgemein-formale Kriterien

Diese Kriterien sind auf das gesamte Schulbuch bezogen und es geht weniger um inhaltliche Aspekte, als um Aufmachung und Handhabung des Buches. Die Gestaltung eines Lehrwerkes ist laut DUSZENKO (1994) nicht zu unterschätzen, da sie die Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen beeinflusst. So soll ein Schulbuch einerseits abwechslungsreich und ansprechend gestaltet sein, um zu vermeiden, dass sich die Leser langweilen. Andererseits ist eine gewisse Übersichtlichkeit und einfache Handhabung des Buches unbedingt notwendig, um bestimmte Sachverhalte zu verstehen und im Gedächtnis behalten zu können.

Ein wichtiger Punkt bei der Auswahl der Analysekriterien ist, dass sie nicht nur einer Beschreibung dienen, sondern auch bewertbar sind (vgl. DUSZENKO 1994, 34f). Einige der hier verwendeten Kriterien und deren Bewertungssystem wurden aus der Analyse von Biologie-Schulbüchern übernommen, welche von AUFDERMAUER &

HESSE (2006) entwickelt wurden.

Zur Bewertung der allgemein-formalen Kriterien wird ein Punktesystem von 1 bis 4 verwendet und in einer Tabelle gemeinsam für alle untersuchten Schulbücher dargestellt. Bei der Bewertung der analysierten Eigenschaften entsprechen 4 Punkte einem „sehr gut“, 3 Punkte einem „gut“, 2 Punkte einem „ausreichend“ und 1 Punkt einem „mangelhaft“ oder „nicht vorhanden“.

Setzt sich ein Kriterium aus mehreren einzelnen Kriterien zusammen, wie es zum Beispiel beim Druckbild der Fall ist, so erhält man eine Gesamtbewertung, indem man die Punktwerte der bewerteten Einzelkriterien addiert und durch die Anzahl der Teilkriterien dividiert. Das aufgerundete (bei Kommastellen von 5 bis 9) oder abgerundete (bei Kommastellen von 1 bis 4) Ergebnis entspricht einer Zahl zwischen 1 und 4. (vgl. AUFDERMAUER & HESSE 2006, 13-14).

Folgende Kriterien wurden zur Analyse herangezogen:

2.1.1 Druckbild

Ob ein Text ansprechend und angenehm zu lesen ist hängt, neben inhaltlichen Kriterien, auch von seiner Form ab. Folgende Teilkriterien werden dazu bewertet:

- Schriftgröße
- Schriftform
- Zeilenabstand
- Gliederung in Absätze oder Spalten
- Hervorheben von wichtigen Begriffen durch unterschiedliche Farbwahl, Schriftgröße oder Strichstärke

2.1.2 Inhaltsverzeichnis

Das Inhaltsverzeichnis verschafft einen Überblick über die Gliederung der einzelnen Kapitel und ermöglicht ein rasches Auffinden gesuchter Themenbereiche. Untersucht werden hierbei:

- Klare und sinnvolle Gliederung der Inhalte
- Übersichtliche Gestaltung des Inhaltsverzeichnisses

2.1.3 Glossar

Wichtige Fachbegriffe können hier nachgeschlagen werden und es sollte gut verständliche und altersentsprechende Erklärungen beinhalten. Demzufolge werden hier folgende Teilkriterien bewertet:

- Vorhandensein eines Glossars
- Gut verständliche Erklärungen der Fachbegriffe

2.1.4 Stichwortverzeichnis

Den Schülern und Schülerinnen wird mit diesem Verzeichnis ermöglicht, Begriffe aus dem Text schnell nachzuschlagen und sich über Fachbegriffe zu informieren. Ein Stichwortverzeichnis sollte verständliche Erklärungen von Begriffen mit zentraler Bedeutung beinhalten. Zudem wäre eine übersichtliche Gestaltung wünschenswert, damit der Leser gesuchte Begriffe rasch finden kann.

Untersucht werden:

- Übersichtliche Gestaltung des Stichwortverzeichnisses
- Vorkommen von Begriffen mit zentraler Bedeutung

Inhaltlich-didaktische Kriterien

Die inhaltlichen Kriterien beziehen sich auf Kapitel, welche geologische Themen behandeln. Besonderes Augenmerk soll dabei auf Gesteine beziehungsweise Erze und auf Inhalte, welche sich mit Rohstoffvorkommen und Lagerstätten befassen, gelegt werden. Unter Punkt 1.6 und 1.7 sind jene Kriterien, welche zu einer derartigen Untersuchung herangezogen werden, erklärt.

Ein Schulbuchtext sollte so gestaltet sein, dass fachwissenschaftliche Inhalte auf altersentsprechende Art und Weise den Schülern und Schülerinnen verständlich gemacht werden können. Demnach dürfen Schulbuchtexte ihre Zielgruppe nicht überfordern, was eine gewisse Reduktion der fachwissenschaftlichen Sprache voraussetzt. Andererseits müssen Genauigkeit und Richtigkeit gewahrt sein (vgl. SITTE & WOHLSCHLÄGL 2001, 469). Um festzustellen, ob ein Text der jeweiligen Schulstufe entspricht, gibt es geeignete Verfahren, welche unter Punkt 1.5 beschrieben werden.

2.1.5 Verständlichkeit des Textes

Ob ein Sachtext in altersadäquater Sprache für die jeweilige Schulstufe verfasst wurde, lässt sich mithilfe von Lesbarkeitsbestimmungen herausfinden. BAMBERGER und VANECEK (1984) entwickelten eine Reihe von Lesbarkeitsformeln für deutschsprachige Texte, welche die Lesbarkeit zu den Zielgruppen der jeweiligen Schulstufen in Bezug setzen. Bei diesen Verfahren werden vor allem Wortlänge in Silben und Satzlängen betrachtet (vgl. HUEMER 2008, 20). Die 4. Wiener Sachtextformel stellt eine geeignete Methode dar, um die Verständlichkeit der Texte bezüglich der Schulstufen zu untersuchen. Bei diesem von BAMBERGER & VANECEK (1984) entwickelten Verfahren handelt es sich um eine Regressionsgleichung, bei der in einer Stichprobe von 100 Wörtern bzw. 10 Sätzen, folgende Variablen ausgezählt werden:

- Die durchschnittliche Satzlänge in Wörtern (SL)
- Der Prozentsatz an drei- und mehrsilbigen Wörtern (MS)

Der ermittelte Wert liegt zwischen Schulstufe 4, für die einfachste, und Stufe 15, für die schwierigste, und ergibt sich aus der Formel:

$$\gg \text{Stufe} = 0,2656 * \text{SL} + 0,2744 * \text{MS} - 1,6939 \ll$$

Zur Ermittlung des Prozentsatzes an drei- und mehrsilbigen Wörtern (MS) werden dazu in jedem Schulbuch zwei Textstellen zu je 100 Wörtern aus den Geologiekapiteln ausgewählt. Die Anzahl der drei- und mehrsilbigen Wörter wird ausgezählt und deren Prozentsätze berechnet.

Um die durchschnittliche Satzlänge (SL) zu errechnen, werden die gewählten Textproben nach oben und nach unten ergänzt, so dass ein Abschnitt aus 10 Sätzen ausgezählt werden kann. Nun wird die durchschnittliche Anzahl der Wörter pro Satz errechnet.

Anschließend wird der Mittelwert der MS- und SL-Werte aus beiden Textproben errechnet und in die 4. Wiener Sachtextformel eingegeben. Als Ergebnis erhält man einen Wert, welcher die entsprechende Schulstufe darstellt. Für die 3. Klasse AHS wäre nach BAMBERGER und VANECEK (1984) Stufe 7 geeignet, wobei dieser Stufe ein durchschnittlicher SL-Wert von 14 Wörtern und ein MS-Wert von 19 Prozent entsprechen würden. Der 6. Klasse entspräche Stufe 10, wobei ein durchschnittlicher SL-Wert von 17 Wörtern und ein MS-Wert von 27

Prozent angemessen wären.

Im Ergebnisteil werden die gewählten Textproben aus 10 Sätzen angeführt. Der 100 Wörter lange Teil, der zur Ermittlung der MS herangezogen wurde, ist mit eckigen Klammern markiert. Bei der Auszählung werden zusammengesetzte Wörter, sowie Wörter mit Bindestrich als ein Wort gezählt. Zahlen und Zeichen werden ebenfalls als ein Wort gezählt, wobei deren Silbenanzahl aus der ausgeschriebenen Form ermittelt wurde.

2.1.6 Aufbau des Schulbuches

Hier wird der Umfang des Kapitels mit geologischen Inhalten im Verhältnis zum Gesamtumfang des Buches untersucht. Dabei wird die Anzahl der Seiten im Geologiekapitel prozentual berechnet und tabellarisch dargestellt.

2.1.7 Verwendete Begriffe und rohstoffbezogene Textstellen

Zur quantitativen und qualitativen Analyse des fachlichen Inhalts der Bücher wird die Verwendung bestimmter Begriffe und Textstellen untersucht.

Da der Schwerpunkt der Schulbuchanalyse auf Inhalten im Zusammenhang mit Gesteinskunde und Rohstoffvorkommen liegen soll, werden somit alle erwähnten Gesteine und Erze ausgezählt. Zudem soll auch untersucht werden, ob die genannten Gesteine und Erze erklärt und als Abbildungen dargestellt werden. Als Ergebnis werden die genannten Begriffe in einer Tabelle angeführt.

Zudem gibt es einen inhaltlichen Vergleich bestimmter Textstellen, in denen Rohstoffvorkommen oder Lagerstätten erwähnt werden.

2.2 Ergebnisse der Schulbücher der 3. Klasse

verwendete Schulbücher (SB) der 3. Klasse:

SB1: B&U Biologie und Umweltkunde

SB2: ganz klar Biologie 3

SB3: Begegnungen mit der Natur 3

SB4: Expedition Biologie 3

SB5: Über die Natur 3

Bewertung:

sehr gut = 4 Punkte

gut = 3 Punkte

ausreichend = 2 Punkte

mangelhaft/ nicht vorhanden = 1 Punkt

2.2.1 Druckbild

DRUCKBILD	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Schriftgröße	4	4	4	2	3
Schriftform	3	4	3	4	3
Zeilenabstand	4	4	4	3	3
Gliederung	2	4	4	2	4
Hervorheben	3	4	4	4	3
Berechnung	$16/5=3,2$	$20/5=4$	$19/5=3,8$	$15/5=3$	$16/5=3,2$
GESAMTBEWERTUNG	3	4	4	3	3

Tabelle 1: Darstellung der 5 Einzelkriterien zur Bewertung des Druckbildes in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

Die höchste Punktezahl bei der Bewertung erhielt SB2. Dieses Buch erscheint optisch sehr ansprechend. Schriftform, Schriftgröße und Zeilenabstand sind so gewählt, dass sich der Text angenehm und ohne große Anstrengung für das Auge lesen lässt. Auch die Gliederung der Absätze und Aufgaben erscheint sehr

übersichtlich. Aufgaben werden farblich markiert und wichtige Begriffe sind fett hervorgehoben. Ebenso 4 Punkte in der Gesamtbewertung (gerundet) erhielt SB3. Allerdings ist hier die gewählte Schriftform im Haupttext etwas unangenehmer zu lesen, weshalb diese Einzelkategorie nur 3 Punkte erhielt. SB4 und SB5 sind wegen der zu kleinen Schriftgröße und dem geringen Zeilenabstand unangenehm zu lesen. In SB4 ist der Haupttext von grüner Hintergrundfarbe eingefasst, wodurch das Lesen noch anstrengender wird. Auch die Gliederung der Absätze und eingefügten Aufgaben und Merksätze ist in diesem Schulbuch, ebenso wie in SB1, nicht sehr übersichtlich gestaltet und bewirkt wegen der vielen eingeschobenen Bilder, Aufgaben und Zusatzinformationen, eher eine optische Überforderung.

2.2.2 Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
sinnvolle Gliederung	4	3	3	4	2
übersichtliche Gestaltung	4	3	3	3	3
Berechnung	8/2=4	6/2=3	6/2=3	7/2=3,5	5/2=2,5
GESAMTBEWERTUNG	4	3	3	4	3

Tabelle 2: Darstellung der Einzelkriterien zur Bewertung des Inhaltsverzeichnisses in den fünf ausgewählten Schulbüchern

Das Inhaltsverzeichnis ist in SB1 sehr klar gegliedert. Es gibt die Kapitel „Erde im Wandel“, „Geologie“, „Ökologie“, „Nutzpflanzen“ und „Nutztiere“. Jedes dieser Kapitel ist mit einem bestimmten Farbcode versehen, was die Handhabung des Buches sehr vereinfacht. Außerdem werden im Inhaltsverzeichnis „Glossar“ und „Stichwortverzeichnis“ angegeben. Zudem ist farblich gekennzeichnet, auf welchen Seiten sich Übungsaufgaben und Experimentanleitungen befinden. Auch in SB4 ist das Inhaltsverzeichnis sehr übersichtlich gestaltet. Die verschiedenen Kapitel sind ebenfalls farblich unterschieden und können rasch gefunden werden. Dies trifft aber nicht für das „Vokabular“ und das „Stichwortverzeichnis“ zu, welche sich auf den letzten Buchseiten befinden. Denn diese sind im Inhaltsverzeichnis nur in kleiner Schriftgröße angegeben und erwecken den Anschein, als gehörten sie zum letzten Kapitel. SB5 besitzt kein eigenes Kapitel zur Geologie. Die Gesteinskunde und die

Geologie Österreichs sind hier unter dem Kapitel Ökosysteme zu finden, weshalb bei der Bewertung nur 2 Punkte vergeben wurden. Auch die Gestaltung des Inhaltsverzeichnisses ist sehr einfach. Es gibt keine farblichen Markierungen und keinerlei Angaben darüber, wo Übungsaufgaben oder Zusammenfassungen zu finden sind. Weder in SB2 noch in SB3 gibt es ein Kapitel, welches sich mit Ökosystemen im Allgemeinen befasst. In beiden Büchern findet man das Kapitel „Boden“ und in SB2 gibt es zudem noch das Kapitel „Ökosystem Wiese“, aber es ist nicht klar, wo allgemeine Informationen zur Ökologie zu finden sind. Auch die Gestaltung der Inhaltsverzeichnisse stellt sich in beiden Büchern eher einfach dar. So gibt es keinerlei Hinweise auf Übungsaufgaben oder Zusammenfassungen.

2.2.3 Glossar

GLOSSAR	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Vorhandensein	4	4	1	1	1
verständliche Erklärungen	2	4	1	1	1
Berechnung	6/2=3	8/2=4	2/2=1	2/2=1	2/2=1
GESAMTBEWERTUNG	3	4	1	1	1

Tabelle 3: Darstellung der Einzelkriterien zur Bewertung des Glossars in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

Ein Glossar zum Nachschlagen der wichtigsten Fachbegriffe war nur in SB1 und SB2 zu finden. In SB2 wird es allerdings als „Lexikon“ bezeichnet, und umfasst insgesamt 76 Begriffe, welche farblich hervorgehoben und mit Seitenverweisen zu den Kapiteln im Buch versehen sind. Die Erklärungen sind kurz aber ausreichend und verständlich. In SB1 umfasst das Glossar nur 31 Begriffe, wobei deren Erklärungen oft nicht ausreichend erscheinen. So wird der Begriff „Stein“ als „*kleiner Brocken (Handstück) aus einem Gestein der Erdkruste*“ beschrieben. Man findet aber keine Erklärung zu Gesteinen. Auch der Begriff „Kristall“ wird erklärt als „*Bestandteil von Gesteinen. Er besteht aus einem Mineral und ist geometrisch geformt (von Natur aus hat er ebene Flächen und gerade Kanten).*“ Der Begriff „Mineral“ ist jedoch im Glossar nicht enthalten, wäre aber zum Verständnis von „Kristall“ notwendig.

2.2.4 Stichwortverzeichnis

STICHWORTVERZEICHNIS	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
übersichtliche Gestaltung	4	4	4	3	4
enthält zentrale Begriffe	4	4	2	2	4
Berechnung	$8/2=4$	$8/2=4$	$6/2=3$	$5/2=2,5$	$8/2=4$
GESAMTBEWERTUNG	4	4	3	3	4

Tabelle 4: Darstellung der Einzelkriterien zur Bewertung des Stichwortverzeichnisses in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

SB5 erhielt die volle Punktezahl bei der Bewertung, da in dem sehr umfangreichen Stichwortverzeichnis, welches insgesamt 431 Begriffe umfasst, alle wichtigen Stichwörter angeführt sind. Auch zahlreiche Gesteine, wie „Basalt“, „Brekzien“, „Dolomit“, „Feldspat“, „Gabbro“, „Glimmer“, „Gneis“, „Granit“, „Konglomerat“, „Marmor“, „Quarz“, „Quarzporphyr“, „Sandstein“ und „Schiefer“ sind enthalten. Die Gestaltung des Verzeichnisses ist sehr übersichtlich. Die Stichwörter sind alphabetisch geordnet und jeder neue Buchstabe ist fett gedruckt und durch einen Absatz gekennzeichnet. SB1 enthält die wichtigsten Begriffe und zudem sind sie auch in englischer Sprache angeführt. Auch einige Gesteine, wie „Basalt“, „Feldspat“, „Granit“, „Gneis“, „Glimmer“, und „Quarz“ sind zu finden, allerdings weniger als bei SB5. Das Stichwortverzeichnis ist alphabetisch geordnet und zwischen den Buchstaben befinden sich jeweils Absätze, wodurch das Verzeichnis sehr übersichtlich erscheint. Neben jedem Begriff stehen die englischen Bezeichnungen in kursiver Schrift und daneben die entsprechenden Seitenzahlen. Im SB2 sind Glossar und Stichwortverzeichnis in einem als Lexikon bezeichneten Kapitel angeführt. Obwohl dieses Lexikon insgesamt nur 76 Begriffe enthält, sind die wichtigsten zentralen Erklärungen angeführt. So findet man neben grundlegenden Begriffen wie „Gesteinsschmelze“, „Magma“, „Lava“, „Metamorphose“ und „Verwitterung“ auch Erklärungen zu einigen Gesteinen, wie „Basalt“, „Brekzie“, „Konglomerat“ und „Granit“. Die Begriffe sind durch farbige Schrift hervorgehoben und die entsprechenden Seitenzahlen im Buch sind angeführt.

Das als Register bezeichnete Stichwortverzeichnis im SB3 enthält zwar insgesamt 322 Begriffe, aber außer „Granit“ enthält es keine Gesteine. Das gesamte Register befindet sich auf nur einer Buchseite und entsprechend klein ist demnach die

Schriftgröße. Auch in diesem Buch sind die Stichwörter alphabetisch geordnet und entsprechende Abstände zwischen den Buchstaben sorgen für eine gute Übersichtlichkeit des Verzeichnisses. Die schlechteste Bewertung des Stichwortverzeichnisses bekam SB4. Insgesamt sind 196 Begriffe im Verzeichnis zu finden, allerdings fehlen hier einige zentrale Wörter. So werden die Begriffe „Erstarrungsgestein“ oder „Umwandlungsgestein“ gar nicht angeführt, und von Gesteinen sind nur „Brekzie“ und „Konglomerat“ zu finden. Auch die Gestaltung des Verzeichnisses erscheint nicht sehr übersichtlich. Die Stichwörter sind alphabetisch geordnet, aber die Übergänge zwischen den Buchstaben sind weder durch Absätze, noch durch veränderte Schriftform gekennzeichnet.

Zusammenfassung der Ergebnisse der allgemein-formalen Analyse

BUCH	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
DRUCKBILD	3	4	4	3	3
INHALTSVERZEICHNIS	4	3	3	4	3
GLOSSAR	3	4	1	1	1
STICHWORTVERZEICHNIS	4	4	3	3	4
GESAMTBEWERTUNG	3,5	3,8	2,8	2,7	2,7

Tabelle 5: Zusammengefasste Bewertung der allgemein-formalen Analysekriterien in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

SB2 zeigt bezüglich der allgemein-formalen Kriterien das beste Ergebnis der Schulbuchanalyse der 3. Klasse. Es ist ansprechend gestaltet und übersichtlich gegliedert und einfach in der Handhabung. Einzig bei der Gliederung der Inhalte bekam es nicht die volle Punktezahl bei der Bewertung, da beim Thema Ökologie Unklarheiten bemerkt wurden. SB1 liegt an zweiter Stelle, wobei sich dieses Buch zwar sehr attraktiv gestaltet, jedoch durch zu viel eingeschobene Zusatztexte und Aufgaben unübersichtlich und optisch überladen wirkt. SB3 belegt den dritten Platz, SB4 und SB5 teilen sich den vierten Platz, was zum Teil auf ein fehlendes Glossar zurückzuführen ist.

2.2.5 Verständlichkeit des Textes

Es wurden jeweils 2 Textstellen zu 100 Wörtern, beziehungsweise 10 Sätzen, aus den Geologiekapiteln ausgewählt. Fettgedruckte und kursiv geschriebene Textabschnitte, sowie farblich herausgehobene Begriffe entsprechen der Gestaltung im jeweiligen Schulbuch.

SB1: *B&U Biologie und Umweltkunde 3*

Textprobe 1 (Seite 31):

Dort findet man die ältesten österreichischen Gesteine. Auch sie sind aus Magma entstanden, das in mehreren Kilometern Tiefe abgekühlt und erstarrt ist – **Erstarrungsgesteine**. [Nicht alle Gesteine sind aus flüssigem Magma entstanden. So setzte sich Kalk, der im Meerwasser gelöst war, als Schlamm ab und verfestigte sich zu **Kalkstein**. Ein so abgelagertes Gestein nennt man deshalb **Absatzgestein** oder Sedimentgestein.

Wenn du mit „offenen Augen“ in den Kalkalpen wanderst, kannst du immer wieder fossile Meeresschnecken und Meeresmuscheln sowie Korallen finden. Sie sind ein Hinweis dafür, dass dieses Gestein gemeinsam mit den heutigen Fossilien vor vielen Millionen Jahren als Schlamm auf dem Meeresgrund abgelagert wurde – **Ablagerungsgestein**. Viel später begann sich der Meeresboden langsam zu heben und die Gesteine wurden zu einem Gebirge aufgetürmt. Durch eine solche] Hebung sind sogar die höchsten Gipfel der heimischen Kalkalpen entstanden (z.B. Wilder Kaiser, Dachstein, Hochschwab, Rax).

Weitere Sedimentgesteine sind Schieferton, Sandstein und Konglomerat (vgl. S. 28 und 29).

Textprobe 2 (Seite 37):

- Für größere Eingriffe in die Natur sind behördliche **Genehmigungen** nötig (Umweltverträglichkeitsprüfung).
- Trinkwasser-Versorgungsgebiete von Gemeinden sind unter **Schutz** gestellt.
- Die EU unterstützt mit **[Prämien** die Entlastung des Grundwassers durch Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und Düngemittel im Einzugsgebiet.

Der Abbau von Bodenschätzen brachte früher manchen Gebieten in den österreichischen Alpen großen Reichtum (z.B. Salz für das Salzkammergut, Silber für Salzburg, Blei für Kärnten). Viele Bergwerke wurden aber aufgelassen, wenn der Abbau nicht mehr wirtschaftlich war.

Einige werden interessierten Besuchern als **Schaubergwerke** zugänglich gemacht. Dort kannst du erfahren, auf welche Weise die Bodenschätze abgebaut werden. Du erlebst auch, unter welchen harten Bedingungen die Bergleute arbeiten mussten. Die meisten Schaubergwerke findest du in Kärnten, Salzburg, der Steiermark und Tirol. Schaubergwerke sind heute in Österreich bedeutende Tourismus Attraktionen.]

Textprobe 1	SL
1.Satz	7
2. Satz	16
3. Satz	8
4. Satz	17
5. Satz	10
6. Satz	20
7. Satz	25
8. Satz	17
9. Satz	20
10. Satz	12
Mittelwert	15,2 ± 5,8

Textprobe 2	SL
1. Satz	11
2. Satz	7
3. Satz	17
4. Satz	26
5. Satz	12
6. Satz	8
7. Satz	11
8. Satz	11
9.Satz	12
10. Satz	7
Mittelwert	12,2 ± 5,7

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	24%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	31%

Tabelle 6: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	15,2	24
Textprobe 2	12,2	31
Durchschnittswerte	13,7 ± 2,1	27,5 ± 4,9
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	9,49	

Tabelle 7: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB2: ganz klar Biologie 3

Textprobe 1 (Seite 22):

[Es gibt – je nach Entstehung – verschiedene Gesteine und dementsprechend auch verschiedene Bodentypen. Für die Landwirtschaft, für Biologinnen und Biologen, Geologinnen und Geologen und Bodenkundlerinnen und Bodenkundler ist es deshalb wichtig, wie die Erde aufgebaut ist, welche Arten von Gesteinen es gibt und wo diese in Österreich vorkommen. Die Suche nach Lagerstätten von Rohstoffen ist seit der Steinzeit bis heute ein wichtiger Zweig der Geologie. Feuerstein war einer der wichtigsten Rohstoffe der Steinzeit. Die Menschen stellten Messerklingen, Äxte und Waffen aus Feuerstein her. Ein steinzeitliches „Feuerzeug“ bestand aus Feuerstein, Pyrit (= ein schwefelhaltiges Eisenerz) und leicht brennbarem Zunder (= ein Pulver] aus dem getrockneten Fruchtkörper des Zunderschwammes).

Die Elemente Kupfer, Silber und Eisen werden aus Erzen gewonnen. Erze nennen die Bergleute Minerale, das sind Reinstoffe der Erdkruste, die mit wenigen Ausnahmen bestimmte Kristallformen ausbilden. Geologinnen und Geologen erkunden die Beschaffenheit des Untergrundes für den Bau von Straßen, Tunnels, Staudämmen und Mülldeponien. Mithilfe von Messinstrumenten können sie Hangrutschungen, Bergstürze und Vulkanausbrüche vorhersagen.

Textprobe 2 (Seite 34):

[Ablagerungsprodukte aus der „**Verwitterung**“ nennt man **Sedimente**. Werden diese Sedimente durch Druck verfestigt oder durch Kalk verkittet, entstehen

Sedimentgesteine.

Mechanische Sedimente sind die abgelagerten Produkte der mechanischen Verwitterung. Je nach Größe und Form der Sedimente unterscheidet man „**Schutt**“, „**Schotter**“, Sand, „**Schluff**“, Ton und „**Mergel**“. Aus Schutt entsteht „**Brekzie**“, aus Sand wird **Sandstein**, aus Ton wird **Tonstein**. Schotter und Kies werden durch Kalk zu Konglomeraten verkittet. „**Konglomerate**“ findet man häufig entlang von Flüssen wie Enns oder Salzach. **Löss** ist ein Sediment, das vorwiegend aus Schluff besteht. Dieser wird durch Wind über weite Strecken verfrachtet. Er ist im Alpenvorland und im Osten] Österreichs verbreitet.

Textprobe 1	SL
1.Satz	12
2. Satz	35
3. Satz	17
4. Satz	8
5. Satz	10
6. Satz	24
7. Satz	10
8. Satz	17
9. Satz	17
10. Satz	10
Mittelwert	16,0 ± 8,3

Textprobe 2	SL
1. Satz	7
2. Satz	12
3. Satz	9
4. Satz	16
5. Satz	12
6. Satz	9
7. Satz	12
8. Satz	9
9.Satz	8
10. Satz	9
Mittelwert	10,3 ± 2,7

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	32%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	24%

Tabelle 8: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	16,0	32,0
Textprobe 2	10,3	24,0
Durchschnittswerte	13,15 ± 4,0	28,0 ± 5,6
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	9,48	

Tabelle 9: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB3: *Begegnungen mit der Natur 3*

Textprobe 1 (Seite 17,18):

[Die durch Verwitterung entstandenen Gesteinsmassen werden als Lockergesteine oder **Sedimente** bezeichnet. Eckig gebliebene Gesteins- bzw. Mineralbruchstücke nennt man Schutt. Sind sie abgerundet, spricht man von Schotter. Sande sind Fluss-, Meeres- oder Windablagerungen, die eine Korngröße von unter zwei Millimetern aufweisen. Ton ist ein Gemenge aus feinsten Sedimenten (Korngröße unter 0,002 mm). Durch Druck und chemische Vorgänge werden Sedimente durch ein allmählich erhärtendes Bindemittel miteinander verkittet. Du kannst dir das ähnlich wie die Herstellung von Beton vorstellen: Sand, mit Zement (Bindemittel) und Wasser angerührt, verfestigt sich zu Beton. Auf diese Weise entsteht beispielsweise aus Sand Sandstein. Sandstein ist ein beliebtes Baumaterial.]

Textprobe 2 (Seite 21):

In den Kalkalpen gibt es auch bedeutende **Salz- und Gipslagerstätten** (Haselgebirge, siehe Seite 18).

[Auch die unter den Decken liegenden Gesteinsschichten gelangten unter höheren Druck, was zur Entstehung von Umwandlungsgesteinen wie beispielsweise Gneis führte. Sie bilden heute die Hauptmasse der **Zentralalpen**. Daneben kommen aber auch Erstarrungsgesteine, zum Beispiel Granit, und stellenweise Kalk

(Sedimentgestein) vor.

Zwischen den Nördlichen Kalkalpen und den Zentralalpen liegt die **Grauwacken- oder Schieferzone**. Sie ist aus leicht verwitterbarem Gestein, zB. aus Sandstein, Kalk, Dolomit und **Quarzit**, aufgebaut.

Deshalb weisen die Berge eher rundliche Formen auf. Da sie waldarm und größtenteils von Wiese und Almen bedeckt sind, werden sie auch als „Grasberge“ bezeichnet.

Die Grauwackenzone ist reich an Bodenschätzen. So wird beispielsweise] am Steirischen Erzberg **Eisenerz** abgebaut.

Textprobe 1	SL
1.Satz	11
2. Satz	8
3. Satz	7
4. Satz	14
5. Satz	11
6. Satz	14
7. Satz	11
8. Satz	11
9. Satz	8
10. Satz	5
Mittelwert	10,0 ± 2,9

Textprobe 2	SL
1. Satz	14
2. Satz	20
3. Satz	7
4. Satz	13
5. Satz	12
6. Satz	15
7. Satz	8
8. Satz	17
9.Satz	6
10. Satz	8
Mittelwert	12,0 ± 4,7

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	36%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	31%

Tabelle 10: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	10,0	36,0
Textprobe 2	12,0	31,0
Durchschnittswerte	11,0 ± 1,5	33,5 ± 3,5
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	10,42	

Tabelle 11: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB4: Expedition Biologie 3

Textprobe 1 (Seite 6):

[Die Gesteine an der Erdoberfläche werden durch **Verwitterungsvorgänge** verändert. Als **physikalische Verwitterung** bezeichnet man alle Zerfallserscheinungen des Ausgangsgesteins. Wasser dringt in Spalten des Gesteins ein. Wenn es gefriert, sprengt und zerkleinert es das Gestein. Die Oberfläche wird aber größer. Dadurch können chemische Substanzen leichter angreifen. Das führt zu einer raschen Zersetzung des Gesteins. Dieser Vorgang wird als **chemische Verwitterung** bezeichnet.

Wind, Wasser, Eis oder die Schwerkraft transportieren die zerkleinerten Stücke weiter und lagern sie an anderer Stelle als **Sedimente** ab. Kalk oder Quarz aus vorbeisickerndem Wasser verklebt und verfestigt diese Ablagerungen. So entsteht aus den lockeren Sedimenten festes **Ablagerungs- oder] Sedimentgestein.**

Textprobe 2 (Seite 12, 13):

[In diesen Kalkalpen befinden sich auch die Salzlagerstätten von Hallstatt, Bad Ischl, Bad Aussee und Hallein. Sie entstanden vor 200 bis 250 Millionen Jahren aus Meerwasser. Das Wasser verdunstete in seichten Wasserbereichen, Salz wurde ausgefällt. Aus diesem Meer stammen auch die Reste von Muschelschalen, Schneckengehäusen und Korallenriffen.

Die **südlichen Kalkalpen** bilden die Gailtaler Alpen (S. 14) und die Karawanken in Osttirol und Kärnten. An die nördlichen Kalkalpen schließt sich im Süden die **Grauwackenzone** an. Sie besteht aus Umwandlungsgesteinen wie Glimmerschiefern. In der Grauwackenzone finden sich viele Eisenerzlagerstätten wie der Erzberg in der Steiermark (S. 14), aber auch Magnesit-, Kupfer- und Grafitvorkommen.]

Die Zentralalpen reichen von Vorarlberg bis zum Semmering in Niederösterreich. Sie bestehen vorwiegend aus schiefrigen Umwandlungsgesteinen (S. 15)

Textprobe 1	SL
1. Satz	9
2. Satz	9
3. Satz	7
4. Satz	9
5. Satz	6
6. Satz	6
7. Satz	8
8. Satz	7
9. Satz	20
10. Satz	12
Mittelwert	9,3 ± 4,2

Textprobe 2	SL
1. Satz	16
2. Satz	10
3. Satz	9
4. Satz	12
5. Satz	16
6. Satz	11
7. Satz	6
8. Satz	21
9. Satz	10
10. Satz	6
Mittelwert	11,7 ± 4,7

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	26%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	29%

Tabelle 12: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	9,3	26,0
Textprobe 2	11,7	29,0
Durchschnittswerte	10,5 ± 1,7	27,5 ± 2,1
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	8,64	

Tabelle 13: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB5: Über die Natur 3

Textprobe 1 (Seite 74):

[Die Kräfte der physikalischen Verwitterung sind dir schon bekannt: Spannungen im Gestein aufgrund von Temperaturunterschieden, Sprengkraft des Eises oder wachsender Pflanzenwurzeln. Das so entstehende **Trümmergestein** wird durch fließendes Wasser, Gletschereis, die Schwerkraft oder durch den Wind verfrachtet und dabei weiter zerkleinert. So entstehen mit abnehmender Korngröße kantiger **Schutt**, die abgerundeten Sedimente **Schotter** und **Kies** sowie **Sand**, **Schluff** und **Ton**. Mit der Höhe der Ablagerungsschicht wächst der Druck im Inneren. Dadurch werden die Sedimente verdichtet und erwärmt. Das kann zu grundlegenden Veränderungen führen: Sand wird zu **Sandstein**, Schluff und Ton werden zu **Tonschiefer** verfestigt. Kantiges Gestein wird zu **Brekzien**, abgerundetes Gestein zu] **Konglomeraten** verdichtet. Regentropfen auf ihrem Weg zur Erde nehmen in geringen Mengen Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf.

Textprobe 2 (Seite 76):

[In den Kalkalpen herrschen schroffe, zum Teil senkrechte Wandpartien vor, die durch tiefe **Schluchten** und **Klammern** voneinander getrennt sind. Wegen der Wasserdurchlässigkeit der Kalke erfolgt die Entwässerung unterirdisch. Dabei kommt es zur Bildung von großen Höhlen und unterirdischen Wasserläufen. Südlich werden die Kalkalpen von einem schmalen Band vorwiegend aus Umwandlungsgesteinen

begleitet. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Glimmerschiefer, Quarzite und Konglomerate, die nach einem Bergmannsausdruck **Grauwacken** genannt werden. Diese abgelagerten Gesteine sind wegen ihrer Erz- und Mineralvorkommen, vor allem Eisen- und Kupfererze, Magnesit und Graphit, von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Die Zentralalpen bilden den größten Teil der österreichischen Alpen. Sie sind] hauptsächlich aus **kristallinen Schiefen** aufgebaut. Anstelle schroffer Wände finden sich hier eher Landschaften mit sanfterem Charakter wie ausgedehnte Hochalmen. Südlich und östlich wird die Böhmisches Masse von flachen und hügeligen Landstrichen, der **Molassezone** umgürtelt.

Textprobe 1	SL
1.Satz	9
2. Satz	12
3. Satz	20
4. Satz	18
5. Satz	10
6. Satz	7
7. Satz	6
8. Satz	11
9. Satz	10
10. Satz	15
Mittelwert	11,8 ± 4,6

Textprobe 2	SL
1. Satz	19
2. Satz	9
3. Satz	11
4. Satz	13
5. Satz	17
6. Satz	21
7. Satz	9
8. Satz	7
9.Satz	14
10. Satz	15
Mittelwert	13,5 ± 4,6

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	30%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	29%

Tabelle 14: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	11,8	30,0
Textprobe 2	13,5	29,0
Durchschnittswerte	12,6 ± 1,2	29,5 ± 0,7
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	9,74	

Tabelle 15: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

Zusammenfassung der Ergebnisse der Lesbarkeitsbestimmung

Buch	SL	MS	SCHULSTUFE¹
SB1	13,70 ± 2,1	27,50 ± 4,9	9,49
SB2	13,15 ± 4,0	28,00 ± 5,6	9,48
SB3	11,00 ± 1,4	33,50 ± 3,5	10,42
SB4	10,50 ± 1,7	27,50 ± 2,1	8,64
SB5	12,60 ± 1,2	29,50 ± 0,7	9,74
Richtwerte für die 3. Klasse²	14	19	7

Tabelle 16: Zusammenfassung der Ergebnisse der Lesbarkeitsbestimmung der ausgewählten Schulbücher

Da die Durchschnittswerte aus nur 2 Textproben pro Schulbuch berechnet wurden ergeben sich zum Teil recht hohe Standardabweichungen.

In allen 5 Schulbüchern sind die Texte zu anspruchsvoll für die entsprechende Altersklasse der Schüler und Schülerinnen. Nach BAMBERGER & VANECEK (1984) entspricht ein Richtwert von 7 der 3. Klasse AHS, wobei die Über- oder Unterschreitung von einer Stufe noch innerhalb der angegebenen Toleranzgrenze liegt (vgl. BAMBERGER & VANECEK 1984, 176). Am ehesten entspricht SB4 dem altersadäquaten Schwierigkeitsgrad, liegt aber mit einem Wert von 8,64 auch um 0,64

¹ laut 4. Wiener Sachtextformel

² Vgl. Bamberger & Vanecek 1984 (S. 176)

Stufen über dem angegebenen Toleranzbereich. Alle anderen Schulbücher liegen mit ihren Schwierigkeitsgraden weit oberhalb des Richtwertes, wobei SB3 mit einem Wert von 10,42 das schlechteste Ergebnis liefert, und besser für eine 6. Klasse passen würde.

Bei allen Schulbüchern überschreiten die Werte für den Prozentanteil an drei- und mehrsilbigen Wörtern (MS) den Richtwert von 19 deutlich. Am stärksten trifft dies wieder bei SB3 zu, wo ein Prozentanteil von 33,50 ausgezählt wurde. Nach BAMBERGER & VANECEK (1984) entspricht dieser Wert der 14. Schulstufe, liegt also über Maturaniveau. SB1 und SB4 zeigen beide den niedrigsten Wert, wobei dieser aber mit 27,5 auch weit über dem Richtwert liegt und nach BAMBERGER & VANECEK (1984) der 10. oder 11. Schulstufe, also 6. oder 7. Klasse entspricht.

Interessanterweise wurde der Richtwert von 14 für die altersentsprechende Satzlänge (SL) bei allen Schulbüchern unterschritten. So zeigt sich bei SB4 eine durchschnittliche Satzlänge von 10,5 Wörtern, was nach BAMBERGER & VANECEK (1984) sogar noch unterhalb der 4. Schulstufe liegen würde. Am besten wird SB1 mit 13,7 Wörtern pro Satz, dem Richtwert von 14 für die 3. Klasse, gerecht.

2.2.6 Aufbau des Schulbuches

Geologiekapitel	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Seitenzahl absolut	12	20	21	12	8
Seitenzahl prozentual	15,4%	16,3%	17,1%	13,3%	9,3%

Tabelle 17: Zusammenfassung der Ergebnisse zum Aufbau der Schulbücher

Im SB1 und SB2 ist das Kapitel „Geologie“ an zweiter Stelle, nach der Erdgeschichte, welche als „Erde im Wandel“ in SB1, beziehungsweise als „Mensch und Erde“ in SB2 bezeichnet wird, zu finden.

In SB2 wird auf insgesamt 20 Seiten das Thema Geologie sehr ausführlich behandelt. Man findet Erklärungen zum Aufbau der Erde, zu Plattentektonik, Vulkanismus und Erdbeben, zu Gesteinstypen und Gesteinskreislauf sowie zu den geologischen Zonen Österreichs.

In SB1 dagegen beschränkt sich der Inhalt des 12 seitigen Kapitels auf die

Gesteinszonen Österreichs, Gesteinstypen und Informationen zu Grundwasser und Bodenschätzen, wie Salz und Erzen. Auf speziellen Seiten, welche als B&U-life gekennzeichnet sind und Alltagsbezug herstellen sollen, sind praktische Informationen zum nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen, sprich Mülltrennung und Recycling, zu finden.

SB3 und SB4 beginnen mit „Geologie“, wobei in SB3 dieses Kapitel als „Planet Erde“ bezeichnet wird. In beiden Büchern ist die Erdgeschichte unter „Evolution“ als letztes Kapitel angeführt. SB3 beinhaltet, ebenso wie SB2, alle wichtigen geologischen Themen und zusätzlich wird über Treibhauseffekt und Klimawandel, sowie über alternative klimaschonende Energien informiert. Das Kapitel umfasst 21 Seiten was ebenso wie der prozentuale Anteil des Geologiekapitels am gesamten Schulbuch von 17,1% das beste Ergebnis im Vergleich mit den anderen Schulbüchern darstellt. In SB4 sind die geologischen Inhalte eher kurz gefasst und auf Gesteinstypen, die geologischen Zonen Österreichs und wenig Vulkanismus beschränkt.

In SB5 gibt es kein eigenes Kapitel mit geologischen Themen, sondern Gesteinskunde und die geologischen Zonen Österreichs sind auf nur 8 Seiten unter dem Kapitel „Ökologie“ angeführt und folgen dort gleich auf das Thema Boden.

2.2.7 Verwendete Begriffe und rohstoffbezogene Textstellen

Die erwähnten Gesteine und Erze werden für jedes Schulbuch tabellarisch angeführt und es wird angegeben, ob sie erklärt und abgebildet sind. Dabei entspricht die Reihenfolge der angegebenen Gesteine/Erze der Reihenfolge nach deren Auftreten im Schulbuch.

Zudem werden alle Textstellen, die im Zusammenhang mit Rohstoffvorkommen, Lagerstätten und deren Abbau stehen, als Zitate angeführt, sowie in Klammer die Seitenzahlen auf denen sie zu finden sind, angegeben. In der abschließenden Zusammenfassung der Ergebnisse werden deren Inhalte dann miteinander verglichen.

SB1: B&U Biologie und Umweltkunde 3

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Schieferton	-	+
Kalkstein	+	+
Gneis	+	+
Schiefer	+	+
Tauerngold	+	+
Granit	+	+
Sandstein	+	+
Konglomerate	+	+
Erdöl	-	+
Erdgas	-	-
Eisenerz	-	-
Basalt	+	+
Marmor	+	+
Steinsalz	+	+

Tabelle 18: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Früher wurde in den Zentralalpen das Tauerngold gewonnen.“ (S. 28)
- „In der Molassezone kommen Erdöl und Erdgas in größeren Mengen vor.“ (S. 29)
- „Grauwackenzone: ...In dieser Zone findet man auch Bodenschätze (z.B. Eisenerz), heute sind die meisten Lagerstätten jedoch unrentabel.“ (S. 29)
- „Schaubergwerke – Erinnerung an reiche Vergangenheit: Der Abbau von Bodenschätzen brachte früher manchen Gebieten in den österreichischen Alpen großen Reichtum (z.B. Salz für das Salzkammergut, Silber für Salzburg, Blei für Kärnten). Viele Bergwerke wurden aber aufgelassen, wenn der Abbau nicht mehr wirtschaftlich war.

Einige werden interessierten Besuchern als Schaubergwerke zugänglich gemacht. Dort kannst du erfahren, auf welche Weise die Bodenschätze abgebaut werden. Du erlebst auch unter welchen harten Bedingungen die Bergleute arbeiten

mussten. Die meisten Schaubergwerke findest du in Kärnten, Salzburg, der Steiermark und Tirol. Schaubergwerke sind heute in Österreich bedeutende Tourismus-Attraktionen.“ (S. 37)

○ „Goldrausch in den Tauern?

In den Tauern wurde schon im Mittelalter Gold abgebaut oder aus Flussschotter gewaschen. Anfang des letzten Jahrhunderts wurde der Abbau eingestellt. Heute plant man, die Goldlagerstätten im Lungau (Sbg.) mit modernster Technik weiter abzubauen.“ (S. 37)

SB2: ganz klar Biologie 3

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Pyrit	+	-
Steinsalz	+	+
Granit	+	+
Quarzporphyr	-	-
Basalt	+	+
Brekzie	+	+
Sandstein	+	-
Tonstein	+	-
Konglomerat	+	+
Gips	+	
Kalkstein	+	-
Gneis	+	-
Schiefer	+	-
Marmor	+	-
Graphit	+	-
Erdöl	+	-
Erdgas	+	+
Braunkohle	+	-
Eisenerz	-	-

Magnetit	-	-
Kupfererz	-	-

Tabelle 19: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Die Suche nach Lagerstätten und Rohstoffen ist seit der Steinzeit bis heute ein wichtiger Zweig der Geologie. Feuerstein war einer der wichtigsten Rohstoffe in der Steinzeit....“ (S. 22)
- „Die Elemente Kupfer, Silber und Eisen werden aus Erzen gewonnen. Erze nennen die Bergleute Minerale, das sind Reinstoffe der Erdkruste, die mit wenigen Ausnahmen bestimmte Kristallformen ausbilden.“ (S. 22)
- „Im Salzkammergut wird seit der Bronzezeit Steinsalz abgebaut“ (S. 22; Abb.22.1)
- „Basalt wird z.B. am Pauliberg im Burgenland abgebaut. Er wird für Gleisanlagen und als Unterbau von Straßen verwendet.“ (S. 31)
- „ Molassezone und inneralpine Becken: ...In porösen Gestein unterhalb von 1000 Metern haben sich Erdöl und Erdgas angesammelt...“ (S. 37, S. 36 Abb. 36.3)
- „Die nördlichen und südlichen Kalkalpen: ...Im Salzkammergut liegen Österreichs wichtigste unterirdische Vorkommen von Steinsalz und Gips.“ (S. 38)
- „Die Grauwackenzone ist wegen ihrer zahlreichen Rohstoffvorkommen wie Eisenerz, Magnetit und Kupfererz wirtschaftlich bedeutsam.“ (S. 38)

SB3: Begegnungen mit der Natur 3

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Granit	+	+
Basalt	+	+
Steinsalz	+	-
Gips	+	-
Kalkstein	+	-
Sandstein	+	+
Gneis	+	+

Marmor	+	+
Dolomit	+	-
Quarzit	+	-
Eisenerz	+	-
Konglomerate	+	-

Tabelle 20: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „In den Kalkalpen gibt es auch bedeutende Salz- und Gipslagerstätten...“ (S. 21)
- „Salz- und Gipslagerstätten: Lagerstätten sind Gebiete, in denen Rohstoffe wie beispielsweise Salz, Gips, ua. in so großen Mengen vorkommen, dass sich ein Abbau wirtschaftlich lohnt.“ (S. 21)
- „Die Grauwackenzone ist reich an Bodenschätzen. So wird beispielsweise am steirischen Erzberg Eisenerz abgebaut.“ (S. 21)
- „Eisenerz: Ein Erz ist ein metallhaltiges Gestein, dessen Metallanteil so hoch ist, dass sich ein Abbau wirtschaftlich lohnt.“ (S. 21)

SB4: Expedition Biologie 3

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Granit	+	+
Weinsberger Granit	+	+
Mauthausener Granit	+	-
Kalkstein	+	
Gabbro	+	+
Basalt	+	+
Quarzporphyr	+	+
Brekzie	+	+
Konglomerat	+	+
Korallenkalk aus Adnet	-	+
Gneis	+	+

Glimmerschiefer	+	+
Marmor	+	+
Leithakalk	+	-
Sandstein	+	-
Gips	+	-
Steinsalz	+	-
Kohle	+	-
Erdöl	+	-
Erdgas	+	-
Eisenerz	-	+
Grafit	-	-

Tabelle 21: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Auch die Vorkommen von Kohle, Erdöl und Erdgas sind aus abgestorbenen Organismen entstanden. Kohle aus Pflanzen, Erdöl und Erdgas aus tierischen Kleinstlebewesen.“ (S. 7)
- „...Daraus entstanden in Jahrmlionen dauernden Prozessen Braunkohle. Solche Vorkommen befinden sich beispielsweise im oberösterreichischen Hausruckgebiet sowie im inneralpinen Becken der Steiermark bei Fohnsdorf und Köflach.“ (S. 11)
- In diesen Kalkalpen befinden sich auch die Salzlagerstätten von Hallstatt, Bad Ischl, Bad Aussee und Hallein.“ (S. 12)
- In der Grauwackenzone finden sich viele Eisenerzlagerstätten wie der Erzberg in der Steiermark aber auch Magnesit-, Kupfer- und Grafitvorkommen.“ (S.12)

SB5: Über die Natur 3

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Granit	+	+
Basalt	+	+

Dolomit	-	+
Gabbro	-	+
Quarzporphyr	-	+
Sandstein	+	+
Tonschiefer	+	-
Brekzie	+	+
Konglomerate	+	+
Gips	-	-
Steinsalz	-	-
kristalliner Schiefer	+	-
Gneis	+	+
Marmor	+	-
Glimmerschiefer	+	-
Quarzit	-	-
Eisenerz	-	-
Kupfererz	-	-
Magnetit	-	-
Grafit	-	-
Erdöl	-	-
Kohle	-	-

Tabelle 22: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen/ Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Basalt...findet als Bahnschotter und Schotteruntergrund von Straßen häufig Verwendung. Bedeutende Abbauorte: Weitendorf bei Wildon (Südsteiermark) und Steinberg bei Feldbach (Oststeiermark).“ (S. 73)
- „Grauwackenzone: Die abgelagerten Gesteine sind wegen ihrer Erz- und Mineralvorkommen, vor allem Eisen- und Kupfererze, Magnetit und Grafit, von großer wirtschaftlicher Bedeutung.“ (S77)
- „In der Molassezone Oberösterreichs wurden im Innkreis beträchtliche Erdölvorkommen entdeckt.“ (S. 77)
- „Wiener Becken: ...In diesen Sedimenten liegen die größten Erdölvorkommen

Österreichs.“ (S. 77)

Zusammenfassung der Ergebnisse der Begriffs- und Inhaltsanalyse

In SB3 sind Erklärungen geologischer Prozesse und mineralogischer Aufbau von Gesteinen sehr ausführlich und genau ausgeführt. So ist dieses Buch auch das einzige, in dem die Begriffe „Lagerstätte“ und „Erz“ erläutert werden. Bezüglich der Rohstoffvorkommen sind allerdings nur die Salz- und Gipslagerstätten der Kalkalpen und Metallerze der Grauwackenzone erwähnt.

Ebenso ausführlich sind die Beschreibungen der Gesteine in SB4, wo es zum Beispiel eine genaue Beschreibung von „Weinsberger Granit“ und „Mauthausener Granit“ gibt und zusätzlich werden diese durch zahlreiche Abbildungen unterstützt. Es sind allerdings auch hier eher wenige Informationen zu Rohstoffvorkommen zu finden. Lediglich fossile Rohstoffvorkommen, Salz- und Metallerzlagerstätten sind in den Beschreibungen der geologischen Zonen Österreichs erwähnt. In SB5, wo die Geologie unter dem Kapitel „Ökologie“ geführt wird und nur wenige Seiten umfasst, werden Rohstoffvorkommen in Form von Erdöllagerstätten der Molassezone, Metallerzvorkommen in der Grauwackenzone und Basaltabbau in der Steiermark erwähnt.

In beiden Schulbüchern (SB4 und SB5) findet man auch falsche Informationen über die Zusammensetzung der Grauwacke. So handelt es sich bei diesem Gestein um matrixreiches klastisches Sedimentgesteinen. In beiden Büchern wird allerdings die Grauwacke vorwiegend als Umwandlungsgestein beschrieben, welches sich aus Glimmerschiefern (SB4 und SB5), Quarziten und Konglomeraten (SB5) zusammensetzt. Jedoch gibt es Glimmerschiefer nur in einigen höher metamorphen Bereichen und Konglomerate sind extrem selten. Sehr häufig findet man hingegen Karbonate, welche in beiden Büchern nicht angeführt werden.

Mehr Informationen zu Rohstoffen findet man in SB1 und SB2. In SB1 wird neben Salz- und Erzvorkommen in Österreich auch das früher bedeutende Tauerngold erwähnt. Zudem wird darauf hingewiesen, dass früher bedeutenden Lagerstätten wirtschaftlich unbedeutend geworden sind und viele dieser Abbaustätten heute als Schaubergwerke für Touristen zur Verfügung stehen. Am Ausführlichsten werden Rohstoffe in SB2 behandelt. Hier wird die historische Bedeutung von

Rohstoffvorkommen seit der Steinzeit erörtert und wichtige Vorkommen von fossilen Brennstoffen, Basalt, Salz und Metallerzen in Österreich erwähnt.

2.3 Ergebnisse der Schulbücher der 6. Klasse

verwendete Schulbücher (SB) der 5. Klasse:

SB1: bio@school 6

SB2: Basiswissen Biologie 6

SB3: Begegnungen mit der Natur 6

SB4: Kernbereiche BIOLOGIE 6

SB5: BIOLOGIE 6

Bewertung:

sehr gut = 4 Punkte

gut = 3 Punkte

ausreichend = 2 Punkte

mangelhaft/ nicht vorhanden = 1 Punkt

2.3.1 Druckbild

DRUCKBILD	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Schriftgröße	3	3	4	4	4
Schriftform	4	3	4	4	3
Zeilenabstand	3	3	4	4	3
Gliederung	2	4	4	4	4
Hervorheben	3	4	4	4	4
Berechnung	15/5=3	17/5=3,4	20/5=4	20/5=4	18/5=3,6
GESAMTBEWERTUNG	3	3	4	4	4

Tabelle 23: Darstellung der 5 Einzelkriterien zur Bewertung des Druckbildes in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

Die höchsten Punktezahlen bei der Bewertung erhielten SB3 und SB4. Beide Bücher sind sehr angenehm zu lesen, da Schriftform, Schriftgröße und Zeilenabstand so gewählt wurden, um die Anstrengung für das Auge möglichst gering zu halten. Auch die Gliederung der Absätze stellte sich in diesen Büchern sehr übersichtlich dar, und farbliche Markierung von Überschriften und durch Fettdruck hervorgehobene wichtige Begriffe erleichtern die Orientierung beim Durchblättern. Auch SB5 erhielt bei der Gesamtbewertung 4 Punkte (gerundet), wobei es wegen zu gering gewählten Zeilenabständen und unangenehm zu lesender Schriftform jeweils einen Punkt Abzug gab. Die Gliederung der Absätze ist in diesem Schulbuch sehr einfach und schlicht gestaltet, was zur Übersichtlichkeit beiträgt. Die Abstände zwischen den einzelnen Absätzen sind ausreichend und wichtige Begriffe werden durch Fettdruck hervorgehoben. Zusätzliche Informationen befinden sich in Kästchen, welche durch hellgrüne oder hellblaue Hintergrundfarbe hervorgehoben werden. Eine Gesamtbewertung von 3 Punkten, also ein gutes Ergebnis, erhielten SB1 und SB2, wobei SB2 besser abschnitt. In beiden Büchern sind die Zeilenabstände zu gering, die gewählte Schriftgröße und, bei SB2 auch die Schriftform, gestalten das Lesen für das Auge anstrengend und unangenehm. Zudem stellte sich auch die Gliederung der Texte in SB1 etwas unübersichtlich dar. Es gibt sehr viele Zusatzinformationen, Aufgabenstellungen und Zusammenfassungen, welche im Text eingeschoben sind und die Orientierung im Buch erschweren. Außerdem werden wichtige Begriffe durch blaue Schriftfarbe hervorgehoben, wobei diese Farbe schlecht zu lesen ist. So wäre eine kräftigere Farbe zum Hervorheben geeigneter.

2.3.2 Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
sinnvolle Gliederung	4	4	4	4	4
übersichtliche Gestaltung	2	2	4	4	3
Berechnung	$6/2=3$	$6/2=3$	$8/2=3$	$8/2=3,5$	$7/2=3,5$
GESAMTBEWERTUNG	3	3	4	4	4

Tabelle 24: Darstellung der Einzelkriterien zur Bewertung des Inhaltsverzeichnisses in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

In allen untersuchten Schulbüchern sind die einzelnen Kapitel klar und sinnvoll gegliedert, weshalb alle Schulbücher für dieses Einzelkriterium jeweils 4 Punkte erhielten. Das Kapitel mit geologischen Inhalten wird in SB1, SB3, SB4 und SB5 als „Bioplanet Erde“ bezeichnet, in SB2 ist es unter „Die Erde“ zu finden.

Unterschiede bei der Bewertung gab es demnach nur hinsichtlich der Übersichtlichkeit der Gestaltung. In SB1 und SB2 werden im Inhaltsverzeichnis keinerlei Zusatzinformationen, Übungsaufgaben oder Zusammenfassungen angeführt. Zudem sind Stichwortverzeichnis beziehungsweise Glossar nicht zu finden, weshalb beide Bücher hier nur mit „ausreichend“ bewertet wurden. Das Inhaltsverzeichnis in SB5 enthält zwar Glossar, Register, Literatur und Bildquellen, und auch Zusatzinformationen sind angegeben und sogar farblich markiert. Ansonsten ist das Verzeichnis aber sehr einfach und schlicht gestaltet und die einzelnen Kapitel sind weder farblich oder durch Schriftgröße voneinander deutlich abgesetzt. Volle Punktezahlen erhielten die Inhaltsverzeichnisse in SB3 und SB4, wo die einzelnen Kapitel durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet sind. Übungsaufgaben und Zusammenfassungen sind angeführt und auch Stichwortverzeichnis in SB4 beziehungsweise Begriffslexikon und Register in SB3 sind enthalten.

2.3.3 Glossar

GLOSSAR	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Vorhandensein	4	1	3	1	3
verständliche Erklärungen	4	1	4	1	4
Berechnung	8/2=4	2/2=1	7/2=3,5	2/2=1	7/2=3,5
GESAMTBEWERTUNG	4	1	4	1	4

Tabelle 25: Darstellung der Einzelkriterien zur Bewertung des Glossars in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

Ein Glossar war bei SB1, SB3 und SB5 vorhanden. In SB1 wird es als Fachwörterverzeichnis bezeichnet und ist sehr umfangreich, weshalb es die beste Bewertung erhielt. Es erstreckt sich über 5 Seiten und beinhaltet etwa 670 Fachbegriffe in alphabetischer Reihenfolge. Die Erklärungen sind kurz aber

ausreichend. Besonders hilfreich in der Handhabung ist eine farbliche Markierung der Fachbegriffe, durch die die jeweiligen Begriffe den Kapiteln im Buch zuzuordnen sind. So sind beispielsweise alle 74 Begriffe aus dem Kapitel „Bioplanet Erde“ in blauer Farbe geschrieben. Das Begriffslexikon in SB3 und das Glossar in SB5 sind weniger umfangreich als in SB1, weshalb es jeweils einen Punkt Abzug bei der Bewertung gab. So erstreckt es sich in SB3 über 2 Seiten und beinhaltet 171 Fachwörter, wobei aus dem Geologiekapitel nur die Begriffe „Geologie“ und „Lithosphäre“, „Magma“ und „Mineralien“ angeführt werden. In SB5 umfasst das Glossar 3,5 Seiten und beinhaltet 140 Begriffe, wobei bezüglich Geologie nur „Kaolin“ und „Tuff“ zu finden sind. Die Erklärungen stellen sich sowohl in SB3 als auch in SB5 als ausreichend dar.

2.3.4 Stichwortverzeichnis

STICHWORTVERZEICHNIS	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
übersichtliche Gestaltung	3	4	2	4	2
enthält zentrale Begriffe	1	4	4	4	4
Berechnung	$4/2=2$	$8/2=4$	$6/2=3$	$8/2=4$	$6/2=3$
GESAMTBEWERTUNG	2	4	3	4	3

Tabelle 26: Darstellung der Einzelkriterien zur Bewertung des Stichwortverzeichnisses in den fünf ausgesuchten Schulbüchern

Im Stichwortverzeichnis in SB1 sind die Begriffe alphabetisch geordnet, allerdings gibt es weder Absätze zwischen den Anfangsbuchstaben, noch sind diese durch Fettdruck oder Farbe gekennzeichnet. Außerdem sind die Begriffe in sehr kleiner Schriftgröße geschrieben, wodurch bei der Bewertung des Einzelkriteriums „übersichtliche Gestaltung“ nur drei Punkte vergeben wurden. Das Verzeichnis im SB1 befindet sich auf einer Seite und enthält etwa 240 Begriffe, wobei zentrale Begriffe zum Teil nicht aufzufinden sind. So wird beispielsweise „Sedimentgestein“ angeführt, „Umwandlungsgestein“ oder „Magmatische Gesteine“ sind aber nicht enthalten, was als mangelhaft bewertet wird. In allen anderen analysierten Schulbüchern stellten sich die Stichwortverzeichnisse umfangreicher dar. So enthielten SB2 600 und SB3 400 Begriffe. Die Verzeichnisse von SB4 und SB5

enthielt sogar 900 beziehungsweise 1500 Stichwörter. Bei all diesen Büchern waren auch die zentralen Begriffe enthalten. Unterschiede bei der Bewertung gab es hinsichtlich Übersichtlichkeit der Gestaltung. So erhielten SB4 und SB2 volle Punktezahl, da eine ausreichende Schriftgröße verwendet wurde und die unterschiedlichen Anfangsbuchstaben durch deutliche Absätze beziehungsweise durch farblich markierte Buchstaben gekennzeichnet sind. In SB3 und SB5 ist die Schriftgröße zu klein gewählt, wodurch ein Suchen im Verzeichnis sehr erschwert wird.

Zusammenfassung der Ergebnisse der allgemein-formalen Analyse

BUCH	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Druckbild	3	3	4	4	4
Inhaltsverzeichnis	3	3	4	4	4
Glossar	4	1	4	1	4
Stichwortverzeichnis	2	4	3	4	3
GESAMTBEWERTUNG	3	2,8	3,8	3,3	3,8

Tabelle 27: Zusammengefasste Bewertung der allgemein-formalen Analysekriterien in den fünf untersuchten Schulbüchern

Die besten Ergebnisse bezüglich allgemeiner-formaler Kriterien zeigen SB3 und SB5. SB3 ist sehr ansprechend gestaltet und Punkteabzug bei der Bewertung gab es nur aufgrund des geringen Umfangs des Begriffslexikons und des Stichwortverzeichnisses. Ansonsten erreichte dieses Schulbuch bei allen Kriterien volle Punkteanzahl. SB1, SB2 und SB5 zeigten schlechtere Bewertungen bezüglich des Druckbildes, und der Gestaltung des Inhaltsverzeichnisses beziehungsweise des Stichwortverzeichnisses. SB4 erscheint bezüglich äußerer Aufmachung und Handhabung als sehr ansprechend, erhält allerdings wegen des fehlenden Glossars eine schlechtere Bewertung.

2.3.5 Verständlichkeit des Textes

Es wurden jeweils 2 Textstellen zu 100 Wörtern, beziehungsweise 10 Sätzen, aus den Geologiekapiteln ausgewählt. Fettgedruckte und kursiv geschriebene Textanschnitte, sowie farblich herausgehobene Begriffe entsprechen der Gestaltung im jeweiligen Schulbuch.

SB1: *bio@school 6*

Textprobe 1 (Seite 197):

[Durch hohe Drücke und Temperaturen werden Gesteine oft stark **geschiefert** und verformt. Durch die veränderten Druck- und Temperaturbedingungen entstehen aus den ursprünglichen Mineralen neue Minerale. Deshalb enthalten die metamorphen Gesteine andere Mineralgesellschaften als die Ausgangsgesteine. Je nach Druck- und Temperaturverhältnissen unterscheidet man drei verschiedene Metamorphosearten und verschiedene Typen metamorpher Gesteine.

1. Kontaktmetamorphose: Tritt bei hohen Temperaturen und niedrigen Drücken auf (z.B. in der Umgebung von eindringendem Magma).

2. Regionalmetamorphose: Typisch sind mittlere Drücke und mittlere Temperaturen (v.a. bei Kontinentkollisionen). Da die Alpen durch eine Kontinentkollision entstanden sind, herrschen dort im Zentralbereich regionalmetamorphe Gesteine vor.

3. Hochdruckmetamorphose: Tritt vor allem im] Bereich von Subduktionszonen auf und ist durch sehr hohe Drücke und eher niedrige Temperaturen gekennzeichnet. Hochdruckgesteine kommen in Österreich v.a. im Bereich der Hohen Tauern vor, was darauf verweist, dass sich die dortigen Gesteine einmal im Bereich einer Subduktionszone befunden haben.

Da viele Mineralgesellschaften nur in begrenzten Druck- und Temperaturbereichen stabil sind, können **Petrologen** und **Petrologinnen** durch die Mineralzusammensetzung in metamorphen Gesteinen die Druck- und Temperaturverhältnisse bei der Gesteinsumwandlung bestimmen....

Textprobe 2 (Seite 205, 206):

[Die Grauwackenzone besteht aus älteren Krustenteilen, auf denen sich Kalke und

Dolomite des Kalkalpinen Meeres ablagerten. Deshalb findet man die Grauwackenzone als schmalen Streifen südlich der nördlichen Kalkalpen (vgl. geologische Karte, Umschlaginnenseite). Neben der Grauwackenzone gibt es noch andere geologische Einheiten, die aus vergleichbaren, etwa gleich alten Gesteinen bestehen. Dazu gehören Vorkommen in der Umgebung von Graz/Stmk., bei Murau/Stmk., und nördlich von Klagenfurt (Gurktaler Alpen/Ktn). Auch ein Großteil der Karnischen Alpen/Ktn. besteht aus ähnlichen Gesteinen, die meist reich an Fossilien sind.

Durch gebirgsbildende Vorgänge kommt es vor, dass jüngere Gesteine unter älteren zu liegen kommen (= tektonische Decken). Wenn die] jüngeren Gesteine umrahmt von den älteren durch Hebungsvorgänge und Verwitterung freigelegt sind, bezeichnet man das als geologisches Fenster. In den geologischen Fenstern der Zentralalpen kommen unter den älteren Gesteinen der Grauwackenzone und des ostalpinen Kristallins jüngere Gesteine zum Vorschein (Tauernfenster/Tir/Sbg/Ktn., Engadiner Fenster/Tir., Fenster von Bernstein und Rechnitz/Bgld.) am Alpenostrand.

Das Kristallin (Sammelbegriff für granitische und metamorphe Gesteine) der Ostalpen besteht aus mehreren Krustenteilen des ehemaligen afrikanischen Kontinents. Diese bauen die Gebirge westlich (Silvretta, Öztaler Alpen, Stubai Alpen) und südlich (Defregger Gebirge, Schobergruppe) der Hohen Tauern auf.

Textprobe 1	SL
1.Satz	12
2. Satz	13
3. Satz	10
4. Satz	15
5. Satz	16
6. Satz	11
7. Satz	15
8. Satz	19
9. Satz	27
10. Satz	29
Mittelwert	16,7 ± 6,5

Textprobe 2	SL
1. Satz	16
2. Satz	16
3. Satz	17
4. Satz	19
5. Satz	17
6. Satz	16
7. Satz	20
8. Satz	36
9. Satz	18
10. Satz	19
Mittelwert	19,4 ± 6,0

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	39%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	36%

Tabelle 28: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	16,7	39
Textprobe 2	19,4	36
Durchschnittswerte	18,5 ± 1,9	37,5 ± 2,1
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	13,51	

Tabelle 29: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB2: Basiswissen Biologie 2

Textprobe 1 (Seite 12):

[Man kann ein Gestein zunächst nach dem **Mineralbestand** beschreiben. Weiters fällt die **Korngrößenverteilung** auf, also wie groß die Mineralkörner sind und wie sie verteilt sind. Manche Gesteine zeigen eine **Textur**, dh. die Körner sind alle in dieselbe Richtung ausgerichtet.

Abgesehen von einer solchen rein beschreibenden Einteilung kann man die Gesteine nach ihrer Entstehung ordnen.

Erstarrungsgesteine (oder magmatische Gesteine) entstehen aus einer erkalteten Schmelze. Bei langsamer Erkaltung tief in der Erdkruste können sich größere Mineralkörner ausbilden (Tiefengesteine oder Plutonite, zB. Granit). Beim raschen Erstarren an der Erdoberfläche entstehen sehr feinkörnige Ergussgesteine oder Vulkanite (zB Basalt).

Umwandlungsgesteine (oder metamorphe Gesteine) entstehen durch] Umwandlung eines Gesteins unter hohem Druck bzw. hoher Temperatur. Durch die Druckeinwirkung sind die Mineralkörner oft flach, die Gesteine geschiefert. Häufige Umwandlungsgesteine sind Glimmerschiefer und Gneis.

Textprobe 2 (Seite 21):

[Mit dem Wissen über die Entstehung der Alpen lässt sich auch die geologische Karte Österreichs (Abb. 23) leicht verstehen (vergleiche mit den letzten Profil aus Abb. 22). Das Hochland im Norden Ober- und Niederösterreichs, die **Böhmische Masse**, ist der Rest des Festlands aus dem Paläozoikum. Die Böhmische Masse erstreckt sich weit nach Süden unter die alpinen Decken. Direkt aufliegend ist die Molassezone, also die Sedimente des tertiären Restmeeres, vorwiegend Kalke, Sande und Konglomerate (zB. der Zogelsdorfer Kalksandstein, Baumaterial des Wiener Stephansdoms und vieler Ringstraßenbauten). Die **Molassezone** ist im Wesentlichen flach und ungestört, nur am Südrand, an der Kontaktzone mit dem] Alpenkörper ist diese Zone wenig deformiert. Die dünne Zone drüber, das so genannte Helvetikum, ist in Österreich so gut wie vollständig bedeckt, die Westalpen der Schweiz bestehen zum Großteil aus Gesteinen dieser Zone. Die angrenzende **Flyschzone** besteht aus ehemaligen Ablagerungen des nordpenninischen Ozeans.

Es sind Tiefseesedimente, vorwiegend Sandsteine, die zu Hangrutschungen neigen (daher der Schweizer Name, der „Fließen“ bedeutet). Darüber liegen die mächtigen mesozoischen Sedimente des **Oberostalpins**. Es handelt sich um den Großteil der Tethys-Sedimente, vorwiegend Kalke, aber auch viele andere Gesteine treten hier auf.

Textprobe 1	SL
1. Satz	9
2. Satz	16
3. Satz	15
4. Satz	15
5. Satz	9
6. Satz	18
7. Satz	15
8. Satz	15
9. Satz	11
10. Satz	6
Mittelwert	12,9 ± 3,9

Textprobe 2	SL
1. Satz	27
2. Satz	18
3. Satz	12
4. Satz	28
5. Satz	22
6. Satz	27
7. Satz	10
8. Satz	16
9. Satz	8
10. Satz	19
Mittelwert	18,7 ± 7,3

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	35%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	30%

Tabelle 30: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	12,9	35
Textprobe 2	18,7	30
Durchschnittswerte	15,8 ± 4,1	32,5 ± 3,5
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	11,42	

Tabelle 31: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB3: *Begegnungen mit der Natur 6*

Textprobe 1 (Seite 148):

[Das **Magma** im Erdinneren steht unter großem Druck, weshalb es an Bruchstellen in der Lithosphäre aufsteigt und dort auf Grund der geringen Temperaturen erstarrt. Nach dem Ort der Erstarrung lassen sich die **Erstarrungsgesteine** in zwei Gruppen unterteilen:

Erfolgt die Erstarrung allmählich im Inneren der Lithosphäre, haben die Teilchen, die die Gesteinsbildenden Minerale aufbauen, genügend Zeit, sich abhängig von ihren chemischen Bindungskräften geometrisch anzuordnen und damit mehr oder weniger große Kristalle auszubilden. Die so genannten **Plutonite** weisen deshalb eine mittel- bis großkörnige Struktur auf.

Je schneller die Schmelze abgekühlt wird, desto feinkörniger ist die Struktur.

Ergießt sich die heiße Gesteinsschmelze als] **Lava** an der Erdoberfläche, erfolgt die Abkühlung so rasch, dass kaum Zeit zur Kristallbildung bleibt. Die so genannten **Vulkanite** sind deshalb durch eine feinkörnige bis glasige Struktur gekennzeichnet. Oft lassen sich in einem Gestein mit einer feinkörnigen Grundmasse größere Kristalle (Einsprenglinge) erkennen. Dieses so genannte porphyrische Gefüge entsteht, wenn die Schmelze im Erdinneren bereits in kühlere Bereiche aufgestiegen ist und erst Minerale auskristallisiert sind, das Magma aber dann plötzlich abgekühlt wird. Tritt es beispielsweise bei einem Vulkanausbruch an die Erdoberfläche aus, werden die bereits gebildeten Kristalle mitgerissen und in der erstarrenden Lava eingeschlossen.

Textprobe 2 (Seite 156):

[Die **Zentralalpen**, die mit Ausnahme der **Penninischen Fenster** vom Ostalpinen Deckensystem gebildet werden, lassen auffällige Unterschiede in Höhe und Form zwischen Westen und Osten erkennen. Im Westen sind sie als teilweise stark vergletscherte Hochgebirge mit Pyramidengipfeln von Felsgraten getrennten weiten Firnfeldern, in Talanfänge reichenden Gletscherzungen und Trogtälern geprägt. Im Osten ist das Gebirge niedriger (Mittelgebirge) und unvergletschert. Zu den Zentralalpen gehören die Öztaler Alpen als das am stärksten vergletscherte Massiv der Ostalpen, die Silvretta-Gruppe, die Stubai-er Alpen, die Zillertaler Alpen und die Hohen Tauern mit dem Großglockner, der mit 3797 m der höchste Gipfel Österreichs ist. Die am Nordosthang des] Großglockners gelegene Pasterze ist der größte Gletscher der Ostalpen (siehe Seite 147).

Gegen Osten folgen die niederen Tauern, die Gurktaler Alpen, das steirische Randgebirge, das Leithagebirge und die Hainburger Berge.

Die südlich an die Zentralalpen anschließenden **Südlichen Kalkalpen** umfassen die Gailtaler Alpen, die Karawanken und die Karnischen Alpen. Die Gailtaler Alpen sowie der Nordkamm der Karawanken gehören dem ostalpinen Deckensystem an, während der Hauptkamm der Karawanken und die Karnischen Alpen vom Südalpin gebildet werden. Die Trennlinie stellt die Periadriatische Naht dar (siehe Seite 152), die von Silian in Osttirol durch das Kärntner Gail- und Rosental zieht.

Im Zuge der Alpenhebung kam es in verschiedenen Gebieten durch Bruchbildung und Senkung zur Entstehung von Becken, die anschließend mit Sedimenten aufgefüllt wurden.

Textprobe 1	SL
1.Satz	24
2. Satz	13
3. Satz	34
4. Satz	12
5. Satz	11
6. Satz	21
7. Satz	13
8. Satz	13
9. Satz	30
10. Satz	22
Mittelwert	19,3 ± 8,2

Textprobe 2	SL
1. Satz	25
2. Satz	23
3. Satz	9
4. Satz	39
5. Satz	16
6. Satz	18
7. Satz	18
8. Satz	26
9.Satz	22
10. Satz	23
Mittelwert	21,9 ± 7,8

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	30%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	36%

Tabelle 32: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	19,3	30
Textprobe 2	21,9	36
Durchschnittswerte	20,6 ± 1,8	33,0 ± 4,2
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	12,83	

Tabelle 33: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB4: Kernbereiche BIOLOGIE 6

Textprobe 1 (Seite 179):

[Gesteine, die aus Magma entstehen, das auskühlt und erstarrt, nennt man **Erstarrungsgesteine (magmatische Gesteine** oder kurz **Magmatite**). Je nach dem Ort des Entstehens dieser Gesteine und je nach Geschwindigkeit des Abkühlens des Magmas werden zwei Gruppen unterschieden (Abb. 36):

Vulkanite (Ergussgesteine) entstehen durch schnelles Erstarren an oder nahe der Erdoberfläche. Durch die rasche Abkühlung können sich nur kleine Kristalle bilden, die mit freiem Auge nur schwer erkennbar sind (z.B. **Basalt**; Abb. 37). Bei extrem rascher Abkühlung, z.B. wenn die Lava in Meerwasser gelangt, bilden sich kleine Kristalle aus. Es entsteht vulkanisches Glas (z.B. **Obsidian**; Abb. 38). Der **Quarzporphyr** (Abb. 39)] hingegen hat Kristalle, die als Einsprengungen in einer feinen Grundmasse liegen. Dies ist möglich, wenn Magma im Erdinneren zuerst langsam erstarrt. Es bilden sich dabei relativ große Kristalle, die in der Schmelze schwimmen. Gelangt diese durch einen Vulkanausbruch an die Erdoberfläche, kühlt der Rest ohne Kristallbildung rasch ab.

Textprobe 2 (Seite 183, 184):

[Die **Nördlichen** und **Südlichen Kalkalpen** bestehen hauptsächlich aus **Kalk-** und **Dolomitgesteinen**, die sich im flachen, warmen Meer der **Tethys** aus Sedimentablagerungen gebildet haben. Die Kalkalpen bilden ein schroffes, felsiges Gebirgsmassiv, in dem sich auch bewaldete *Mittelgebirgsketten* befinden. Sie ziehen im Norden als 500 km langer Streifen von Vorarlberg bis nach Wien. Im Süden zählen die Lienzer Dolomiten, die Gailtaler Alpen sowie die Nordkarawanken dazu. In den Kalkalpen findet man fossilienreiche Gesteinsschichten, die nach dem Ort Gosau (OÖ) benannt wurden (= Gosauschicht). Diese Schichten sind genauso sehenswert wie die salz- und gipsführenden Gesteinsformationen in Hallein und Hallstatt (Abb. 55). Der] höchste Gipfel der Nördlichen Kalkalpen und auch der einzige, der über 3000 Meter liegt, ist die Parseierspitze in den Lechtaler Alpen mit 3036 Metern. Die **Grauwackenzone** ist ein schmales Band, das zwischen den Nördlichen Kalkalpen und den Zentralalpen im Süden liegt. Man findet auch einen schmalen Streifen davon südlich der Zentralalpen. Diese Zone erhält ihren Namen von ihrem sandig-tonigen

Hauptgestein, der **Grauwacke**.

Textprobe 1	SL
1.Satz	17
2. Satz	23
3. Satz	11
4. Satz	23
5. Satz	17
6. Satz	9
7. Satz	15
8. Satz	10
9. Satz	12
10. Satz	15
Mittelwert	15,2 ± 5,0

Textprobe 2	SL
1. Satz	25
2. Satz	14
3. Satz	14
4. Satz	13
5. Satz	16
6. Satz	17
7. Satz	25
8. Satz	17
9.Satz	10
10. Satz	12
Mittelwert	16,3 ± 5,1

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	33%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	33%

Tabelle 34: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	15,2	33
Textprobe 2	16,3	33
Durchschnittswerte	15,75 ± 0,8	33,0 ± 0,0
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	11,5	

Tabelle 35: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

SB5: BIOLOGIE 6

Textprobe 1 (Seite 24):

[Geschmolzenes Material der Erdkruste bezeichnet man als *Magma*. Wenn es erstarrt, so entstehen feste Gesteine, die folglich als **Erstarrungsgesteine** oder **magmatische Gesteine** (kurz: *Magmatite*) bezeichnet werden. Man kann sie nach dem Ort ihrer Entstehung oder nach ihrer Zusammensetzung (dem Chemismus) einteilen. Der Chemismus entscheidet auch über die mineralogische Zusammensetzung.

Plutonite (*Tiefengesteine*) entstehen in tieferen Bereichen der Erdkruste (12 – 15 km) und bei Temperaturen von 600 – 1200 C°. Ist der SiO₂ – Gehalt des Magmas hoch, so spricht man von einer *sauren* (granitischen) Zusammensetzung, ist er niedrig, kristallisiert ein *basisches* Gestein. Da in der Tiefe das Magma nur sehr langsam abkühlt, entstehen] größere Kristallkörner (z.B. Feldspat beim *Weinsberger Granit*, Abb. 24.2). Dieses Gesteinsgefüge wird mittel- bis grobkörnig genannt. Der **Gabbro** (Abb. 24.1.A) ist ein nahezu schwarzer Plutonit und wird daher häufig für Grabsteine verwendet. Er ist ein basisches Gestein und entspricht in seiner Zusammensetzung dem **Basalt** (Abb. 24.1.C).

Textprobe 2 (Seite 33, 34):

[In Murtal in der Steiermark liegt die *Fohnsdorfer Kohlemulde* mit ihren bedeutenden Vorkommen einer qualitativ hochwertigen Braunkohle (*Glanzkohle*). Sie wurde bis 1978 abgebaut. Die historischen Industrieanlagen wurden vorbildlich erhalten und restauriert. Sie bilden die Grundlage für das „Montan-Museum Fohnsdorf“.

Die Alpen werden geologisch-tektonisch in **West-, Ost- und Südalpen** gegliedert. Geografisch stimmt diese Einteilung nur bedingt. So genannte „westalpine“ Elemente (*Decken*; in Abb. 34.2 grün) setzen sich nämlich weit nach Osten fort, indem sie unter die Ostalpen (*Ostalpin*; in Abb. 34.2 rosa) eintauchen. Sie treten dann in Form von „Fenstern“ (von West nach Ost: *Untereingadinger Fenster, Tauernfenster, Bernstein – Rechnitzer Schieferinsel*) zu] Tage.

Die **Periadriatische Naht** (in Abb. 34.2 schwarz) trennt als tief reichende Störungszone die Südalpen (in Abb. 34.2 orange) ab. Auch an diesen hat Österreich in Form der *Karnischen Alpen* und des Südteils der *Karawanken* Anteil (Nordteil =

Ostalpin).

Textprobe 1	SL
1.Satz	8
2. Satz	18
3. Satz	15
4. Satz	8
5. Satz	18
6. Satz	22
7. Satz	21
8. Satz	7
9. Satz	16
10. Satz	14
Mittelwert	14,7 ± 5,4

Textprobe 2	SL
1. Satz	18
2. Satz	5
3. Satz	8
4. Satz	9
5. Satz	11
6. Satz	6
7. Satz	26
8. Satz	19
9.Satz	19
10. Satz	18
Mittelwert	13,9 ± 7,0

Textprobe 1	MS
In 100 Wörtern	37%

Textprobe 2	MS
In 100 Wörtern	38%

Tabelle 36: Ermittelte SL- und MS Werte aus Textprobe 1 und Textprobe 2

	SL	MS
Textprobe 1	14,7	37
Textprobe 2	13,9	38
Durchschnittswerte	14,3 ± 0,6	37,5 ± 0,7
Berechnung	0,2656 * SL + 0,2744 * MS – 1,6939	
SCHULSTUFE	12,39	

Tabelle 37: Ermittlung der Durchschnittswerte für SL und MS und Berechnung der Schulstufe nach der 4. Wiener Sachtextformel

Zusammenfassung der Ergebnisse der Lesbarkeitsbestimmung

BUCH	SL	MS	SCHULSTUFE¹
SB1	18,5 ± 1,9	37,5 ± 2,1	13,51
SB2	15,8 ± 4,1	32,5 ± 3,5	11,42
SB3	20,6 ± 1,8	33,0 ± 4,2	12,83
SB4	15,75 ± 0,8	33,0 ± 0,0	11,50
SB5	14,3 ± 0,6	37,5 ± 0,7	12,39
Richtwerte für die 6. Klasse²	17	27	10

Tabelle 38: Zusammenfassung der Ergebnisse der Lesbarkeitsbestimmung der ausgewählten Schulbücher

Die Texte aller 5 untersuchten Schulbücher der 6. Klasse überschreiten den Richtwert der Schulstufe 10, sind demnach zu anspruchsvoll für die entsprechende Altersklasse der Schüler und Schülerinnen. Auch unter Berücksichtigung der von BAMBERGER & VANECEK (1984) angeführten Toleranzgrenze von einer Stufe, wird der Schwierigkeitsgrad der Texte überschritten. Am ehesten entsprechen SB2 und SB4 der entsprechenden Altersstufe, wobei hier der Toleranzbereich nur um 0,42 bzw. um 0,50 Stufen überschritten wird. Alle anderen Schulbücher liegen oberhalb des angeführten Richtwertes und überschreiten sogar Maturaniveau. Die Lesbarkeit von Texten hängt allerdings neben Satzlänge und Anzahl mehrsilbiger Wörter auch von vielen anderen Faktoren, wie beispielsweise Herkunft, Vorbildung und persönliche Interessen der Leser und Leserinnen ab. Somit sollten die in der Wiener Sachtextformel genannten Schulstufen besser als Schwierigkeitsstufen aufgefasst werden, die geeignete Mittel zum Vergleich mehrerer Texte darstellen.

Ebenso deutlich über dem angegebenen Richtwert liegen alle untersuchten Schulbücher bezüglich des Prozentanteils an drei- und mehrsilbigen Wörtern (MS). So entspräche ein Anteil von 27 Prozent nach BAMBERGER & VANECEK (1984) der Schwierigkeitsstufe der 6. Klasse AHS, wobei allerdings der niedrigste Prozentanteil der analysierten Schulbücher bei 33 Prozent liegt, also weit darüber. Am stärksten

¹ laut 4. Wiener Sachtextformel

² Vgl. Bamberger & Vanecek 1984 (S. 176)

überschritten wird der Richtwert bei SB5, welches einen Prozentanteil an drei- und mehrsilbigen Wörtern von 37,5 aufweist, also den Richtwert sogar um mehr als 10 Prozentpunkte überschreitet.

Bei der altersentsprechenden Satzlänge (SL) beträgt der Richtwert nach BAMBERGER & VANECEK (1984) durchschnittlich 17 Wörter pro Satz. Dieser Richtwert wurde bei SB2, SB4 und SB5 unterschritten. So entspricht die durchschnittliche Satzlänge von 14,3 bei SB5 nur der 3. Klasse AHS, SB2 mit 15,8 und SB4 mit 15,75 entspricht nach BAMBERGER & VANECEK (1984) der 5. Klasse AHS. Texte aus SB1 entsprächen mit einer durchschnittlichen Satzlänge von 18,5 der 7. Klasse AHS und SB3 mit 20,6, liegen über Maturaniveau.

2.3.6 Aufbau des Schulbuches

Geologiekapitel	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Seitenzahl absolut	34	19	21	18	31
Seitenzahl prozentual	16,2%	13,6%	12,5%	9,7%	14,5%

Tabelle 39: Zusammenfassung der Ergebnisse zum Aufbau der Schulbücher

In allen untersuchten Schulbüchern, mit Ausnahme von SB2, wird das geologische Großkapitel als „Bioplanet Erde“ bezeichnet, entsprechend der Bezeichnung aus dem Lehrplan der 6. Klasse Oberstufe. Im SB1 und in SB4 befindet sich das Kapitel „Bioplanet Erde“ an letzter Stelle. Beide Bücher beinhalten Informationen zur Entstehung und den Aufbau des Sonnensystems und der Erde, zur Plattentektonik, Erdbeben und Vulkanismus, sowie zu den wichtigsten Gesteinsgruppen, den Aufbau von Mineralen und zuletzt zur Geologie Österreichs, mit einer kurzen Beschreibung der einzelnen geologischen Zonen und die Gebirgsbildung der Alpen. In SB1 befindet sich eine ausführliche Geologische Karte von Österreich auf der Innenseite des Bucheinbandes, wobei in SB4 nur eine sehr vereinfacht dargestellte geologische Karte zu finden ist. Zudem finden sich in SB1 Informationen über die Auswirkungen vergangener Eiszeiten. Entsprechend der Gesamtseitenzahl von 34 Seiten und einem Anteil am gesamten Buch von 16,2% zeigt SB1 das beste Ergebnis. Hingegen sind in SB4 diesem Kapitel nur 18 Seiten gewidmet, was einen Prozentsatz von nur

9,2% am Gesamtwerk ausmacht, und somit das schlechteste Ergebnis darstellt. Zu den einzelnen Kapiteln findet man in SB1 sogenannte „BIO-CHECK-BOXEN“ welche, in Vorbereitung auf die Matura, Aufgabenstellungen zum Training verschiedener Handlungskompetenzen beinhalten. Außerdem findet man am Ende jedes Kleinkapitels kurze Zusammenfassungen der wichtigsten Fakten. Auch in SB4 sind Aufgabenstellungen zum Gelernten zu finden, so gibt es Rechercheaufgaben, aber auch Anleitungen zur Durchführung praktischer Versuche. Eine anschließende Zusammenfassung der wichtigsten Inhalte fehlt hier allerdings.

SB2 führt das Kapitel „Die Erde“ an erster Stelle. Dabei wird zu Beginn ein kurzer Überblick über das Universum gegeben, wobei erklärt wird, woraus Materie besteht, wie unser Sonnensystem aufgebaut ist und unter welchen Bedingungen Leben möglich wäre. Im Anschluss daran folgen Informationen zum Aufbau der Erde, wobei die wichtigsten Gesteine und Mineralien, Gesteinskreislauf, Plattentektonik, Erdbeben und Vulkanismus behandelt werden. Die Geologie Österreichs wird sehr kurz, auf nur 3 Seiten erklärt, wobei sich davon auf einer Seite eine geologische Karte befindet. Am Ende des Kapitels gibt es Informationen zur Atmosphäre, Hydrosphäre und Pedosphäre. Am Beginn jedes Kleinkapitels befindet sich ein kurzer Abstract, wobei die wichtigsten Informationen sowohl in deutscher, als auch in englischer Sprache zusammengefasst sind. Insgesamt sind die Erklärungen in diesem Buch, 19 Seiten umfassend, eher kurz gehalten, aber durch viele Abbildungen unterstützt.

Auch in SB5 wird das Kapitel „Bioplanet Erde“ an erster Stelle geführt. Auf den insgesamt 31 Seiten gibt es viel Text zum Aufbau der Erde und des Sonnensystems. Außerdem werden auch die Milchstraße und die Entstehung von Galaxien behandelt. Plattentektonik, Erdbeben und Vulkanismus werden ebenso ausführlich behandelt wie Mineralogie und Gesteinskunde, sowie die Geologie Österreichs. Zudem gibt es zahlreiche Abbildungen, aber abschließende Zusammenfassungen oder praktische Aufgabenstellungen zu den Themen sind nicht zu finden.

In SB3 befindet sich das Kapitel „Bioplanet Erde“ an vorletzter Stelle, nach Verhaltensbiologie und vor Ökologie und Umwelt. Das Kapitel beginnt mit dem Aufbau des Sonnensystems und dem Aufbau der Erde, wobei hier auch umweltschutzrelevante Themen wie Ozonloch und Treibhauseffekt beziehungsweise

Klimawandel ausführlich behandelt werden. Anschließend werden die wichtigsten Gesteinsarten sehr kurz, aber mithilfe zahlreicher Abbildungen vorgestellt. Ausführlicher wird das Thema Plattentektonik behandelt, wobei Erdbeben und Vulkanismus nur am Rande erwähnt werden, jedoch der Gebirgsbildung der Alpen mitsamt der Entstehung der unterschiedlichen geologischen Zonen Österreichs deutlich mehr Bedeutung geschenkt wird. Am Ende des Großkapitels findet man ein Quiz, wobei Fragen mit richtig oder falsch zu beantworten sind, sowie eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Fakten zu „Bioplanet Erde“. SB3 liegt mit einer Seitenzahl von 21 zwar nur im mittleren Bereich, allerdings ist es durch die Aktualität der Inhalte positiv hervorzuheben.

2.3.7 Verwendete Begriffe

Die erwähnten Gesteine und Erze werden für jedes Schulbuch tabellarisch angeführt und angegeben, ob sie erklärt und abgebildet sind. Dabei entspricht die Reihenfolge der angegebenen Gesteine / Erze der Reihenfolge nach deren Auftreten im Schulbuch.

Zudem werden alle Textstellen, die im Zusammenhang mit Lagerstätten, Rohstoffvorkommen und deren Abbau stehen, als Zitate angeführt. In Klammern sind die Seitenzahlen, auf denen sie zu finden sind, angegeben.

SB1: *Bio@school 6*

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Dachsteinkalk	-	-
Adneter Marmor	-	+
Granit	+	+
Schärdinger Granit	-	-
Mauthausener Granit	-	-
Schremser Granit	-	-
Gebhartser Diorit	-	-

Basalt	+	-
Obsidian	+	+
Quarzporphyr	+	-
Rhyolith	+	-
Andesit	+	-
Diorit	+	-
Gabbro	+	-
Konglomerat	+	-
Breccie	+	-
Sandstein	+	-
Siltstein	+	-
Tonstein	+	-
Schieferton	+	-
Kalkstein	+	-
fossile Rohstoffe	+	-
Evaporite	+	-
Untersberger Marmor	-	-
Zogelsdorfer Sandstein	-	-
St. Margarethener Kalksandstein	-	-
Dolomit	+	-
Hornstein	+	-
Amphibolit	-	-
Eklogit	-	-
Glimmerschiefer	-	-
Granatgneis	-	-
Granulit	-	-
Grünschiefer	-	-
Paragneis	-	-
Phyllit	-	-
Quarzit	-	-

Leithakalk	-	-
Schlier	-	-
Mergel	-	-
Kalkmergel	+	-
Eisenkappler Granit	-	-
Bleiglanz	+	-
Pyrit	+	
Steinsalz / Halit	+	+
Hämatit	+	-
Siderit	+	-
Magnesit	+	-
Scheelit	-	-

Tabelle 40: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Da sich Kohle, Öl und Gas aus ehemaligen Organismen bilden, werden sie häufig auch als biogene Sedimente bezeichnet. Der Begriff „fossile Rohstoffe“ weist darauf hin, wie nützlich sie für den Menschen sind. Größere Vorkommen an Erdöl und Erdgas finden sich in Österreich u. a. in der Molassezone und im Wiener Becken.“ (S. 197)
- „Als Evaporite bezeichnet man Sedimente, die durch die Verdunstung von Meerwasser entstehen. Die wichtigsten Evaporite sind Salz und Gips. Vermischt mit Ton bilden sie in Österreich in Form von „Haselgebirge“ die Grundlage für etliche Salzbergwerke, z.B. Altaussee (Stmk.).“ (S. 197)
- „Elemente, die als Minerale vorkommen, heißen auch „gediegen“. Beispiele für Bergbau in Österreich: Grafit (Traudorf/NÖ, Kaiserberg/Stmk.), Gold (Hohe Tauern, Rauris/Sbg; Dellach/Ktn. – stillgelegt), Silber (Schwaz/Tir. – stillgelegt).“ (S. 203)
- „Sulfide [...] Beispiel für Bergbau in Österreich: Bleiglanz (Bleiberg/Ktn. – stillgelegt). (S. 203)
- „Halogenide [...] Beispiele für Bergbau in Österreich: Salz (Hallstatt/OÖ, Hallein/Sbg. – stillgelegt; Altaussee/Stmk.).“ (S. 203)

- „Oxide [...] Beispiel für Bergbau in Österreich: Hämatit (Waldenstein/Ktn.).“
- „Sulfate [...] Beispiele für Bergbau in Österreich: Gips (Golling/Sbg.; Grundlsee/Stmk.; Puchberg/Schneeberg/NÖ).“ (S. 203)
- „Karbonate [...] Beispiele für Bergbau in Österreich: Siderit (Eisenerz/Stmk.), Magnesit (Wald am Schoberpass/Stmk., Radenthein/Ktn.; Hochfilzen/Tir.; Breitenau/Stmk.).“ (S. 203)
- „Phosphate [...] Beispiel für Bergbau in Österreich: Scheelit (Wolfram-Mineral, Mittersill/Sbg. – zeitweise stillgelegt).“ (S. 203)
- „Molassezone + Inneralpine Becken [...] Wirtschaftliche Bedeutung: wichtigste Erdöl- und Erdgasvorkommen Österreichs (OÖ, Wiener Becken); ehemals bedeutende Braunkohlelagerstätten (Hausruck-Ampflwang, Wolfsegg/OÖ; Köflach, Voitsberg/Stmk.).“ (S. 204)
- „Nördliche und Südliche Kalkalpen [...] Wirtschaftliche Bedeutung: Baurohstoff (Mergel für die Zementherstellung); Dekorsteine (v.a. rötliche Kalke aus der Jurazeit, z.B. „Adneter Marmor“, bzw. den Gosauablagerungen, z.B. „Untersberger Marmor“; Salz- und Gipslagerstätten (Hallein/Sbg., Bad Ischl und Hallstatt/OÖ, Altaussee/Stmk., Golling/Sbg.). Die Karstgebiete beherbergen bedeutende Trinkwasserreserven (z.B. Hochschwab/Stmk. und Rax/Schneeberg in NÖ für die Wiener Hochquellleitung). Blei- Zink- Vererzungen (z.B. Bleiberg/Kärnten);...“ (S. 205)
- „Grauwackenzone [...] Wirtschaftliche Bedeutung: Eisen-, Kupfer- und andere Erzvorkommen (Steirischer Erzberg, Mitterberg/Sbg. Schwaz/Tir.); reiche Magnesitvorkommen (Veitsch/Ktn., Radenthein/Ktn., Trieben/Stmk.)...“ (S. 205)
- „Das Tauernfenster [...] Wirtschaftliche Bedeutung: Quarzite (z.B. „Rauriser Plattengneis“) und Zentralgneise (z.B. Maltatal/Ktn.): Bausteingewinnung; früher reiche Goldvorkommen (z.B. Rauris/Sbg., Heiligenblut/Ktn.); Wolframlagerstätte (Mittersill/Sbg.); ...“ (S. 206)
- „Das Kristallin der Ostalpen [...] Wirtschaftliche Bedeutung: Eisenerzlagerstätte (Hüttenberg/Ktn.);...“ (S. 206)
- „Steirisches Becken/ Südburgenland [...] Wirtschaftliche Bedeutung: Abbau des Basalts für Straßen und Bahnschotter;...“ (S. 206)

SB2: Basiswissen Biologie 2

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Granit	+	+
Kalk	+	+
Marmor	+	-
Dolomit	+	-
Hämatit	+	-
Magnetit	+	-
Pyrit	+	-
Kupferglanz	+	-
Bleiglanz	+	+
Zinkblende	+	-
Basalt	+	-
Glimmerschiefer	+	+
Gneis	-	-
Sandstein	-	-
Salzstein	-	-
Konglomerate	-	-
Zogelsdorfer Kalksandstein	-	-

Tabelle 41: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Weitaus seltener aber umso begehrter sind so genannte Erzminerale. Diese zeichnen sich durch einen hohen Anteil eines Metalls aus.“ (S. 12)

SB3: Begegnungen mit der Natur 6

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Granit	+	+
Basalt	+	+

Obsidian	-	+
Gabbro	+	+
Porphyr	-	+
Calcit	-	+
Gneis	+	-
Marmor	+	-
Gips	+	-
Salz	+	-
Sandstein	+	+
Muschelkalk	+	+
Erdöl	-	-
Dolomit	+	-
Quarzit	+	-
Eisenerz	-	-
Magnesit	-	-
Grafit	-	-
Mergel	+	-
Konglomerate	+	-

Tabelle 42: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Das dadurch entstandene salzhaltige Gestein wird als Haselgebirge bezeichnet. Es bildet die Hauptmasse der ostalpinen Salzlagerstätten (Salzabbau in Österreich: Altaussee, Bad Ischl und Hallstatt).“ (S.154)
- „In den Kalkalpen gibt es Salz- und Gipslagerstätten (siehe Seite 156) sowie Erdölvorkommen.“ (S. 155)
- „ In der Grauwackenzone gibt es die wichtigsten Bergbauvorkommen Österreichs: Eisenerz (Steiermark: Erzberg), Magnesit (Steiermark: Oberdorf a.d. Laming, Tirol: Hochfilzen) und Grafit (Steiermark: Kaisersberg).“ (S. 155)
- „Hier erstreckt sich die Molassezone in der wirtschaftlich interessante Erdölvorkommen sind.“ (S. 157)

SB4:Kernbereiche Biologie 6

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Hämatit	-	+
Steinsalz	+	-
Granit	+	+
Sandstein	+	+
Basalt	+	+
Obsidian	+	+
Quarzporphyr	+	+
Gabbro	+	+
Brekzie	+	+
Konglomerat	+	+
Schluffstein	+	+
Tonstein	+	+
Gips	+	+
Tropfstein	+	+
Kalkstein	+	+
Braun- und Steinkohle	+	+
Gneis	+	+
Marmor	+	+
Tonschiefer	+	+
Mergel	+	-
Schlier	+	-
Erdöl und Erdgas	-	-
Dolomitgestein	+	-
Magnesit	-	-
Quarzit	+	-
Grünschiefer	+	-
Kalkglimmerschiefer	-	-
Eklogit	-	-

Tabelle 43: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Die porösen Gesteine (z.B. Sandstein) im Untergrund des Wiener Beckens beinhalten große Mengen an Erdöl und Erdgas, die seit den 30er Jahren gefördert werden.“ (S. 183)
- „Die Grauwackenzone ist die „Schatzkammer Österreichs“, da sich dort die meisten österreichischen Bodenschätze (z.B. Eisen- und Kupfervorkommen) befinden. Besondere Bedeutung haben beispielsweise der **Steirische Erzberg** (Abb.57) oder die Magnesitvorkommen in Kärnten (z.B. Radenthein).“ (S. 184)

SB5: *Biologie 6*

Gestein/Erz	Erklärung	Abbildung
Weinsberger Granit	+	+
Gabbro	+	+
Basalt	+	+
Granit	+	+
Rhyolith	+	-
Bozener Quarzporphyr	+	+
Obsidian	+	-
Brekzie	+	+
Konglomerat	+	+
Sandstein	+	-
Kalksandstein	+	-
Quarzsandstein	+	-
Kalkstein	+	+
Kalksinter	+	+
Tropfstein	+	+
Evaporit	+	-
Steinsalz	+	-
Gips	+	-

Anhydrit	+	-
Korallenkalk	+	+
Braun- und Steinkohle	+	+
Erdöl und Erdgas	+	-
Marmor	+	+
Quarzit	+	+
Mergel	-	-
Glimmerschiefer	+	-
Amphibolit	+	+
Grünschiefer	+	-
Gneis	+	+
Rastenfelder Granodiorit	-	-
Eisgarner Granit	-	-
Mauthausener Granit	-	-
Freistädter Granodiorit	-	-
Neuhauser Granit	-	-
Grafitschiefer	-	-
Thaya Batholith	+	-
Bittescher Gneis	+	-
Weitersfelder Stängelgneis	-	-
Schlier / Tegel	+	-
Serpentinit	-	-

Tabelle 44: Vorkommen, Erklärung und Abbildung von Gesteinen / Erzen

Zitierte Textstellen:

- „Im nördlichen Niederösterreich bei Langau in der Nähe von Geras gibt es *Braunkohlevorkommen* aus dem Tertiär, die bis nach dem Zweiten Weltkrieg die Wiener E-Werke zur Stromerzeugung nutzten.“ (S. 31)
- Verwitterte Gneise und Granite des Mühl- und des Waldviertels sind durch ihren hohen Feldspatanteil (60%) günstige Ausgangsgesteine für *Kaolinlagerstätten*. Im subtropischen Klima des älteren Neogens bildeten sich solche Vorkommen in

Mallersbach bei Retz in Niederösterreich (heute stillgelegt) und in Kriechbaum bei Tragwein in Oberösterreich.“ (S. 31)

- „Im Küstenbereich des Molassemeeres, vor allem am Nordrand zur Böhmisches Masse, lagerten sich gröbere Sedimente, wie *Sande* oder *Schotter*, ab. Diese Vorkommen bilden die Basis einer bis heute florierenden Baustoffindustrie. Der Sandstein von Perg in Oberösterreich wurde zudem viele Jahrhunderte lang zur Mühlsteinerzeugung genutzt.“ (S. 32)
- „Der geologische Bau der Molassezone ist vor allem durch die intensive Bohr- und Aufschlusstätigkeit der **Erdölindustrie** bekannt. Zu den jüngsten tertiären Ablagerungen des Alpenvorlandes gehören die **Schotter** des Hausruck- und des Kobernaußerwaldes in Oberösterreich. An deren Basis gibt es ausgedehnte **Braunkohlelager**, die seit etwa 200 Jahren genutzt werden.“ (S. 32)
- „Um 1930 wurde man bei ersten Ölbohrungen im Wiener Becken nördlich der Donau fündig (Abb. 33.2). Mit dem Ende des Zweiten Weltkriegs entwickelte sich hier eine florierende Industrie mit Gewinnung und Raffination von **Kohlenwasserstoffen**. Sie werden von zwei Gesellschaften – der OMV (Österreichische Mineralölverwaltung) und der RAG (Rohöl-Aufsuchungs-AG) betrieben.“ (S. 33)
- „Im Kern ist das Leithagebirge ein kristallines Gebirge aus Glimmerschiefern und Gneisen. Diese werden von Kalksandstein umhüllt, den man in den Steinbrüchen von Müllendorf bei Eisenstadt und St. Margarethen seit Jahrhunderten abbaut.“ (S. 33)
- „Nordwestlich von Graz, im Raum Köflach- Voitsberg, stieß man auf große Braunkohlevorkommen, die noch immer im Tagebau genutzt werden, allerdings aufgrund der billigen Importkohle einem starken Konkurrenzdruck ausgesetzt sind.“ (S. 33)
- „Im Murtal in der Steiermark liegt die *Fohnsdorfer Kohlemulde* mit ihren bedeutenden Vorkommen einer qualitativ hochwertigen Braunkohle (*Glanzkohle*). Sie wurde bis 1978 abgebaut.“ (S. 33)
- „Die *Grauwackenzone* [...] Viele, teils heute noch genutzte Lagerstätten kommen vor, sodass man sie als „Mineralschatzkammer Österreichs“ bezeichnen kann. Hier treten neben mineralisierten Kalken (wie z.B. am steirischen Erzberg) auch

verschiedene Schiefer auf.“ (S. 36)

Zusammenfassung der Ergebnisse der Begriffs- und Inhaltsanalyse

Die meisten Gesteine beziehungsweise Erze werden in SB1 genannt. Hier werden gesteinsbildende Prozesse genau beschrieben und es wird auf die Mineralzusammensetzung der Magmatite und deren Benennung genau eingegangen. Bei der Erklärung der verschiedenen Stoffklassen von Mineralen werden Beispiele aus dem Bergbau mit angeführt. Beispielsweise wird Bleiglanz unter den Sulfiden oder Hämatit unter den Oxiden vorgestellt. Im Zusammenhang mit den geologischen Zonen Österreichs wird deren wirtschaftliche Bedeutung ausführlich erklärt und man findet zahlreiche Textstellen über Rohstoffvorkommen und Bergbau. So gibt es Informationen zu Vorkommen von fossilen Rohstoffen der Molassezone und des Wiener Beckens, zu Salz- und Gipslagerstätten der Kalkalpen, zu Industrie- und Baustoffvorkommen wie Basalt im Steirischen Becken und Südburgenland, oder Mergel für die Zementherstellung. Auch über vorkommende Metallerzlagerstätten wird genau informiert, wie über ehemaligen Abbau von Blei-Zink-Vererzungen in Kärnten, über diverse Siderit und Magnesitvorkommen, aber auch über Goldvorkommen im Tauernfenster und sogar über Abbau des Wolframerzes Scheelit. Außerdem werden in diesem Schulbuch bedeutende Trinkwasserreserven und ausgebaute Wasserleitungen, wie die Wiener Hochquellwasserleitung, erwähnt. SB1 ist von allen untersuchten Schulbüchern der 6. Klasse das mit den meisten und genauesten Informationen. Allerdings gibt es nur wenige Abbildungen und einige Informationen sind nicht richtig. So wird Scheelit fälschlicherweise den Phosphaten zugerechnet, ist aber ein Wolframat. Es wird auch behauptet, dass der Wolframabbau in Mittersill zeitweise stillgelegt war, was aber bis auf wenige Jahre in den 1990er Jahren nicht stimmt.

An zweiter Stelle wäre SB5 zu reihen. Auch hier werden zahlreiche Gesteine genannt und meist ausreichend erklärt. Im Unterschied zu SB1 gibt es hier auch viele Abbildungen. Informationen bezüglich Rohstoffvorkommen sind in diesem Buch vor allem auf fossile Rohstoffe bezogen. So findet man Textstellen über Braunkohle- und Erdölvorkommen der Molassezone und der Tertiären Becken. Allerdings findet man

auch falsche Informationen. So wird in dem Buch berichtet, dass einige Braunkohlevorkommen noch immer im Tagebau benutzt werden, was falsch ist, da bereits 2004 Österreichs letzten Kohlegrube geschlossen wurde.

Weiters wird auch über Baustoffvorkommen in der Molassezone, über Kalksandstein des Leithagebirges, sowie über Kaolinlagerstätten in Mühl- und Waldviertel berichtet. Jedoch findet man kaum Informationen über Erzlagerstätten. Es wird lediglich erwähnt, dass die Grauwackenzone „Österreichs Mineralschatzkammer“ darstellt.

Wenig Informationen sind in SB2, SB3 und auch in SB4 zu finden.

So werden in SB3 von allen untersuchten Schulbüchern am wenigsten Gesteine erwähnt, wobei diese allerdings meist ausreichend erklärt werden und oft durch Abbildungen unterstützt sind. Informationen über Rohstoffe beschränken sich auf Salz- und Gipslagerstätten, Erdölvorkommen der Molassezone und Eisernerz- und Magnesitabbau in der Grauwackenzone.

In SB2 werden nur wenig mehr Gesteine erwähnt, wobei diese auch selten von Abbildungen unterstützt werden und zudem sind hier keinerlei Rohstoffvorkommen erwähnt.

Auch in SB4 findet man eher wenig erwähnte Gesteine beziehungsweise Erze, wobei die angeführten jedoch in den allermeisten Fällen sehr ausführlich erklärt werden und sie sind auch oft durch Abbildungen unterstützt. Textstellen welche sich auf Rohstoffvorkommen beziehen, beschränken sich auf Erdöl- und Erdgasvorkommen, sowie auf Eisenerze, Kupfererze und Magnesitlagerstätten.

2.4 Interpretation der Ergebnisse

Betrachtet man die Ergebnisse der Schulbuchanalyse, wird man eine große Bandbreite bezüglich Umfang und Qualität der behandelten geologischen Themen feststellen. So werden in einigen Schulbüchern geologische Prozesse ausführlich beschrieben, wie beispielsweise in SB2 der 3. Klasse und SB1 der 6. Klasse, während in SB5 der 3. Klasse der Geologie nicht einmal ein eigenes Kapitel gewidmet wird.

Bezüglich des in dieser Arbeit gelegten Schwerpunktes „Rohstoffe“ werden in den untersuchten Schulbüchern die Rohstoffvorkommen der unterschiedlichen österreichischen geologischen Zonen genannt. Dabei findet man in allen

untersuchten Schulbüchern, mit Ausnahme von SB2 der 6. Klasse, welches das Thema Rohstoffe überhaupt nicht beinhaltet, Informationen zu fossilen Energierohstofflagerstätten, Salz- und Gipsbergwerken, Industrierohstoffen und Erzvorkommen der Grauwackenzone, wobei vor allem Eisen-, Kupfererz und Magnesitvorkommen erwähnt werden. Am ausführlichsten behandelt SB1 der 6. Klasse Erze, wo neben Siderit und Magnesitvorkommen auch Kupfererz, Blei- und Zinkvererzungen, Gold-, Silber- und Grafitvorkommen sowie das Wolframerz Scheelit Erwähnung finden.

Meist werden Rohstoffvorkommen aber nur erwähnt und nicht weiter ausgeführt und selten informieren die Schulbücher über aktuelle Zusammenhänge mit dem Thema „Rohstoffe“. So findet man Informationen zu Treibhauseffekt und anthropogen verursachten Klimawandel als Folge von Verbrennung fossiler Energierohstoffe nur in SB3 der 3. Klasse und SB3 der 6. Klasse. Auf die Notwendigkeit des Recyclings von Rohstoffen wird nur in SB1 der 3. Klasse hingewiesen. In allen anderen untersuchten Schulbüchern fehlt der Begriff „Recycling“ beziehungsweise „Wiederverwertung“ vollständig.

Hält man sich nun die Bedeutung eines Schulbuches für den Unterricht vor Augen, und nimmt man an, dass sich Lehrer und Lehrerinnen bei der Vorbereitung des Unterrichts an Inhalte der Schulbücher orientieren, wird deutlich, dass mehr Aktualität und mehr Verständnis für globale Zusammenhänge von Rohstoffverbrauch und Erzeugung im Unterricht wünschenswert wären. Auch die Situation Europas und Bergbau in europäischen Ländern sollten genauer behandelt werden, um so die Wertschätzung der Natur bei den Schülern und Schülerrinnen zu erhöhen und sie damit zu nachhaltigem Verhalten zu animieren.

3 Theoretischer Teil

Im 2. Teil der Diplomarbeit werden nun Informationen zusammengetragen, welche von Lehrern und Lehrerinnen im Unterricht verwendet werden können und genau die zuvor geforderte Aktualität beinhalten und Schülern und Schülerinnen zu wertschätzendem Umgang mit Rohstoffen anregen sollen. Zudem eignen sich diese Informationen hervorragend für interdisziplinären Unterricht, welcher ausdrücklich in den Lehrplänen gefordert wird. So könnte dieses Thema fächerübergreifend mit den Fächern Chemie oder Geographie unterrichtet werden.

Die Informationen handeln von metallischen Rohstoffen, deren Bedarf aufgrund der Verwendung in der sich rasch entwickelnden Hochtechnologieindustrie kontinuierlich ansteigt. Das Vorkommen von wirtschaftlich abbaubaren Lagerstätten ist häufig auf andere Kontinente als Europa beschränkt. So müssen diese Rohstoffe oft aus politisch oder wirtschaftlich kritisch bewerteten Ländern importiert werden. Oft fehlt es in diesen Ländern an gesicherten Standards im Bergbau, Umweltmanagement, oder an sozialer Sicherheit (MELCHER & WILKEN 2013, 47). Bei einigen dieser Metalle ist das Angebot zudem begrenzt, da ihre Gewinnung überwiegend als Beiprodukte oder Koppelprodukt von häufigeren Rohstoffen, wie Kupfer, Zink oder Aluminium erfolgt und zudem komplexe Aufbereitungsprozesse nötig sind (MELCHER & WILKEN 2013, 46). Gerade hier wären geeignete Recyclingverfahren sinnvoll, um diese Rohstoffe wieder in den Werkstoffkreislauf zurückführen zu können. Folglich definierte die EU 20 Rohstoffe, welche bezüglich Rohstoffversorgung als „kritische Rohstoffe“ eingestuft werden. Zu diesen zählen die Metalle Antimon, Beryllium, Chrom, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Magnesium, Niob, Platingruppenelemente (PGE), leichte und schwere Seltene Erden (SE) und Wolfram. Tantal wird seit 2014 nicht mehr zu den kritischen Rohstoffen gezählt, wird in dieser Diplomarbeit aber trotzdem angeführt, da es sich dabei um einen typischen „Konfliktrohstoff“ handelt. Weiters zählen auch die Industrieminerale Borate, Kokskohle, Flussspat, Magnesit, Graphit und Phosphate zu den kritischen Rohstoffen, auf welche aber im Zuge dieser Diplomarbeit nicht näher eingegangen wird (vgl. EUROPEAN COMMISSION 2010 und 2014).

Um ein Verständnis dafür zu bekommen, warum Rohstoffe in manchen Gebieten

häufiger auftreten als in anderen, und warum die Verteilung der verschiedenen Rohstoffe in der Erdkruste so unterschiedlich ist, erfolgt zuvor noch eine kurze Einführung in die Lagerstättenkunde, jene Teildisziplin der Geowissenschaften, welche sich mit der wissenschaftlichen und praktischen Untersuchung mineralischer Rohstoffquellen beschäftigt (vgl. POHL 2005, 1). Dabei werden die wichtigsten Prozesse und Begriffe erklärt, um anschließend einen kurzen Abriss über die Entstehung der verschiedensten Lagerstätten zu geben.

3.1 Lagerstättenkunde

Aufgrund der Mannigfaltigkeit von Lagerstättentypen und neuer Erkenntnisse in den Geowissenschaften, welche oft zu widersprüchlichen Vorstellungen über die Bildung von Erzlagerstätten geführt haben (vgl. SPEKTRUM DER WISSENSCHAFTEN – Erzlagerstättenklassifikation), gibt es bisher kein allgemein gültiges Klassifizierungssystem. Demnach orientiert sich dieses Kapitel an der Einteilung der Lagerstättentypen nach POHL (2005).

Zu den mineralischen Rohstoffen zählt man die Erze und Nichterze, wobei letztere nichtmetallische Rohstoffe umfassen, wie Industrieminerale sowie die Massenrohstoffe der „Steine und Erden“. Unter Erzen versteht man metallhaltige Gesteine oder Mineralgemenge, aus denen mit technischen Methoden aus ökonomischen Interessen Metalle gewonnen werden können. Als Gangart bezeichnet man die nicht nutzbaren Minerale, welche zusammen mit den Erzmineralen gebildet und gemeinsam abgebaut werden. (vgl. POHL 2005, 5)

In der Erdkruste findet man lokale natürliche Anhäufungen von nutzbaren Mineralen oder Gesteinen, welche als Lagerstätten bezeichnet werden, sofern sie für eine wirtschaftliche Gewinnung in Betracht kommen. Kann man eine Lagerstätte wirtschaftlich nutzen, so bezeichnet man sie als abbauwürdig. (vgl. POHL 2005, S.1)

Die Abbauwürdigkeit hängt nicht nur vom Grad der Anreicherung ab, welcher durch den Anreicherungsfaktor ausgedrückt wird und sich aus dem Verhältnis des Rohstoffgehalts in der Lagerstätte zu seinem durchschnittlichen Gehalt in der Erdkruste ergibt (vgl. POHL 2005, 2). Eine ganze Reihe weiterer Faktoren, wie der Weltmarktpreis, technische Möglichkeiten des Abbaus, politische Gegebenheiten und

Vorgaben bestimmen die Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte (vgl. STOSCH 2014, 222).

Die Gründe für die Anreicherung bestimmter Stoffe sind sehr unterschiedlich, so bilden sich Erzlagerstätten im Laufe des geologischen Geschehens, beim Auf- und Abbau der Gesteine (vgl. POHL 2005, 6), im Rahmen der magmatischen, der sedimentären und seltener auch der metamorphen Bildungsprozesse, sowie durch Absatz aus wässrigen, metallhaltigen Lösungen (vgl. UNIVERSITÄT TÜBINGEN - Mineralogische Sammlung). Entstehen Erze gleichzeitig mit dem Gesteinsverband, in dem sie sich befinden, bezeichnet man die Lagerstätte als syngenetisch. Als epigenetisch bezeichnet man demgegenüber eine Lagerstätte, bei der die Erze in bereits vorhandenes Gestein abgesetzt wurden. Sie ist demnach später entstanden als das umgebende Trägergestein. (vgl. POHL 2005, S.7 & STOSCH 2014, 225) Die Begriffe stratiform und strata-bound beziehen sich hingegen nicht auf die Entstehungsprozesse, sondern dienen nur der Beschreibung. Demnach beschreibt stratiform eine schichtförmige Lagerstätte, die parallel zu den Gesteinsschichten liegt. Eine solche Lagerstätte kann sowohl syngenetisch als auch epigenetisch entstanden sein. Strata-bound bedeutet schichtgebunden und beschreibt eine Lagerstätte, welche nur innerhalb einer bestimmten Gesteinsschicht vorkommt (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 4). Weiters unterscheidet man endogene und exogene Prozesse, wobei den endogenen Vorgängen magmatische und metamorphe Bildungsprozesse zuzuordnen sind, während sedimentär entstandene Lagerstätten zu den exogenen Prozessen zu zählen sind (vgl. SPEKTRUM DER WISSENSCHAFTEN – Erzlagerstättenklassifikation).

Eine eindeutige und klare Einteilung der Lagerstätten nach ihren Entstehungen ist allerdings nicht immer möglich, da bei jeder Lagerstättenbildung unterschiedliche Prozesse nacheinander und unter wechselnden Bedingungen stattfanden. Deshalb bestehen fließende Übergänge zwischen den verschiedenen Lagerstättentypen und es gibt unzählige Ansätze zur Lagerstättenklassifikation von verschiedenen Autoren (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 2).

Die Klassifikation von POHL (2005) entspricht einerseits einer Einteilung nach Entstehungsprozessen, aber ebenso fließen Gruppierungen nach geologischem Milieu, nach Mineralbestand und Form der Lagerstätten mit ein (POHL 2005, 7).

Klassifikation von Erzlagerstätten nach POHL (vgl. POHL 2005, 118)

- 1 Magmatogene Erzlagerstätten
 1. Liquidmagmatische Lagerstätten
 2. Pegmatite
 3. Hydrothermale Lagerstätten
- 2 Verwitterungslagerstätten
 1. Rückstandslagerstätten
 2. Lagerstätten aus Verwitterungslösungen
- 3 Sedimentäre Lagerstätten
 1. Allochthone
 2. Autochthone
- 4 Diagenetisch- hydrothermale Lagerstätten
 1. Kupferschiefer Typ
 2. Mississippi- Valley Typ
 3. Erzlagerstättenbildung durch migrierende Salzlauge
- 5 Metamorphe Lagerstätten
- 6 Metamorphogen- hydrothermale Lagerstätten

Bevor näher auf die verschiedenen Erzlagerstättentypen eingegangen wird, ist es allerdings notwendig einige grundlegende Begriffe aus der Gesteinskunde an dieser Stelle zu erläutern:

Als Magma bezeichnet man eine Gesteinsschmelze mit darin gelösten Gasen und herumschwimmenden Kristallen. Erstarrt Magma in größerer Tiefe unter der Erdoberfläche, entstehen aufgrund der langsamen Kristallisation grobkörnige Gesteinskörper, welche man als Plutonite (Tiefengestein) bezeichnet. Tritt Magma jedoch an der Erdoberfläche aus, erstarrt es infolge der raschen Abkühlung im Kontakt mit Luft oder Wasser schnell, und es bilden sich feinkörnige bis glasige Gesteine, die sogenannten Vulkanite (Effusivgesteine). (STOSCH 2014, 17)

Die Einteilung der Magmatite beruht auf deren mineralischer Zusammensetzung. So bezeichnet man Gesteine, welche zum überwiegenden Teil helle Mineralbestandteile wie Quarz, Alkalifeldspat oder Plagioklas und Feldspatvertreter aufweisen, als felsisch. Gesteine mit hohem dunklem Mineralbestand aus Olivin, Amphibol, Pyroxen

oder Glimmer werden dagegen als mafisch bezeichnet. Beträgt der Anteil an mafischen Mineralien über 90 % spricht man von ultramafischem Gestein.

Auch der Anteil an SiO_2 spielt eine wichtige Rolle bei der Einteilung der Gesteine. So werden Gesteine mit einem SiO_2 – Gehalt von über 66% als sauer, zwischen 66% und 52% als intermediär, zwischen 52% und 45% als basisch und unter 45% als ultrabasisch bezeichnet.

Primitive Magmen, welche direkt aus dem Erdmantel stammen, bilden basische oder ultrabasische Gesteine wie Peridotit, Gabbros (Plutonite) oder Basalte (Vulkanite). Durch magmatische Differentiation, ein Prozess bei dem sich die Zusammensetzung des Magmas durch Abtrennung von Kristallen oder Teilschmelzen verändert (vgl. SPEKTRUM DER WISSENSCHAFTEN – Magmatische Differentiation), bilden sich, über intermediäre Gesteine, saure Gesteine bis hin zu Granit (Plutonit) oder Rhyolith (Vulkanit) (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 81). Allerdings entstehen die meisten Granite durch partielle Aufschmelzung der kontinentalen Kruste.

3.1.1 Magmatogene Erzlagerstätten

Die Bildung dieser Lagerstätten ist auf magmatische Prozesse im oberen Erdmantel oder der Erdkruste zurückzuführen. Beim Abkühlen einer Gesteinsschmelze kristallisieren einige Elemente früher aus, während andere Stoffe noch in der Schmelze verbleiben. Diesen Prozess bezeichnet man als Fraktionierung, wobei das Verhalten der verschiedenen Elemente hauptsächlich davon abhängt, wie gut sie in das jeweilige Kristallgitter der gebildeten Minerale hineinpassen. Aufgrund ihrer geochemischen Eigenschaften kann man Elemente in vier Gruppen einteilen: Siderophile Elemente, dazu zählen Nickel, Kobalt, Gold und Platin, neigen dazu, Legierungen mit Eisen zu bilden. Chalkophile Elemente, wie Silber, Quecksilber, Blei, Zink und Arsen, bilden bevorzugt Sulfide und sind demnach in Sulfidlagerstätten zu finden. Lithophile Elemente, zu denen man Natrium, Kalium, Magnesium und Aluminium zählt, finden sich vor allem in Silikatmineralien. Als atmophile Elemente, wie Wasserstoff und Stickstoff, bezeichnet man leicht flüchtige Stoffe welche sich bevorzugt in der Atmosphäre und im Ozean befinden. (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014; 44 – 47)

Sobald sich also Kristalle bilden, verändert sich somit auch die chemische

Zusammensetzung der verbleibenden Schmelze (siehe magmatische Differentiation). Dieser Prozess setzt sich im Verlauf der weiteren Kristallisation stetig fort. Im Zusammenhang mit diesen magmatischen Vorgängen, gibt es nun mehrere Möglichkeiten, welche zur Anreicherung bestimmter Elemente führen können und so Lagerstätten entstehen lassen:

Liquidmagmatische Lagerstätten, auch orthomagmatisch oder intramagmatisch genannt, entstehen direkt aus meist ultrabasischen und basischen silikatischen Magmen durch fraktionierte Kristallisation, oder durch Liquidentmischung. Bei der fraktionierten Kristallisation werden früh entstandene Kristalle von der Schmelze getrennt, was zu einer völlig anderen Zusammensetzung der verbleibenden Schmelze führt. Bei der Liquidentmischung trennen sich hingegen zwei nicht mischbare Schmelzen voneinander schon vor der Kristallisation. So trennen sich beispielsweise Sulfid-, Oxid- oder Karbonatschmelzen von Silikatschmelzen ab. (vgl. UNIVERSITÄT TÜBINGEN - Mineralogische Sammlung)

Zu diesem Lagerstättentyp zählt man *Layered Mafic Intrusions (LMI)*, große geschichtete Gesteinskörper, welche aus basischem Magma entstanden sind. Die verschiedenen Schichten unterscheiden sich in Anteil und Zusammensetzung der jeweiligen Minerale. (NEUKIRCHEN & RIES 2014; 95) Der Bushveld Komplex in Südafrika beinhaltet die weltweit größten Vorkommen an Chrom, Platinmetallen und Vanadium in der weltweit größten LMI (POHL 2005, 10). Als zweitwichtigste Chromvorkommen sind *Chromitlagerstätten in Ophiolithen* zu nennen. Ophiolithe entsprechen Fragmenten aus ozeanischem Mantel und Kruste, welche kontinentalwärts transportiert wurden (vgl. POHL 2005, 18). Neben Chrom können in diesen Lagerstätten auch Metalle der Platingruppenelemente (PGE) enthalten sein.

Pegmatite bilden sich aus der Restschmelze eines erstarrenden Plutons, nachdem die Hauptkristallisation schon stattgefunden hat. In dieser Restschmelze sammeln sich leicht flüchtige Stoffe und inkompatible Elemente an, welche aufgrund ihrer Ionenradien nicht in die Kristallstruktur der während der Hauptkristallisation gebildeten Mineralien passen. (vgl. UNIVERSITÄT TÜBINGEN - Mineralogische Sammlung) Die meisten Pegmatite entstehen aus SiO₂-reichem Magma, sogenanntem Granitmagma, und sie zeichnen sich durch das gelegentliche Vorkommen von Mineralen mit seltenen Elementen, sowie durch Grobkristallinität bis

hin zur Ausbildung von Riesenkristallen aus (POHL 2005, 27). Während die Restschmelze auskristallisiert, können sich inkompatible Elemente so stark anreichern, dass sie Lagerstätten bilden. Neben Edelsteinen findet man in Pegmatiten auch seltene Mineralien und Erze mit Beryllium, Lithium, Seltenen Erden, und vielen anderen. Welche Elemente sich anreichern, das hängt von der Zusammensetzung des Ausgangsmagmas ab. Demnach unterscheidet man unterschiedliche Pegmatitfamilien: Die LCT (Lithium-Cäsium-Tantal) Pegmatite, welche auch häufig Beryll-Columbit Erze führen, und die NYF (Niob-Yttrium-Fluor) Pegmatite, worin oftmals Seltene Erden-Mineralien zu finden sind. (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 121) Pegmatitische Lagerstätten zeichnen sich durch generell kleine Vorräte und ungleichmäßige Verteilung der Rohstoffe aus, wodurch deren Bauwürdigkeit stark eingeschränkt ist. Aus diesem Grund werden Pegmatite oft nur in Ländern mit niedrigem Lohnniveau abgebaut. (POHL 2005, 30)

Hydrothermale Lagerstätten entstehen durch mineralische Ausscheidungen, die aus heißen wässrigen Lösungen auskristallisieren. Viele dieser Lagerstätten sind auf magmatische Prozesse in der Erdkruste zurückzuführen, wo die wässrige Lösung dem Magma entstammt. Allerdings spielt bei deren Entstehung oft auch meteorisches Wasser (=salzfreies Regenwasser), salzreiches Meerwasser oder kohlenstoffhaltiges metamorphes Wasser eine Rolle. Dabei gelangen diese Wässer in die Erdkruste, werden erhitzt und laugen das umgebende Gestein aus. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Wassertypen und der damit zusammenhängenden Löslichkeit von Metallen, können auf diese Weise unterschiedliche Lagerstätten entstehen. Als *hydrothermal-metasomatische Lagerstätten* bezeichnet man jene, bei deren Bildung ein bestimmter Gesteinskörper, bevorzugt Karbonatgestein, durch das Eindringen einer wässrigen Lösung verdrängt und/oder in Erz umgewandelt wird. Dabei bilden sich Blei- und Zinkerze, sowie Gold-, Magnesit- und Sideritlagerstätten, zu denen der Erzberg in Österreich zählt (POHL 2005, 48). Häufig kommt es zu Gesteinsumwandlungen in der Nähe von Plutonen, wo Karbonatgestein aufgeheizt wird und gleichzeitig von freigesetzten hydrothermalen Lösungen durchströmt wird. Die so entstandenen Erzvorkommen nennt man *Skarne*, welche reich an Kupfer-, Eisen-, Wolfram-, Blei- und Zinkerzen sein können (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 190-192). Wirtschaftlich große Bedeutung

hatten *hydrothermale Ganglagerstätten*, welche Metallerze wie beispielsweise Zinn, Wolfram, aber auch Gold und Silber führen. Dabei handelt es sich um Spalten oder Klüfte, die hydrothermal aufgefüllt wurden. In seltenen Fällen sind diese Erzgänge durch metasomatische Verdrängung des Gesteins entstanden (POHL 2005, 51). Zu diesem Lagerstättentyp zählt man auch die epithermalen Goldadern, welche im Zusammenhang mit Vulkanismus entstanden sind, sowie die orogenen Quarzadern, die im Zuge der Gebirgsbildung, durch Beteiligung des bei der Gesteinsmetamorphose freigesetzten Wassers, gebildet werden (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 157).

Riesige Erzmengen findet man in den *Porphyren*, welche hydrothermale stockförmige (= fingerförmig verzweigte) Vererzungen in den oberen Bereichen von Plutonen darstellen. Diese Lagerstätten liefern circa drei Viertel der weltweiten Kupferproduktion, die Hälfte des Molybdäns und ein Fünftel des Goldes. Daneben stammt alles an Rhenium und Selen aus sogenannten Kupferporphyren. Die größte Kupferlagerstätte der Erde „El Teniente“ befindet sich in Chile. (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 168-176)

Eine Reihe an *Ophiolithe* und *Porphyre* gebundene Lagerstätten entstanden im Zusammenhang mit Magmatismus. Vulkanische hydrothermale Lösungen treten am Meeresgrund aus (=Exhalation), vermischen sich mit Meerwasser und lagern Erze ab, was an den Hydrothermalfeldern am Mittelozeanischen Rücken durch „black smokers“ eindrucksvoll zur Schau gestellt wird. Entstehen auf diese Weise Lagerstätten, so spricht man von *submarinen, vulkanogen-exhalativen Lagerstätten*. Dabei spielt es eine Rolle, ob die hydrothermale Lösung beim Austritt noch siedet oder nicht. Liegen die Austrittstemperaturen über dem Siedepunkt, so lagern sich massige Erzkörper ab (POHL 2005, 58). Es bilden sich *vulkanogene, massive Sulfidlagerstätten (VMS)* (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 201), zu denen beispielsweise die wirtschaftlich bedeutenden *Kuroko-Lagerstätten* in Japan zählen (POHL 2005, 60). Liegt die Temperatur unter dem Siedepunkt, so fallen die Erze in Form sedimentärer Texturen aus und lagern sich als Sediment am Meeresgrund ab. Zu diesem Lagerstättentyp zählt man die *sedimentär-exhalativen (SEDEX) Lagerstätten* (POHL 2005, 58), welche mehr als die Hälfte der bekannten Blei- und Zinkreserven beinhalten. Der Rammelsberg im Harz entspricht beispielsweise einer

SEDEX Lagerstätte (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 217). Auch terrestrischer Vulkanismus spielt eine Rolle bei der Bildung von Erzen. Neben den zuvor beschriebenen subvulkanischen Porphyrerzen seien die oberflächennah gelegenen *Gold-Silber- oder buntmetallreichen epithermalen Lagerstätten* erwähnt (POHL 2005, 62).

3.1.2 Verwitterungslagerstätten

Viele bedeutende Lagerstätten entstanden im Zusammenhang mit Verwitterungsprozessen und Bodenbildung. An der Verwitterung von Gestein sind physikalische (mechanischer Zerfall) und chemische (Herauslösen und/oder Umbildung von Mineralen) Prozesse beteiligt. Hinzu kommen auch biologische Einflüsse, durch das Wirken von Wurzeln, Pilzhyphen und Bakterien. Durch Verwitterung und Umlagerung entstehen schließlich Böden, mit charakteristischer vertikaler Schichtung, entsprechend der Ausdifferenzierung der Bodenhorizonte. Die Bodenbildung wird, neben dem Ausgangsgestein, auch beeinflusst von Faktoren wie Klima, Vegetation, Niederschlag und Temperatur. Bedeutende Bodentypen, im Zusammenhang mit Lagerstätten, stellen *Laterite* dar. Diese tonig-sandigen, roten Böden findet man im tropischen und subtropischen Klima mit reicher Vegetation. Laterite sind reich an Aluminium und Eisen und unter geeigneten Bedingungen können sich *lateritische Erze* bilden (POHL 2005, 64). Zu den Verwitterungslagerstätten zählt man *Rückstandslagerstätten, auch residuale Lagerstätten* genannt, und jene, welche *aus Verwitterungslösungen* entstanden sind. In *residualen Lagerstätten* reichern sich Stoffe an, welche am Ort der Verwitterung zurückbleiben, während wertloses Nebengestein abtransportiert wird. Zu diesem Lagerstättentyp zählt man *residuale Seifen*, die direkt über dem Ausgangsgestein liegen und in sehr flachem Gelände vorkommen, sowie *Bauxitlagerstätten*, welche sich über Aluminium-Silikatgestein entwickeln (POHL 2005, 66). Bauxite bestehen aus Aluminiumhydroxiden und kommen in Australien, China, Brasilien und Indien, aber auch in Europa, in Griechenland, Frankreich und Ungarn, vor (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 266). Weiters sind an dieser Stelle *lateritische Goldlagerstätten* in Australien zu erwähnen, die überaus bedeutenden *lateritischen Nickellagerstätten* in Neukaledonien und *residuale Manganlagerstätten*, welche in

Südafrika, Gabun, Indien, Brasilien und Ghana abgebaut werden (vgl. POHL 2005, 67-69).

Zu den *Lagerstätten aus Verwitterungslösungen* zählt man jene, die entstehen wenn wertvolle Minerale im Zuge der Verwitterung gelöst werden und, nach meist kurzen Transportwegen, wieder abgeschieden werden (vgl. POHL 2005, 64).

Zur *deszendenten (= absteigenden) Anreicherung von Sulfiderzen* kommt es, wenn oberflächennahe Sulfide durch Niederschlagswasser, Bodenluft und Mikroorganismen oxidieren (POHL 2005, 69).

Wenn die metallhaltige Lösung, welche aus dem Verwitterungsgestein herausgelöst wurde, weitere Transportwege zurücklegt, und in ganz anderen Gesteinen wieder ausfällt und Erze anreichert, so spricht man von *Infiltrationslagerstätten*. Wirtschaftlich wichtig sind solche Uranvorkommen, wie sie beispielsweise im Colorado Plateau in den USA vorkommen. Auch Kupfererze in Sandstein, die sogenannten *Red Bed Lagerstätten* und auch Bleierze in Sandstein, als *Knotternerze* bezeichnet, sind auf diese Weise entstanden. (vgl. POHL 2005, 72 – 75)

3.1.3 Sedimentäre Lagerstätten

Bei der Bildung von sedimentären Lagerstätten werden die wertvollen Mineralien gleichzeitig mit den umgebenden Sedimenten konzentriert (POHL 2005, 78).

Man unterscheidet, je nach Herkunft des Sediment-Materials, *allochtone* und *autochtone* Lagerstätten voneinander:

Bei *Allochtonen Lagerstätten* wurde das Material in festem Zustand angeliefert (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 230). Hierzu gehören die *Seifenlagerstätten*, die mechanisch gebildete Anreicherungen von verwitterungsresistenten Mineralen darstellen. Zur Konzentration bestimmter Minerale kommt es durch Dichteunterschiede im Zuge des Sedimenttransports, der über Bodenfließen (= *eluviale* Seifen), in Flussläufen (= *fluviale* Seifen) oder im Küstenbereich eines Meeres (= *marine* Seifen) stattfand. Seifen stellen wichtige Rohstoffquellen für Gold, Platinmetalle, Zinn, Titan, Zirkon, Seltene Erden und verschiedene Edelsteine dar. So kommt beinahe die Hälfte der Jahresproduktion von Gold aus der fossilen *Seife des Witwatersrandgebietes* in Südafrika. (vgl. POHL 2005, 78 – 81)

Autochtone Lagerstätten entstehen aus Sedimenten, welche an Ort und Stelle

gebildet wurden, wie beispielsweise durch Fällungsreaktionen am Meeresgrund (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 230). Viele der autochton entstandenen Erze wurden durch hydrothermale Exhalation ins Meer und anschließende Ausfällung und Sedimentation gebildet (POHL 2005, 76). Die so entstandenen *VMS-* und *SEDEX Lagerstätten* wurden bereits im Kapitel „Hydrothermale Lagerstätten“ beschrieben. Weitere wichtige Vertreter dieser Gruppe sind die *gebänderten Eisenerze* und die *oolithischen Eisen- und Manganerze*. Die gebänderten *Eisenerze* (*banded iron formations BIF*) sind fein geschichtete Gesteine aus Hämatit, Magnetit oder Goethit (= Eisenoxide und -hydroxide) und Quarzlagen, fallweise auch mit Eisensilikaten und Eisenkarbonaten (POHL 2005, 82). BIF sind ausschließlich aus dem Präkambrium bekannt und ihre Bildung hängt mit bedeutsamen Veränderungen im frühen Erdzeitalter zusammen (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 234). Man unterscheidet 3 Typen von BIFs: Den *Algoma Typ*, dessen Bildung wahrscheinlich auf exhalative oder hydrothermal- sedimentäre Bedingungen zurückzuführen ist. Den *Superior Typ*, dessen Entstehung mit dem Wechsel von reduziertem und oxidiertem Zustand der Atmosphäre im Archaikum und Alt-Proterozoikum (vor etwa 1,8 Milliarden Jahren) in Verbindung gebracht wird. Dieser BIF Typ erreicht bemerkenswerte Ausdehnung und unterlagert Gebiete von vielen zehntausenden Quadratkilometern (POHL 2005, 82). Sie stellen die größten Eisenlagerstätten dar und man findet sie in Australien, der USA, Kanada, aber auch in Südafrika, Russland, der Ukraine und in Brasilien (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 236). Der dritte BIF Typ ist der *Rapitan Typ*, welcher zusammen mit eiszeitlichen Ablagerungen auftritt. Vermutlich entstanden diese Eisenablagerungen in eisbedeckten Meeren, wo aufgrund reduzierender Bedingungen Eisen gelöst wurde, was beim Vermischen mit sauerstoffreichem Wasser als Eisen-Mangan-reiches Sediment wieder ausgefallen ist. Lagerstätten des Rapitan Typs sind wirtschaftlich nur wenig bedeutend. (POHL 2005, 83) *Oolithische Eisenerze* sind Ablagerungen seichter Inlandsmeere aus mergelig bis tonigen Sedimenten. Charakteristisch für diese Erze sind die sogenannten *Ooide*, kugelige Körner aus konzentrischen Anwachsschalen um einen Fremdkörper. Diese Ooide der Eisenerze bestehen aus Mineralen wie Hämatit, Siderit, Chamosit und Eisenhydroxiden. (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 241) Die Bildung dieser Eisenerze lässt sich auf Eisen-führenden Eintrag ins Meer erklären, der aus terrestrischen

Verwitterungsströmen stammt und möglicherweise durch tropische Urwaldströme in seichte Schelfgebiete oder Inlandmeere transportiert wurde und dort ausgefallen ist. Oolithische Eisenerze werden wegen ihres niedrigen Eisengehalts nur selten abgebaut (POHL 2005, 84). Wichtiger sind die *oolithischen Manganerze*, welche auf ähnliche Weise wie die Eisenerze entstanden sind. Derartige Mangan-Lagerstätten findet man in der Süd-Ukraine bei Nikopol, oder auch in Australien (POHL 2005, 84). *Manganknollen und –krusten* kommen in weiten Teilen der Tiefsee vor und liegen oft weit entfernt von submarinen hydrothermalen Feldern (POHL 2005, 85). Rund 20%-40% der Knolle bestehen aus Mangan, hinzu kommen noch Metalle wie Eisen, Kupfer, Nickel und Kobalt (NEUKIRCHEN & RIES 2014, 245). Wirtschaftlich interessante Manganknollenfelder liegen im Pazifik, im Perubecken und im zentralen Indischen Ozean (POHL 2005, 85).

3.1.4 Diagenetische Lagerstätten

Zu diesem Typ zählen alle Lagerstätten, welche im Zuge der Diagenese entstanden sind. Im Verlauf der mechanischen Kompaktion (=Verdichtung) werden sogenannte Formationswässer aus den Sedimenten gedrückt. Diese frei gewordenen Wässer führen bedeutende Mengen an gelösten Stoffen mit sich, wie Na, Ca, Cl, HCO₃, K, I, Br sowie die Metalle Fe, Mn, Cu und Zn und viele andere, und erreichen schon in geringer Tiefe Temperaturen über 100°C. Über die Ränder der Sedimentbecken und nach oben hin werden die Wässer abgeführt. Dort wo große Mengen dieser heißen Wässer aufsteigen, in permeables Gestein eindringen und durch Mischung mit chemisch abweichendem Wasser ausfallen, entstehen Lagerstätten, deren Entstehung man demnach als *hydrothermal-epigenetisch* bezeichnen kann. (vgl. POHL 2005, 88-90)

Auf diese Weise sind *Kupferschiefer* entstanden, die gebänderten Tonsteinen entsprechen und reich an Kupfer-, Blei-, und Zinkerzen sind. Wichtige Lagerstätten sind der *europäische Kupferschiefer in Polen*, die *stratiformen Kupferlagerstätten von White Pine in Michigan/USA* und der *zentralafrikanische Kupfergürtel in Zambia und Katanga, D.R. Kongo* (vgl. POHL 2005, 91-94).

Auch Blei-Zink Lagerstätten in marinen Karbonatgesteinen sind zum Teil diagenetisch entstanden. Neben diagenetischen Prozessen waren hier allerdings

auch tektonische Vorgänge, wie Krustendehnung und auch Kompression, beteiligt. Ein bedeutender Vertreter ist der *Mississippi Valley Typ* der mittel-kontinentalen USA. Diese schichtgebundenen Erze stellen wichtige Blei-, Zink-, Barium- und Fluor-Lagerstätten dar (POHL 2005, 94).

Stammen die Formationswässer aus salzführenden Anteilen der Sedimentbecken, so spricht man von *diapirgebundenen Lagerstätten*. Die Erze dieser Lagerstätten liegen oft in der Nähe von Evaporiten. Bekannt sind solche Lagerstätten beispielsweise aus Nordafrika, Texas, der Ukraine und Kolumbien. (POHL 2005, 96)

3.1.5 Metamorphe Lagerstätten

Hierbei handelt es sich um Lagerstätten, die schon vor der Metamorphose gebildet wurden und nur eine Umformung erfahren haben. So finden an manchen magmatischen Gängen Kontaktmetamorphosen der Erze statt. Häufiger sind allerdings Regionalmetamorphosen von Erzlagerstätten. Zu diesen zählen Sulfidvorkommen, wie beispielsweise in *Ophiolithen* im Tauernfenster in Österreich, oder die *gebänderten Eisenformationen (BIFs)* (vgl. POHL 2005, 98-99), welche bereits an anderer Stelle beschrieben wurden.

3.1.6 Metamorphogene Lagerstätten

Diese Lagerstätten entstehen im Zusammenhang mit Kontaktmetamorphosen, wie das bei den bereits erwähnten *Skarnen* der Fall ist, oder in Verbindung mit Regionalmetamorphosen (vgl. POHL 2005, 101). Dabei werden Metalle zusammen mit Wasser, welches im Zuge der Metamorphose aus dem Gestein ausgetrieben wird, in Bereiche mit niedrigerem Druck transportiert. Unter günstigen Bedingungen kann es dann zu Ausfällungen und Konzentration wertvoller Minerale kommen. (vgl. UNIVERSITÄT TÜBINGEN – Erze und Erzlagerstätten) Hierzu zählt man die bereits beschriebenen *orogenen Quarz- oder Goldadern*.

3.2 Kritische Hochtechnologie – Rohstoffe

Rohstoffe haben für die Entwicklung in einer modernen Gesellschaft und für deren Wirtschaft essentielle Bedeutung, aber dennoch wurde es innerhalb der Europäischen Union lange Zeit verabsäumt sich um eine gesicherte Versorgung zu kümmern. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts führte eine langanhaltende Periode stabiler und niedriger Preise dazu, dass die westlichen Staaten zunehmend Rohstoffe aus anderen Kontinenten importierten (vgl. LUIDOLD 2013, 18). In den westlichen Staaten wurde Bergbau durch negative Begleiterscheinungen und durch Erschöpfung metallischer Rohstoffvorkommen zunehmend unerwünscht, und so wurde aus Ländern importiert, in welchen aufgrund wirtschaftlicher Not, liberalerer Gesetzgebung, geringerer Besiedelung oder steuerlicher Vorteile der Rohstoffabbau attraktiver zu sein schien (BAUMANN 2005, 9). So kam es, dass sich die Produktion vieler Rohstoffe auf wenige Länder konzentrierte und Europa zunehmend importabhängig wurde, was sich durch extreme Preissteigerungen, für Tantal z.B. im Jahr 2000 oder für Seltene Erden im Jahr 2010 zeigte (LUIDOLD 2013, 18). Durch die rasche Entwicklung in vielen Bereichen der Hochtechnologieindustrie, wie beispielsweise in der Informations- und Kommunikationstechnik, in Energietechnik, Elektronik und Computertechnik, wird der Bedarf an bestimmten, selten vorkommenden metallischen Rohstoffen stark ansteigen. Außerdem benötigen viele der Produktionsländer, wie zum Beispiel China, aufgrund steigenden Wirtschaftswachstums größere Mengen der Rohstoffe zur Deckung ihres Eigenbedarfs. So besteht in der Europäischen Union für manche dieser Rohstoffe das Risiko von zukünftigen Versorgungsengpässen und Preissteigerungen. Zwar gelten die meisten Rohstoffe von ihrer geologischen Verfügbarkeit als nahezu unerschöpflich, da innerhalb der Erdoberfläche erst ein kleiner Anteil erforscht wurde und ein Großteil an Lagerstätten noch unentdeckt ist, allerdings benötigt die Exploration (= Erforschung von Rohstoffvorkommen) und die Entwicklung neuer Bergbauprojekte lange Zeiträume von 10 bis 25 Jahren. Dadurch kann nicht flexibel auf den raschen ansteigenden Bedarf an Hochtechnologiemetallen reagiert werden (LUIDOLD 2013, 18). Hinzu kommt, dass einige dieser Metalle nicht als Hauptmetalle abbauwürdig angereichert sind, sondern nur als Beiprodukte oder Koppelprodukte aus der Gewinnung anderer Metalle produziert werden können. So wird Gallium

hauptsächlich bei der Aluminiumgewinnung nach dem Bayer-Verfahren aus Bauxit gewonnen, Germanium und Indium aus sulfidischen Zink- und Bleierzen, und Platingruppenmetalle aus Chrom-, Nickel- und Kupfererzen (MELCHER 2014, 406).

Seit 2010 veröffentlicht eine Arbeitsgruppe der Europäischen Union (Ad-hoc-Working-Group) Berichte, in denen Rohstoffe bezüglich ihrer Verfügbarkeit als kritisch definiert werden. Ob die Versorgung mit einem Rohstoff als kritisch eingestuft wird, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung hängt neben Wirtschaftswachstum auch davon ab, in welchen Bereichen der jeweilige Rohstoff Anwendung findet. So werden alle zuvor genannten kritischen Metalle in Zukunftstechnologien eingesetzt und es ist anzunehmen, dass ihr Bedarf in nächster Zeit ansteigen wird.

- Versorgungsrisiko:

Die Bewertung hängt von folgenden Faktoren ab:

- Länderrisiko: Es gibt an, ob in den Ländern, aus denen der Rohstoff importiert wird, politische Stabilität gegeben ist.
- Länderkonzentration: Diese sagt aus, ob der Rohstoff aus wenigen oder vielen Ländern importiert wird.
- Substitution: Gibt an, ob im Falle von Versorgungsengpässen der Rohstoff kurzfristig durch Alternativen ersetzt werden könnte.
- Recyclingrate: Zeigt, ob effektive Technologien zur Verfügung stehen, um den Rohstoff wieder zu verwerten.

- Umweltpolitisches Risiko:

Bewertet das Risiko wodurch aufgrund der Einführung von Umweltschutzmaßnahmen im produzierenden Land die Produktion des Rohstoffes gedrosselt oder eingestellt werden könnte.

Somit werden die von der EU als kritisch bewerteten Rohstoffe aus wenigen Ländern (= hohe Länderkonzentration), welche politisch und/oder wirtschaftlich als instabil bewertet werden (= hohes Länderrisiko), importiert. Zudem beeinflussen die Möglichkeiten, den Rohstoff durch eine Alternative zu ersetzen (= Substitution), beziehungsweise den Rohstoff auf geeignete Weise wieder zu verwerten

(=Recycling) die Bewertung der Kritikalität. (vgl. EUROPEAN COMMISSION 2014, 20-23)

So kommt beispielsweise Magnesium sehr häufig auf der Erde vor und kann sowohl aus der Erdkruste als auch aus Meerwasser gewonnen werden. Die Ressourcen an diesem Rohstoff erscheinen unerschöpflich. Aber dennoch wird Magnesium von der EU aufgrund einer hohen Länderkonzentration als kritisch bezüglich der Versorgungslage eingestuft. Das hängt mit der Vormachtstellung Chinas zusammen, welche mit einem Anteil von 68% der Gesamtjahresproduktion den Weltmarkt deutlich dominieren. Sollte China durch steigenden Bedarf des Rohstoffs im eigenen Land die Importe nach Europa drosseln, könnte das zu Versorgungsengpässen führen.

Als Ressourcen bezeichnet man in diesem Zusammenhang Rohstoffvorkommen, welche zwar nachgewiesen sind, aber derzeit aus technischen oder geologischen Gründen (noch) nicht wirtschaftlich abbaubar sind. Hingegen spricht man von einer geologischen Reserve, wenn es um sicher nachgewiesene Vorkommen eines Rohstoffes geht, welche nach derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich abgebaut werden können. Beide Größen, also „geologische Reserve“ und „Ressource“ sind veränderlich. So ist es möglich, dass eine Ressource durch zunehmende Explorationstätigkeit und/oder steigende Rohstoffpreise zu einer Reserve wird, aber auch umgekehrt kann eine Reserve durch Preisverfall zur Ressource werden. Die Reservenbasis gibt die Gesamtheit aller Reserven an plus jene Ressourcen, welche in näherer Zukunft voraussichtlich zur Reserve werden können. (vgl. MELCHER & WILKEN 2013, 37)

Ein weiteres Beispiel ist Tantal, welches weder aufgrund seiner Reservensituation, noch aufgrund seiner Verfügbarkeit Anlass zur Sorge geben müsste. Das Problem ist hier, dass der Großteil der Importe aus Zentralafrikanischen Ländern, wie etwa aus dem Kongo stammen, die aufgrund jahrzehntelang anhaltender bewaffneter Konflikte politisch als sehr unsicher einzustufen sind (MELCHER & WILKEN 2013, 45) und deshalb ein erhöhtes Länderrisiko darstellen.

Derzeit gibt es 20 Rohstoffe, welche von der EU bezüglich Rohstoffversorgung als „kritische Rohstoffe“ eingestuft werden. Zu diesen zählen die Metalle Antimon, Beryllium, Chrom, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Magnesium, Niob,

Platingruppenelemente (PGE), leichte und schwere Seltenen Erden (SE), Tantal (bis 2014) und Wolfram (EUROPEAN COMMISSION 2010 und 2014).

Aufgrund des begrenzten Angebots dieser „kritischen Metalle“, sind gerade hier geeignete Recyclingverfahren sinnvoll, um diese Rohstoffe wieder in den Werkstoffkreislauf zurückführen zu können. Unter Recycling versteht man die Rückführung eines Abfallstoffes in den Produktionsprozess. Die dabei entstandenen Sekundärrohstoffe können nun demselben oder einem anderen Verwendungszweck dienen. Durch Recycling von Rohstoffen ergeben sich eine Reihe von Vorteilen gegenüber der Nutzung primärer Rohstoffe. So kann durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen der Einsatz primärer Rohstoffe verringert werden, was die Importabhängigkeit vermindert. Besonders bei den kritischen Hochtechnologiemetallen, deren Nachfrage stark durch die rasante Entwicklung von Zukunftstechnologien ansteigt, wäre das wünschenswert. Weitere Vorteile die sich durch Recycling ergeben sind eine Verringerung des Energiebedarfs, die Senkung von Treibhausemissionen und eine geringere Menge an zu deponierenden Reststoffen. Somit kann Recycling einen bedeutenden Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz liefern (HUY et al. 2016, 25–26). Vor allem bei den kritischen Hochtechnologiemetallen besteht ein großes Potential in der Nutzung von Sekundärrohstoffen, denn beim Recycling von Metallen kommt es zu keinerlei Qualitätsverlusten. Die Sekundärmetalle haben identische chemisch-physikalische Eigenschaften wie die Primärmetalle, und können beliebig oft wiederverwendet werden. Trotzdem sind die Recyclingraten relativ gering, was einerseits auf eine geringe Erfassung, häufig auch sehr geringe Konzentrationen in den Produkten („dissipative Verteilung“), und andererseits auf dubiose/illegale Exportgeschäfte zurückzuführen ist. Durch Recyclinganreize zur besseren Sammlung von Abfallstoffen, Aufklärungskampagnen oder Geschäftsmodelle wie z.B. Handypfand könnte die Situation verbessert werden. Zudem sollten natürlich illegale Exportgeschäfte unterbunden werden, was durch stärkere Kontrollen und das Schließen gesetzlicher Schlupflöcher gelingen könnte. (HAGELÜCKEN 2011)

In den folgenden Kapiteln werden nun die 13 kritischen Metalle vorgestellt: Unter dem Punkt 2.10 Seltene Erden (SE) werden leichte und schwere Seltenerdmetalle gemeinsam behandelt. Tantal, das in der EU seit 2014 nicht mehr als kritisch

eingestuft wird, ist zusammen mit Niob unter Punkt 2.11 zu finden.

In den folgenden Tabellen sind die wichtigsten Kennwerte der behandelten Metalle zusammengefasst. Die Platingruppenelemente (PGE) und die Seltenen Erden (SE) werden in separaten Tabellen angeführt.

Metalle	δ (g/cm ³)	Smp (°C)	Oxz.	Krusten- häufigkeit (ppm)
Antimon (Sb)	6,7	630	+5,+3,0,-3	0,2
Beryllium (Be)	1,85	1278	+2	2,1
Chrom (Cr)	7,4	1857	+6,+3,+2,0	200
Gallium (Ga)	5,9	29,8	+3	19
Germanium (Ge)	5,3	937	+4,+2	1,5 - 1,6
Indium (In)	7,3	157	+3	0,05
Kobalt (Co)	8,9	1493	+3,+2,0,-1	15 - 30
Magnesium (Mg)	1,7	649	+2	23 000
Niob (Nb)	8,6	2468	+5,+3	20
Tantal (Ta)	16,7	2996	+5	2,0
Wolfram (W)	19,3	3422	+6,+5,+4,+3,+2,0	1,0

Tabelle 45: Wichtige Kennwerte kritischer Metalle: Dichte δ in [g/cm³]; Schmelzpunkt (Smp.) in [°C]; Oxidationszahlen (Oxz.) - die wichtigsten fett gedruckt; durchschnittliche Häufigkeit in der Erdkruste in [ppm = g/t]. (Quelle: GUNN, 2014)

PGE- Metalle	δ (g/cm ³)	Smp (°C)	Oxz.	Krusten- häufigkeit (ppb)
Platin (Pt)	21,45	1772	+4,+2,0	5
Palladium (Pd)	12,0	1554	+4,+2,0	5
Rhodium (Rh)	12,4	1966	+5,+4,+3,+2,+1,0	1
Iridium (Ir)	22,65	2410	+6,+4,+3,+2,+1,0,-1	1

Ruthenium (Ru)	12,45	2310	+8,+6,+4, +3 ,+2,0,-2	1
Osmium (Os)	22,6	3045	+8,+6, +4 ,+3,+2,0,-2	1

Tabelle 46: Wichtige Kennwerte der Platingruppenmetalle (PGE): Dichte δ in [g/cm³]; Schmelzpunkt (Smp.) in [°C]; Oxidationszahlen (Oxz.) - die wichtigsten fett gedruckt; durchschnittliche Häufigkeit in der Erdkruste in [ppb = 0,001g/t]. (Quelle: GUNN, 2014)

SE- Metalle	δ (g/cm³)	Smp (°C)	Oxz.	Krusten- häufigkeit (ppm)
Lanthan (La)	6,2	920	+3	30
Cer (Ce)	6,7	798	+4,+3	64
Praseodym (Pr)	6,5	931	+4,+3	7,1
Neodym (Nd)	7,0	1010	+3	26
Promethium (Pm)	7,2	1080	+3	-
Samarium (Sm)	7,5	1072	+3,+2	4,5
Europium (Eu)	5,25	822	+3,+2	0,88
Gadolinium (Gd)	7,9	1311	+3	3,8
Terbium (Tb)	8,25	1360	+4,+3	0,64
Dysprosium (Dy)	8,6	1409	+3	3,5
Holmium (Ho)	8,8	1470	+3	0,8
Erbium (Er)	9,0	1522	+3	2,3
Thulium (Tm)	9,3	1545	+3,+2	0,33
Ytterbium (Yb)	7	824	+3,+2	2,2
Lutetium (Lu)	9,8	1656	+3	0,32
Scandium (Sc)	3	1539	+3	-
Yttrium (Y)	4,5	1523	+3	22

Tabelle 47: Wichtige Kennwerte der Selten Erdmetalle (SE): Die ersten sieben Elemente La – Eu entsprechen den leichten SE, die Elemente Gd - Lu entsprechen den schweren SE, SC und Y an letzter Stelle in der Tabelle.

Dichte δ in [g/cm³]; Schmelzpunkt (Smp.) in [°C]; Oxidationszahlen (Oxz.) - die wichtigsten fett gedruckt; durchschnittliche Häufigkeit in der Erdkruste in [ppm = 1g/t]. (Quelle: WALL, in GUNN, 2014)

3.2.1 Antimon (Sb)

Eigenschaften und Verwendung:

Antimon ist ein Halbmetall welches nicht den typischen Metallglanz aufweist. Es zeigt geringe thermische und elektrische Leitfähigkeit und beim Erstarren dehnt es sich aus, weist also wie Wasser eine Dichteanomalie auf (vgl. ANGERER 2009, 275). Antimon kommt vorwiegend in den Oxidationsstufen +5, +3, 0 und -3 vor und es befindet sich im Periodensystem der Elemente in der 5. Periode in Gruppe 15. Gemeinsam mit den anderen Halbmetallen Silizium, Germanium, Arsen und Tellur steht es an der Grenze zwischen Metall und Nichtmetall (vgl. SCHWARZ-SCHAMPERA, in GUNN 2014, 70).

Verwendet wird Antimon in Form von Antimontrioxid (Sb_2O_3) als Flammschutzmittel für Kunststoffe, Textilien und Farben, sowie als Katalysator in der PET- und Polyesterherstellung (SCHMIDT 2013, 11). Außerdem dient es als Legierungsmetall der Bleihärtung und wird in Blei-Säure Batterien (Autobatterien) eingesetzt (SCHWARZ-SCHAMPERA, in GUNN 2014, 83). Auch in der Glasindustrie wird Antimon zum Einfärben benutzt (SCHMIDT 2013, 11).

In Zukunft könnte Antimon als Antimon-Zinn-Oxid in der Displaytechnologie Anwendung finden. Da dieses transparente Material gute elektrische Leitfähigkeit besitzt, eignet es sich als Stromleiter in LCD-, Plasmabildschirmen und in Solarzellen. Zudem könnten Antimon-Verbindungshalbleiter in Hochgeschwindigkeitstransistoren und Infrarot-Diodenlaser eingesetzt werden. (SCHMIDT 2013, 11)

Vorkommen & Produktion:

Antimon ist ein seltenes Element der Erdkruste wobei die durchschnittliche Häufigkeit bei 0,2 ppm liegt (vgl. SCHWARZ-SCHAMPERA, in GUNN 2014, 71). Antimonführende Erzminerale sind Antimonit Sb_2S_3 (auch Antimonglanz oder Stibnit) und Tetraedit $\text{Cu}(\text{Ag},\text{Fe},\text{Zn})_3\text{Sb}(\text{As},\text{Bi})\text{S}_{3,25}$ (auch Antimonfahlerz), wobei nur ersteres für die Antimonproduktion bedeutsam ist (POHL 2005, 201). Die wichtigsten Lagerstätten für Antimonerze sind hydrothermale Gänge wie epithermale oder orogene Quarzgänge, wo Antimon zusammen mit Gold vorkommt, SEDEX Lagerstätten (Woxi und Xikuanshan in China), metasomatische Verdrängung in Karbonaten und als Nebenprodukt in Sulfidlagerstätten (vgl. NEUKIRCHEN & RIES

2014, 72).

Die weltweiten Reserven 2016 werden auf 1,5 Millionen Tonnen geschätzt (USGS 2017, 25). Die jährliche Gesamtproduktion aus dem Jahr 2015 betrug 163 256 Tonnen. Die 5 weltführenden Antimonproduzenten im Jahr 2015 waren China mit einer Produktionsmenge von 111 400 Tonnen, gefolgt von Tadschikistan mit 26 960 Tonnen, Russland (Asien) mit 7 420 Tonnen, Bolivien mit 3 843 Tonnen und Australien mit 3 712 Tonnen. (REICHL et al. 2017, 142)

Österreich verfügt, wie auch die restlichen EU Staaten, derzeit über keine bergmännische Gewinnung von Antimon (vgl. JANISCH 2013, 18). Allerdings war das nicht immer so. Bis zur Schließung der ausgeerzten Antimon Lagerstätte in Schlaining (Burgenland) im Jahr 1990, war Österreich ein bedeutender Antimon Produzent. Außerdem gibt es Antimonvorkommen im ostalpinen Kristallin der Kreuzeckgruppe bei Rabant (Kärnten) (MELCHER 2014, 408).

Recycling:

Die Recyclingraten für Antimon sind relativ niedrig, wobei das Metall ausschließlich aus antimonhaltigen Bleilegierungen und aus Autobatterien rückgewonnen werden kann. Aufgrund der geringen Antimonanteile und der dissipativen Verteilung in Kunststoffprodukten, findet in diesem Anwendungsbereich kein Recycling statt. (SCHMIDT 2013, 18-19)

3.2.2 Beryllium (Be)

Eigenschaften und Verwendung:

Beryllium ist ein relativ weiches, silberweißes, glänzendes Metall, welches von Luft und Wasser nicht angegriffen wird (vgl. JANISCH 2013, 19). Es befindet sich im Periodensystem der Elemente an Stelle 4. Es ist ein Leichtmetall mit einer Dichte von $1,85\text{g/cm}^3$ und ist sehr hart und spröde. Beryllium kommt mit der Oxidationsstufe +2 vor und bildet Legierungen mit anderen Metallen. Solche Be-Cu-Legierungen weisen hervorragende elektrische und thermische Leitfähigkeit auf (vgl. TRUEMAN & SABEY, in GUNN 2014, 99-100).

Beryllium wird vorwiegend zusammen mit anderen Metallen wie Kupfer verwendet, wobei solche Legierungen kleine Berylliumanteile enthalten und in der

Flugzeugtechnik, in der Militärtechnik zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung, in Aufprallsensoren von Airbags und in der Medizintechnik eingesetzt werden. Reines Berylliummetall wird in der Raumfahrttechnik benötigt und Berylliumoxid (BeO) wird in der Elektronik als Isolatoren angewandt (TRUEMAN & SABEY, in GUNN 2014, 100-103). Eingeschränkt wird die Verwendung von Beryllium durch seine hohe Toxizität, wobei fertige Produkte aus Legierungen keine Gesundheitsgefahr darstellen, allerdings verursacht es eingeatmet als Staub oder Rauch zahlreiche Erkrankungen.

Vorkommen & Produktion:

Die wichtigsten Erzminerale sind Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ und Bertrandit $\text{Be}_4(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7$, wobei die Bauwürdigkeitsgrenze der Erze zwischen 0,2% und 0,5% liegt (POHL 2005, 220). Die durchschnittliche Häufigkeit an Beryllium in der Erdkruste beträgt 2,1ppm, wobei es in felsischen magmatischen Gesteinen höhere Häufigkeiten zeigt (TRUEMAN & SABEY, in GUNN 2014, 100). Beryllium reichert sich, ähnlich wie Lithium, in extrem fraktionierten Restschmelzen saurer Magmen an. Dadurch sind Erzminerale oft in Pegmatiten (vorwiegend in LCT Pegmatiten) vorhanden. (POHL 2005, 220) Außerdem findet man Beryllium in hydrothermal-metasomatischen Lagerstätten (*Spor Mountain*, Utah/USA) (TRUEMAN & SABEY, in GUNN 2014, 107).

Angaben über weltweite Reserven von Beryllium sind nicht verfügbar. Die jährliche Gesamtproduktion aus dem Jahr 2015 betrug 230 Tonnen, wobei die USA mit einer Produktionsmenge von 205 Tonnen den weltführenden Produzenten darstellt, gefolgt von China mit 20 Tonnen und Madagaskar mit 5 Tonnen (USGS 2017,35).

Österreich verfügt, wie auch die restlichen EU-Staaten, über keine bergmännische Gewinnung von Beryllium (vgl. JANISCH 2013, 18). In den letzten Jahren wurden in Pegmatiten im ostalpinen Kristallin Beryllium-, Zinn- und Tantal-Niob-Minerale identifiziert, welche in Zukunft möglicherweise als Nebenprodukte bei der Lithiumgewinnung gewonnen werden könnten (MELCHER 2014, 408).

Recycling:

Die Recyclingrate von Beryllium ist niedrig, da die Rückgewinnung aus Legierungen wegen der geringen Berylliumanteile unökonomisch ist. Zudem haben Produkte aus reinem Berylliummetall sehr lange Lebenszyklen oder eignen sich gar nicht für die

Wiederverwertung. Reine Be-Produkte benötigt man in der Raumfahrttechnologie und für militärische Zwecke (TRUEMAN & SABEY, in GUNN 2014, 115).

3.2.3 Chrom (Cr)

Eigenschaften und Verwendung:

Chrom ist ein stahlgraues Übergangsmetall und befindet sich in der sechsten Nebengruppe im Periodensystem. Das Metall ist hart und spröde, besitzt einen hohen Schmelzpunkt (1857°C) und zeigt Korrosionsbeständigkeit. (BUCHHOLZ & FOYA 2015, 40)

Das größte Anwendungsgebiet von Chrom liegt in der Produktion von rostfreiem Stahl und Stahllegierungen. Hierfür werden vorwiegend chromreiche Erze benötigt, aus denen das industrielle Zwischenprodukt Ferrochrom hergestellt wird. Erze mittleren Chromgehalts werden in der chemischen Industrie und auch zur Verchromung von Gebrauchsgegenständen verwendet. Reines Chrommetall wird für Luft- und Raumfahrzeuge benötigt. Bestimmte Chromsalze kommen beim Gerben von Leder und in Holzschutzmitteln zur Anwendung. Chromarme Erze sind wichtig für die Herstellung von Chromit-Magnesit-Steinen, welche in Hochtemperatur- und Feuerfestanwendungen zum Einsatz kommen. (vgl. POHL 2005, 133).

Vorkommen und Produktion:

Chrom ist in der Erdkruste das zweiundzwanzigste häufigste Element und es kommt als Oxidmineral vor. Im Erzmineral Chromit ($[\text{Mg,Fe}] [\text{Cr,Al,Fe}]_2\text{O}_4$) befinden sich noch weitere Elemente wie Titan, Vanadium, Mangan, Nickel, Kobalt und Zink (BUCHHOLZ & FOYA 2015, 40). Je nach Cr_2O_3 -Gehalt unterscheidet man Cr-reiche Chromite ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 45\%$) und Cr-arme Chromite ($\text{Cr}_2\text{O}_3 < 38\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 > 20\%$) (POHL 2005, 132).

Chromlagerstätten sind ausschließlich an ultramafische und mafische Magmen gebunden. In Gabbros und Basalt liegt die durchschnittliche Häufigkeit von Chrom bei 200ppm, wobei diese in Graniten nur 5ppm beträgt. (POHL 2005, 133)

Die bedeutendsten Chromitlagerstätten stellen geschichtete, basische Intrusionen dar, die sogenannten stratiformen Chromiterze. Diese findet man im südafrikanischen *Bushveld Komplex*, welcher die weltweit größten Chromitreserven

darstellt. Weitere Lagerstätten diesen Typs findet man im *Great Dyke* in Simbabwe und im *Stillwater-Komplex* in Montana. (POHL 2005, 135) In Ophiolithen findet man linsenförmige Erzkörper, die podiformen Chromiterze, welche sich in ihrer chemischen Zusammensetzung deutlich vom stratiformen Typ unterscheiden. Bekannte podiforme Chromitlagerstätten befinden sich auf der Balkanhalbinsel, wobei diese großteils schon erschöpft sind. Weitere podiforme Lagerstätten findet man in der Türkei, in Zypern und in den paläozoischen Ophiolithen des südlichen und mittleren Urals (*Kempirsai-Ophiolith* in Kasachstan). (POHL 2005, 134)

Die Chromit-Gesamtjahresproduktion von 2015 betrug 13 503 250 Tonnen. Südafrika ist mit 6 888 490 Tonnen, welche 51% der Gesamtproduktion ausmachen, der weltweit größte Produzent. Dahinter liegen Kasachstan mit knapp 15%, die Türkei mit 11% und Indien mit 10%. In Europa wird Chromit in Finnland (3,4%), Russland (1,6%) und Albanien (1,4%) produziert. (REICHL et al. 2017, 136) Österreich verfügt über keine bauwürdigen Chromlagerstätten. Historische Bedeutung hat die Chromitproduktion in *Kraubath* in der Steiermark, wo im 19. Jahrhundert für die Farbindustrie Chrom gewonnen wurde.

Recycling:

Recyclingraten aus Europa sind nicht verfügbar. In den USA werden etwa 30% des Chroms aus korrosionsfreiem Stahl und verchromten Gebrauchsgegenständen durch Recycling wieder gewonnen (ANGERER et al. 2016, 32).

3.2.4 Kobalt (Co)

Eigenschaften und Verwendung:

Kobalt ist ein silberfarbenes Metall, welches im Periodensystem in der 4. Periode zwischen Eisen (Fe) und Nickel (Ni) zu finden ist. Es kommt vorwiegend in den Oxidationsstufen +2 und +3 vor und hat einen hohen Schmelzpunkt von 1493°C (vgl. ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 122). Kobalt ist ein sehr hartes Metall und es behält seine Härte auch bei steigender Temperatur. Es ist ferromagnetisch, zeigt relativ niedrige elektrische und thermische Leitfähigkeit und es bildet mit vielen anderen Metallen Legierungen. (vgl. JANISCH 2013, 20,21)

So wird Kobalt für Superlegierungen und magnetische Legierungen zusammen mit

Nickel, Eisen oder Chrom verwendet. Der größte Anwendungsbereich für Kobalt sind allerdings Batterien, wie Lithium-Ionen-Batterien, Nickel-Metall-Hybridbatterien in elektrischen Hybridfahrzeugen und Nickel-Cadmium-Batterien, welche Kobaltoxid oder Kobalhydroxid beinhalten (ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 140). Aufgrund des steigenden Anteils an Elektromobilität ist zu erwarten, dass der Kobaltbedarf für Batterien in Zukunft stark ansteigen wird (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016, 259). Weiters findet Kobalt Anwendung als Färbemittel in der Glas- und Keramikindustrie, als Bestandteil medizinischer Implantate und in elektronischen Steckverbindungen (ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 142).

Vorkommen & Produktion:

Kobalt kommt in der Natur nicht elementar vor und man findet es meist zusammen mit Nickel, Eisen oder Kupfer vorwiegend in Sulfiden oder Arseniden, seltener in Oxiden. Wichtige Kobalterze sind Cobaltit CoAsS (auch Kobaltglanz genannt), Smaltit CoAs_3 (oder Speiskobalt), Heterogenit CoOOH , Carrolit CuCo_2S_4 , Linneit CoCo_2S_4 und Siegenit $(\text{Ni,Co})_3\text{S}_4$ (welche auch als Kobaltnickelkiese bezeichnet werden). (vgl. POHL 2005, 141 & ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 123) Die durchschnittliche Häufigkeit in der Erdkruste liegt zwischen 15 und 30ppm, wobei ultramafische Gesteine bis zu 110ppm Kobalt beinhalten können (ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 122). Kobalt wird meist als Nebenprodukt bei der Kupfer- oder Nickelproduktion gewonnen. Man findet es in magmatischen Lagerstätten (liquidmagmatische Sulfide in *Sudbury*/ Kanada oder im *Kambalda Dome* in Australien)(ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 129), in hydrothermalen Lagerstätten, wobei der *zentralafrikanische Kupfergürtel* die größte Bedeutung für die Welt- Kobaltproduktion hat (POHL 2005, 142). Auch lateritische Nickel-Kobalt Lagerstätten (wie beispielsweise in Neu Kaledonien) sind sehr bedeutend (POHL 2005, 142) und möglicherweise werden in Zukunft die kobaltreichen Mangankrusten oder Knollen als Lagerstätten genutzt (ROBERTS & GUNN, in GUNN 2014, 132).

Die weltweiten Kobaltreserven werden auf 7 Millionen Tonnen geschätzt (USGS 2017, 53). Im Jahr 2015 betrug die weltweite Gesamtproduktion 140 713 Tonnen, wobei D.R. Kongo mit 84 400 Tonnen den größten Anteil ausmachte, China folgte mit 8 500 Tonnen, Kanada mit 6 904 Tonnen, Australien mit 6 030 Tonnen und Neu Kaledonien mit 4 500 Tonnen (REICHL et al. 2017, 136-137).

In früheren Jahrhunderten wurden geringe Mengen an Kobalt in Österreich aus heute stillgelegten Sulfidlagerstätten abgebaut. Manche Gebiete könnten zukünftig für die Gewinnung einiger kritischer Metalle, darunter auch Kobalt, als Nebenprodukte von Interesse sein. Zu diesen Gebieten zählen Blei-Zink-Lagerstätten vom SEDEX Typ, welche im Grazer Paläozoikum (Silberberg und Rabenstein) sowie in der Gurktaler Decke (Vellach) zu finden sind, Kupfer-Zink-Lagerstätten vom VMS Typ, welche in den penninischen und ostalpinen Decken vorkommen und Gangerzlagerstätten, wie beispielsweise Zinkwand in den Schladminger Tauern. (vgl. MELCHER 2014, 409-410) IRIS verzeichnet 10 Vorkommen, in den Kobalt ein Hauptelement ist, sowie zahlreiche, in denen es als Nebenelement aufscheint. Das wohl bedeutendste Vorkommen findet sich bei Leogang in Salzburg.

Recycling:

Die Rückgewinnung von Kobalt aus Metallschrott, verbrauchten Katalysatoren und wiederverwendbaren Batterien wird für die EU zunehmend bedeutender und lag im Jahr 2016 bei geschätzten 30 % des Kobaltverbrauchs (USGS 2017, 52).

3.2.5 Gallium

Eigenschaften und Verwendung:

Gallium steht im Periodensystem in der dritten Hauptgruppe, der sogenannten Borgruppe und es befindet sich direkt unter Aluminium. Im festen Zustand ist Gallium ein weißes, leicht blaugrau glänzendes Metall. Gallium von großer Reinheit hat eine silbrig-weiße Farbe. Bei Raumtemperatur ist es ein Feststoff, schmilzt aber schon bei 29,8°C und hat einen sehr hohen Siedepunkt bei 2403°C. (vgl. MARSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 252) Gallium findet Anwendung auf vielfältige Weise, beispielweise als Halbleiter, in der Solartechnologie, in Laserdioden und LEDs, in elektronischen Hochgeschwindigkeitsschaltungen, in Hochleistungsmikrochips und auch in militärischen Anwendungen (vgl. BUTCHER & BROWN, in GUNN 2014, 157-162). Hinsichtlich Zukunftstechnologien wird sein Bedarf aufgrund der Anwendung in LEDs, in Mikrochips sowie in der Solartechnologie bedeutend ansteigen (vgl. MARSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 253).

Vorkommen & Produktion:

Die durchschnittliche Häufigkeit von Gallium in der Erdkruste liegt bei 19 ppm und es wird vorwiegend als Nebenprodukt bei der Aluminiumproduktion und bei der Zinkproduktion gewonnen (POHL 2005, 206). Sehr selten bildet es eigene Galliumminerale, wie beispielsweise Gallit CuGaS_2 und Söhngait $\text{Ga}(\text{OH})_3$, welche hauptsächlich in Tsumeb/Namibia zu finden sind (BUTCHER & BROWN, in GUNN 2014, 151). Zum größten Teil wird Gallium als Nebenprodukt aus Bauxit gewonnen, aber auch aus Sphalerit (Mississippi Valley Provinz/ USA) (POHL 2005, 206). Möglicherweise könnte Gallium in Zukunft auch aus Flugasche von Kohlekraftwerken extrahiert werden (BUTCHER & BROWN, in GUNN 2014, 152).

Angaben über weltweite Reserven sind nicht verfügbar, da die wenigen Galliumhersteller ihre Daten vertraulich behandeln (MARKSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 252). Die Gesamtproduktion im Jahr 2015 betrug 146 Tonnen, wobei China mit 121 produzierten Tonnen den größten Anteil herstellte, gefolgt von der Ukraine mit 13 Tonnen, Japan mit 8 Tonnen und Russland (Europa) mit 4 Tonnen (REICHL et al. 2017, 145).

In Österreich gibt es kaum Potential zur Gewinnung von Gallium aus primären Quellen. In den Jahren 1951 bis 1964 wurde in *Unterlaussa* an der Basis der kalkalpinen Gosau zwar Bauxit abgebaut, jedoch eignen sich die Vorkommen aufgrund der Dimension und Lage nicht für eine zukünftige Aluminiumgewinnung mit Galliumextraktion (MELCHER 2014, 408). Möglicherweise könnten in Zukunft karbonatgebundene Blei-Zink-Lagerstätten in den Ost- und Südalpen, sowie jene untersuchten Gebiete, welche bereits bei Kobalt erwähnt wurden, von Interesse sein. Voraussetzung dafür wäre allerdings die Wiederaufnahme stillgelegter Blei-Zink-Bergwerke. (vgl. MELCHER 2014, 409-410)

Recycling:

Derzeit gibt es zur Wiedergewinnung von Gallium aus Metallschrott noch keine geeigneten Verfahren.

3.2.6 Germanium

Eigenschaften und Verwendung:

Germanium befindet sich im Periodensystem in der vierten Hauptgruppe, der sogenannten Kohlenstoffgruppe, unter Silizium und es kommt in den Oxidationsstufen +2 und +4 vor. Das Halbmetall zeigt grauweiße, metallisch glänzende Farbe und besitzt Halbleitereigenschaften. Es wird für zahlreiche technische Anwendungen benötigt. (MELCHER & BUCHHOLZ, in GUNN 2014, 177) Das Halbmetall ist für Licht im Infrarotbereich durchlässig, weshalb es in Form von Germaniumoxid in Nachtsichtgeräten und Wärmebildkameras Verwendung findet. Außerdem wird es in der Elektronik und für Solaranwendungen benötigt. Am bedeutendsten für den zukünftigen Anstieg am Germaniumbedarf ist wohl der Einsatz in Glasfaserkabeln. (MARSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 254-255)

Vorkommen & Produktion:

Germanium ist mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 1,5 ppm (ozeanische Kruste) bzw. 1,6 ppm (kontinentale Kruste) ein sehr seltenes Element in der Erdkruste. Es kommt in der Natur nicht elementar vor und bildet seltene, meist sulfidische Minerale wie Argyrodit Ag_8GeS_6 , Canfieldit $\text{Ag}_8(\text{Sn,Ge})(\text{S,Te})_6$, Briartit $\text{Cu}_2(\text{Fe,Zn})\text{GeS}_4$, Reniérit $(\text{Cu,Zn})_{11}\text{Fe}_2(\text{Ge,As})_2\text{S}_{16}$ und Germanit $\text{Cu}_{13}\text{Fe}_2\text{Ge}_2\text{S}_{16}$ (MELCHER & BUCHHOLZ, in GUNN 2014, 177-178). Wie auch Gallium ist es häufig als Spurenelement in anderen Erzen zu finden, vorwiegend in Buntmetallsulfiderzen und Zinkerzen. Es wird aber auch aus Braunkohlelagerstätten (in China, Russland und Usbekistan) gewonnen (MELCHER & BUCHHOLZ, in GUNN 2014, 193-194). Ebenso wie für Gallium gibt es auch für Germanium keine Angaben über weltweite Reserven. Die Gesamtjahresproduktion vom Jahr 2015 betrug 80 Tonnen, wobei China 55 Tonnen herstellte, gefolgt von Finnland mit 13 Tonnen, Russland (Asien) mit 6 Tonnen, USA mit 3 Tonnen und Japan mit 2 Tonnen (REICHL et al. 2017, 146). Aus Anodenschlämmen der Blei- und Zinkbergwerke im kärntnerischen *Bleiberg/Kreuth* wurden in der Vergangenheit große Mengen an Germanium (172 Tonnen) gewonnen. So zählte Österreich bis zur Schließung des Bergwerks 1993 zu den wichtigsten Germaniumproduzenten. Eine zukünftige Germaniumproduktion aus primären Quellen setzt die Wiederaufnahme des Blei- Zinkbergbaus voraus, wobei die Lagerstätten *Bleiberg/Kreuth*, *Hochobir* und *Jauken* so hohe Germaniumgehalte

aufweisen, dass sie als untersuchungswürdig eingestuft werden. (vgl. LUIDOLD 2013, 33 – 34)

Recycling:

Etwa 30 % des weltweit verwendeten Germaniums stammt aus recyceltem Material. Die hergestellten optischen Anwendungen werden sogar bis zu 60% wieder verwendet (USGS 2017, 70).

3.2.7 Indium

Eigenschaften und Verwendung:

Indium befindet sich im Periodensystem unterhalb von Gallium in der Borgruppe. Es ist ein weiches, silber- weiß glänzendes Metall, das hohe Formbarkeit und Duktilität, auch bei sehr niedrigen Temperaturen, aufweist. Es findet in Kryo- und Vakuumtechnik als Dichtematerial Anwendung. Außerdem wird es für Spiegel verwendet, denn Indium benetzt Glas, wobei es ähnliche Reflexionseigenschaften wie Silber zeigt, aber wesentlich korrosionsbeständiger ist. (SCHWARZ-SCHAMPERA, in GUNN 2014, 204) Eingesetzt wird es vor allem als dünnschichtiges Indium-Zinn-Oxid (ITO), welches in der Unterhaltungselektronik für LCD-Bildschirme benötigt wird. Vermehrte Displaytechnik wird den Bedarf an Indium in Zukunft stark ansteigen lassen. (MARSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 257)

Vorkommen & Produktion:

Indium ist, mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 0,05 ppm in der Erdkruste, ein sehr seltenes Metall. Die Indium-Minerale Roquesit CuInS_2 und Indit FeIn_2S_4 sind sehr selten. Wie Germanium tritt auch Indium vorwiegend als sulfidisch gebundenes Spurenelement in anderen Metallerzlagerstätten auf. (POHL 2005, 206) Gewonnen wird es aus Resten (sogenannten Anodenschlämmen), welche durch die Aufbereitung bei der Zinkgewinnung, selten auch bei der Zinn- und Kupfergewinnung, entstehen (MARSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 156). Angaben über weltweite Reserven gibt es nicht. Die Gesamtproduktion des Jahres 2015 belief sich auf 759 Tonnen, wobei China den größten Anteil mit 350 Tonnen herstellte, gefolgt von der Republik Korea mit 195 Tonnen, Japan und Kanada mit jeweils 70 Tonnen, sowie Frankreich mit 41 und Belgien mit 20 Tonnen (USGS 2017,

81).

Wie auch bei Kobalt, Gallium und Germanium wäre eine primäre Indiumproduktion in Österreich nur durch die Wiederaufnahme der stillgelegten Blei-Zink-Vorkommen möglich. Von wirtschaftlichen Interesse könnten die Blei-Zink-Lagerstätten vom SEDEX Typ, die Kupfer-Zink-Lagerstätten vom VMS Typ und Gangerzlagerstätten sein (vgl. MELCHER 2014, 409-410). Bisher wurde in Österreich noch kein Indium produziert. Die besten Aussichten bestehen für Sulfidlagerstätten im Bereich Walchen/Öblarn, Steiermark.

Recycling:

Recyclingraten für Indium sind niedrig. Die Rückgewinnung aus Elektroschrott gestaltet sich als schwierig, da das Metall meist nur in sehr geringen Mengen enthalten ist, wodurch ein Recycling oft unwirtschaftlich wird. Durch die Verbesserung von Recyclingverfahren wird allerdings die Rückgewinnung von Indium in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen. (SCHWARZ-SCHAMPERA, in GUNN 2014, 224)

3.2.8 Magnesium

Eigenschaften und Verwendung:

Magnesium ist ein Erdalkalimetall und befindet sich im Periodensystem in der zweiten Hauptgruppe. Es ist silber glänzend und gehört zu den Leichtmetallen, wobei es mit einer Dichte von $1,7\text{g/cm}^3$ leichter als Aluminium ist. Häufig findet Magnesium Anwendung in Legierungen, zusammen mit Aluminium, die als Verpackungsmaterial in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Auch in zahlreichen Alltagsgegenständen ist Magnesium zu finden, wie zum Beispiel in Gehäusen von Digitalkameras oder Notebooks. Zukünftig werden Magnesiumlegierungen häufiger in der Automobilindustrie und in der Luftfahrt Verwendung finden, da aufgrund des geringen Gewichts eine Verringerung des Energieverbrauchs möglich ist. (DERA - Rohstoffrisikobewertung Magnesium) Außerdem ist Magnesium als Reduktionsmittel wichtig bei der Herstellung spezieller Metalle, wie Beryllium, Zirkonium oder Uran, welche Anwendung in der Weltraumtechnik oder im militärischen Bereich finden (NEELAMEGGHAM & BROWN, in GUNN 2014, 261).

Vorkommen & Produktion:

Magnesium ist das achthäufigste Element der oberen Erdkruste und es kann aus Karbonaten wie Dolomit ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$) und Magnesit MgCO_3 gewonnen werden, oder auch aus Silikaten, wie Olivin $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ und Serpentin $3\text{MgO} \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (NEELAMEGGHAM & BROWN, in GUNN 2014, 262). Zur Magnesiumherstellung werden die Erze mittels Ferrosilikon oder Aluminium zu Magnesiumchlorid reduziert und anschließend durch Schmelzflußelektrolyse in Magnesiumschmelze und Chlorgas getrennt. Dieses Verfahren ist sehr energieaufwendig. (POHL 2005, 197-198) In China, dem größten Magnesiumproduzenten wird das Metall auf diese Weise aus Dolomit gewonnen (vgl. DERA - Rohstoffrisikobewertung Magnesium).

Auch aus Meerwasser oder Salzseen kann Magnesium gewonnen werden, wie es beispielsweise in den USA gemacht wird (DERA - Rohstoffrisikobewertung Magnesium).

Die Gesamtproduktion im Jahr 2015 betrug 27 700 Tonnen und wurde von China mit 19 000 Tonnen deutlich angeführt. Weitere bedeutende Magnesiumproduzenten waren die Türkei mit 2 800 Tonnen und Russland mit 1 300 Tonnen. (USGS 2017, 103)

In Österreich werden bedeutende Mengen an Magnesit abgebaut, welche vorwiegend in der Feuerfestindustrie verwendet werden. Magnesit stellt einen Rohstoff dar, der für die Magnesiumproduktion geeignet ist und somit wäre Magnesiumproduktion in Österreich prinzipiell möglich. Die bedeutendsten produzierenden Magnesitvorkommen in Österreich sind in der Steiermark in *Breitenau*, *Oberdorf an der Laming*, *Wald am Schoberpaß* und *Trieben*, sowie in Kärnten an der *Millstätter Alpe* und in Tirol in *Hochfilzen* (vgl. JANISCH 2013, 46). Dort wird der Magnesit jedoch ausschließlich als Industriemineral zur Fertigung von Hochfeuerfestprodukten verwendet. In Breitenau werden zusätzlich Magnesiumprodukte wie Brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ aus Serpentin auf chemischem Weg hergestellt.

Recycling:

Recycling deckt ca. 15%-20% des Magnesiumbedarfs. (DERA – Rohstoffrisikobewertung Magnesium). Rückgewonnen wird das Metall größtenteils aus Aluminium-Magnesiumlegierungen, sowie aus Gießereiprodukten (USGS 2017, 104).

3.2.9 Platingruppenelemente (PGE)

Eigenschaften und Verwendung:

Zu den Platingruppenelementen (PGE) zählt man die sechs Elemente Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh), Palladium (Pd), Osmium (Os), Iridium (Ir) und Platin (Pt). Sie gehören zu den Übergangsmetallen und stehen im Periodensystem in der achten, neunten und zehnten Gruppe und man bezeichnet sie, zusammen mit Silber und Gold, als Edelmetalle. PGEs zeigen typische Eigenschaften der Metalle, wie gute Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit, Verformbarkeit und Duktilität, sowie die Fähigkeit Legierungen mit anderen Metallen zu bilden. Platin, Iridium und Osmium zeigen die höchste Dichte unter den Metallen, deutlich höher als jene von Gold. Platin und Palladium zeigen hohe Hitze- und Korrosionsbeständigkeit und sind aufgrund ihrer hohen Duktilität gut zu bearbeiten, was für die harten und spröden Metalle Ruthenium und Osmium nicht zutrifft. Alle PGEs können als Legierungen in Katalysatoren verwendet werden, weshalb man sie in der Industrie auf vielfältige Weise einsetzt. Am bedeutendsten sind dabei Platin und Palladium, welche als Katalysatoren in der Chemischen Industrie und in der Autoindustrie eingesetzt werden. (GUNN 2014, 298) Daneben werden die beiden Metalle auch als Schmuck verwendet, so besteht als Weißgold bezeichneter Schmuck aus Gold-Palladium-Legierungen (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016, 265). Auch Rhodium wird in Autokatalysatoren verwendet, allerdings in kleineren Mengen als Platin und Palladium (GUNN 2014, 284). Ruthenium wird ebenfalls in Katalysatoren, aber auch für die Herstellung von Festplatten verwendet. Iridium benötigt man neben Anwendungen in der Elektronik und der chemischen Industrie für Zündkerzen. Osmium wird in kleinen Mengen als Legierung mit Platin und Iridium in Kugelschreiberspitzen, elektrischen Kontakten, in Glühfäden und in medizinischen Implantaten eingesetzt. (GUNN 2014, 300)

Der Bedarf an PGEs wird in nächster Zeit stark ansteigen, da diese Metalle für verschiedene Zukunftstechnologien sehr bedeutend sind. So wird Palladium für mikroelektrische Kondensatoren, aber auch für Meerwasserentsalzungsverfahren benötigt (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016, 266).

Platin wird in Brennstoffzellen verwendet, welche zukünftig vermehrt in der Fahrzeugtechnik entwickelt werden könnten (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al.

2016, 268) und Ruthenium und Iridium gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie für neue Technologien wie für Datenspeicher, medizinische Implantate und erneuerbare Energien benötigt werden (GUNN 2014, 284 - 285).

Vorkommen & Produktion:

PGEs sind sehr seltene Elemente, wobei Platin und Palladium in der Erdkruste mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 5ppb (=parts per billion), Rhodium, Iridium und Ruthenium gar nur mit einer Häufigkeit von 1ppb vorkommen (GUNN 2014, 285). Wichtige Erzminerale, welche PGEs beinhalten sind Cooperit (Pt,Pd)S, Braggit (Pt,Pd,Ni)S und Sperrylith (PtAs₂), zudem findet man natürliche Legierungen der Metalle mit Eisen wie Isoferroplatin Pt₃Fe (LUIDOLD , 44).

Man findet PGEs vorwiegend in mafischen und ultramafischen Gesteinen, wo sie sulfidisch zusammen mit Nickel, Kupfer und Eisen auftreten. Man unterscheidet magmatische PGM (=Platin-Gruppen-Metall) -dominierte Lagerstätten, zu denen der *Bushveld Komplex* in Südafrika zählt, und magmatische Nickel-Kupfer-dominierte Lagerstätten, wie *Sudbury* in Kanada oder *Norilsk-Talnakh* in Russland, wo PGEs als Beiprodukte der Nickelproduktion gewonnen werden (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016, 265). Der *Bushveld Komplex* in Südafrika ist eine orthomagmatische lagige mafische Intrusion, die die weltweit größten Vorkommen an Platingruppenmetallen und Chromerzen in sogenannten „Reefs“ (geringmächtigen, aber weit aushaltenden Horizonten mit Anreicherung von Wertmineralen) beinhaltet (LUIDOLD 2013, 45). Auch die Vorkommen in den USA (*Stillwater Komplex*) und in Zimbabwe (*Great Dyke*) sind an lagige mafische Intrusionen gebunden (LUIDOLD 2013, 272). Die Kupfer-Nickel-PGE Vererzungen in Russland in *Norilsk-Talnakh* sind wirtschaftlich sehr bedeutende Lagerstätten und im Zusammenhang mit kontinentalen Flutbasalten entstanden. Weitere PGE Vorkommen findet man in ringförmigen Ultramafitkomplexen und ultramafischen Anteilen von Ophiolithen, sowie in fluviatilen Seifenlagerstätten, welche aber heute keine große wirtschaftliche Bedeutung mehr haben. (LUIDOLD 2013, 273)

Der größte PGE Produzent ist Südafrika, wo im Jahr 2015 40% des Palladiums, 75% des Platins und 81% des Rhodiums hergestellt wurden. An zweiter Stelle folgte Russland (Asien), was 28% des Palladiums, knapp 9% des Platins und 10% des Rhodiums produzierte. Danach folgen Kanada bzw. Simbabwe, Russland (Europa)

und die USA. Die Gesamtjahresproduktion 2015 belief sich bei Platin auf 189 824 kg, bei Palladium auf 204 913 kg und bei Rhodium auf 23 243 kg (REICHL et al. 2017, 152-153).

In Europa werden geringe Mengen an PGE in Finnland, Polen und Serbien produziert; in Österreich gab es keine Produktion an Platingruppenmetallen. PGE-Mineralen treten jedoch in geringen Mengen in ultramafischen Anteilen von Ophiolithen (*Speik Komplex*), z.B. in Chromititen von *Kraubath*, und in *penninischen Einheiten des Tauernfensters*, z.B. bei *Mittersill*, auf (LUIDOLD 2013, 45). Aus geologischen Gründen sind dort keine bauwürdigen Lagerstätten zu erwarten (MELCHER 2014, 408).

Recycling:

Aufgrund der geringen Vorkommen der PGEs in der Erdkruste ist deren Recycling von besonderer Bedeutung. PGM-Recycling wird aufgrund der hohen Preise der Metalle wirtschaftlich durchgeführt, so stammen etwa 50% der gesamten Platin- und Palladiumproduktion aus Recyclingmaterial, bei Rhodium liegt der Anteil bei etwa 40% (SCHMIDT 2015, 44). Insgesamt wurden im Jahr 2016 125 000 kg Platingruppenmetalle aus Alt- und Neuschrott wiedergewonnen (USGS 2017, 126).

3.2.10 Seltene Erden Elemente (SE)

Eigenschaften und Verwendung:

Zu den SE zählt man insgesamt 15 (17 mit Sc und Y) Metalle, welche in der 3. Gruppe im Periodensystem stehen. Dabei unterscheidet man leichte Seltenerdmetalle, zu denen Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm) und Europium (Eu) gezählt werden und schweren Seltene Erden, denen man die Metalle Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu) zurechnet. Scandium (Sc) und Yttrium (Y) werden ebenfalls zu den SE gezählt, unterscheiden sich aber in ihren Eigenschaften doch deutlich von den anderen SE-Elementen. Die Einteilung der Seltene Erden ist nicht ganz klar definiert und teilweise strittig (vgl. MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016, 273). Aufgrund ihrer ähnlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften werden all

diese Metalle als Gesamtheit behandelt. Seltenerdmetalle haben hohe Schmelzpunkte, sind recht weiche, reaktionsfreudige, unedle Metalle mit silberglänzender Farbe, wobei sie an der Luft rasch trüb werden. SE haben vorwiegend die Oxidationszahl +3. Dies kommt bei den Elementen Cer bis Lutetium (Lanthanoide) daher, dass die äußeren Elektronenzahlen bei diesen Metallen alle gleich sind, da mit steigender Ordnungszahl die tiefer innen liegenden 4f Orbitale zuerst aufgefüllt werden (vgl. MARSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016, 273). Dadurch haben diese Metalle magnetische und spektroskopische Eigenschaften, welche sich für viele technische Anwendungen sehr nützlich darstellen. So zeigen beispielsweise SE in Legierungen mit Übergangsmetallen wie Eisen oder Kobalt sehr starken Magnetismus (vgl. WALL, in GUNN 2014, 313).

Obwohl die physikalischen und chemischen Eigenschaften der SE sehr ähnlich sind, unterscheiden sie sich geringfügig voneinander mit steigenden Ordnungszahlen. Seltenerdmetalle werden für zahlreiche technische Anwendungen benötigt. Vor allem für grüne Zukunftstechnologien, wie Brennstoffzellen, Hybridfahrzeuge, E-Bikes, Energiesparlampen oder Windkraftgeneratoren werden sie benötigt (vgl. MELCHER & WILKEN 2013, 39). Neodym verstärkt zum Beispiel die magnetische Wirkung von Eisen und so benötigt man dieses Metall für Permanentmagneten in Elektromotoren und Generatoren für Windkraftanlagen. Scandium erhöht die Festigkeit von Aluminiumlegierungen und erhöht die Effizienz von Brennstoffzellenelektrolyten. Yttrium verbessert in Stahl die mechanischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften, wird für Lasersysteme benötigt und findet als Yttrium-Barium-Kupfer-Oxid in Hochtemperatursupraleitern Anwendung. Außerdem werden SE in der Glas- und Keramikherstellung eingesetzt. (vgl. JANISCH 2013, 38)

Vorkommen & Produktion:

Seltene Erden treten in der Erdkruste recht häufig auf, wobei das allerdings eher für die leichten Seltenerdmetalle zutrifft. Schwere SE kommen hingegen deutlich seltener vor. Die Verteilung der verschiedenen Seltenerdmetalle ist sehr unterschiedlich und die Aufbereitung der SE-Metalle gestaltet sich als sehr schwierig (vgl. LUIDOLD 2013, 46). Die wichtigsten Erze für leichte SE sind Monazit (Ce,La,Nd,Th)[PO₄] und Bastnäsit (Ce,Y,La)(CO₃)F, für schwere Seltenerdmetalle Xenotim (YPO₄) (POHL 2005, 212). Monazit befindet sich in Form kleiner Körner in

vielen magmatischen Gesteinen und Anreicherungen findet man vor allem in Seifen. Allerdings stellt sich die Gewinnung problematisch dar, da Monazit radioaktives Thorium (Th) und Uran (U) enthält, und so mit einer enormen Umweltproblematik verbunden ist (MELCHER & WILKEN 2013, 41). Bastnäsit kommt wesentlich seltener vor, man findet dieses Mineral in Karbonatiten und Alkaligesteinen und es gibt keine Anreicherungen in Seifen (MELCHER & WILKEN 2013, 41). Die bedeutendsten Lagerstätten befinden sich in China, *Bayan Obo*, wo Bastnäsit und Monazit aus Karbonatiten gewonnen werden. Besonders reich an den seltenen schweren SE sind Ionenadsorptionstone in südchinesischen Provinzen (vgl. MELCHER & WILKEN 2013, 39). Bis in die 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts war der größte Produzent an Seltenen Erden die USA, wo Bastnäsit aus Karbonatiten in *Mountain Pass* (Kalifornien) gewonnen wurde (MELCHER & WILKEN 2013, 41). Seither wurde allerdings China immer bedeutender in der SE Produktion während andere Länder die Produktion einstellten. So kam es, dass China eine Art Monopolstellung auf die SE Metalle erlangte und andere Länder importabhängig wurden. Vermehrter Eigenbedarf Chinas und steigendes Umweltbewusstsein in diesem Land führten zur Drosselung der Produktion und zur Einführung von Exportquoten auf SE Produkte (MELCHER & WILKEN 2013, 41), wodurch wiederum ein rasanter Preisanstieg für SE bewirkt wurde. Aus diesen Gründen, und wegen des steigenden Bedarfs aufgrund der Verwendung in zahlreichen Zukunftstechnologien, stellen sich, vor allem die schweren Seltenen Erden, als kritische Rohstoffe bezüglich ihrer Verfügbarkeit dar. In Europa gibt es derzeit keinen Abbau von Seltenen Erden, mit Ausnahme von Russland, wo aus der Niob-Tantal Lagerstätte in *Lovozero auf der Kola-Halbinsel* Seltenerdmetalle gewonnen werden. Mögliche abbauwürdige Vorkommen werden in Schweden, in Deutschland und an der Westküste Grönlands exploriert (MELCHER & WILKEN 2013, 41). In Österreich gibt es keine wirtschaftlich bedeutenden Vorkommen von Seltenen Erden (LUIDOLD 2013, 46) und nur geringe Potenziale in residualen und alluvialen oder marinen Seifenvorkommen.

Wie zuvor erwähnt ist der größte SE Produzent China, welches im Jahr 2015 105 000 Tonnen SE produzierte. Das sind 85% der Jahresgesamtproduktion von 122 986 Tonnen. Weitere wichtige Produzenten sind Australien mit knapp 9%, USA mit 3%, Russland (Europa) mit knapp 2% und Brasilien mit 0,7%. (vgl. REICHL et al. 2017,

147-148)

Recycling:

Kaum Recycling, da es an geeigneten Verfahren fehlt.

3.2.11 Tantal (Ta) und Niob (Nb)

Eigenschaften und Verwendung:

Tantal ist, ebenso wie Niob, ein Element der fünften Nebengruppe im Periodensystem und gehört zu den Übergangsmetallen. Beide Metalle haben einen hohen Schmelzpunkt (Ta: 2996°C, Nb: 2468°C), sind luft- und korrosionsbeständig, auch bei hohen Temperaturen, und haben sehr gute elektrische und thermische Leitfähigkeiten (Niob ca. um 20 % schlechter als Tantal). Tantal ist hart und auch bei hohen Temperaturen duktil. (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016, 281)

Eine wichtige Eigenschaft von Niob ist die Fähigkeit zur Stahlhärtung (JANISCH 2013, 32), weshalb der größte Anteil an weltweit produzierten Niob (ca. 90%) in der Stahlindustrie verwendet wird. Weiters wird Niob in Form von Superlegierungen mit Titan oder Zinn in der Herstellung von supraleitenden Magnetspulen benötigt, welche in der Magnetresonanztomografie und in Kernfusionsreaktoren eingesetzt werden (LUIDOLD 2013, 148). Außerdem verwendet man Niob-haltige Beschichtungen in der chemischen Industrie und als Korrosionsschutz für medizinische Geräte (vgl. LUIDOLD 2013, 149).

Tantal wird hingegen für mikroelektrische Kondensatoren in der Elektronikindustrie beispielsweise für Computer, Laptops, Mobiltelefone, Digitalkameras, für Elektronik in Fahrzeugen und in der Flugzeug- und Raumfahrttechnik, sowie in medizinischen Geräten wie Defibrillatoren und Schrittmachern verwendet. Außerdem findet es Verwendung in Festplatten, Tintenstrahldruckern und zahlreichen weiteren Alltagsgeräten. (vgl. LINNEN, TRUEMAN & BURT, in GUNN 2014, 374) Auch als Korrosionsschutz zum Beispiel in Prothesen oder für Hochtemperaturlegierung in Turbinen wird Tantal verwendet (LINNEN, TRUEMAN & BURT, in GUNN 2014, 374). Da in den genannten Anwendungsgebieten von einem starken Wachstum auszugehen ist, wird der zukünftige Tantalbedarf stark ansteigen. Außerdem wird Tantal in Superlegierungen und als Tantalcarbid in der chemischen Industrie

eingesetzt. Zudem verwendet man Tantaloxide zur Herstellung hochlichtbrechender Gläser und Kristallmaterialien (MELCHER 2013, 45).

Vorkommen & Produktion:

Niob kommt in der Erdkruste mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 20ppm häufiger vor als Tantal, welches eine Häufigkeit von 2ppm zeigt (LUIDOLD 2013, 39). Niob und Tantal treten meist gemeinsam auf und die wichtigsten Erze sind Niobit $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb}>\text{Ta})_2\text{O}_6$ und Tantalit $(\text{Fe,Mn})(\text{Ta}>\text{Nb})_2\text{O}_6$, die die Endglieder der Columbit-Mischkristallreihe darstellen (POHL 2005, 215). Weitere wichtige Erze sind Pyrochlor $(\text{Na,Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{O,OH,F})$, Wodginit $(\text{Ta,Nb,Sn,Mn,Fe})\text{O}_2$ und Loparit $(\text{Ce,La,Na,Ca,Sr})(\text{Ti,Nb})\text{O}_3$ (vgl. LUIDOLD 39). Man findet Tantal meist gemeinsam mit Niob in Selten-Element-Graniten, wo sie in Süd-China in Yichun abgebaut werden oder im Ägyptischen Abu Dabbab und Nuweibi vorkommen (POHL 2005, 216). Auch Tantal führende Pegmatite sind in Kanada, Brasilien, Australien und Zentralafrika weit verbreitet (POHL 2005, 217). Auch in manchen Alkaligesteinen und Karbonatiten, sowie in deren Verwitterungsprodukten gibt es Tantalvorkommen, wie in Australien und Brasilien (vgl. POHL 2005, 216). Die Reserven für Niob sind sehr groß und liegen zum größten Teil in Brasilien (POHL 2005, 218), wo in der Lagerstätte Araxa im Jahr 2015 rund 92% der Niob-Weltproduktion (91 224 Tonnen) abgebaut wurden (REICHL et al. 2016, 137). Der größte Tantalproduzent ist die D.R. Kongo, wo im Jahr 2015 736 Tonnen Tantal abgebaut wurden, was rund 47 % der weltweiten Produktion von 1551 Tonnen ausmachte. Weitere bedeutende Tantalproduzenten sind Ruanda mit 380 Tonnen, Brasilien mit 120 Tonnen, Äthiopien mit 75 Tonnen und China mit 60 Tonnen. (REICHL et al. 2016, 137) Bis 2009 waren die größten primären Tantalproduzenten Australien und Brasilien, welche sich dann aber immer mehr aus der Bergbauproduktion zurückgezogen haben. Seitdem haben afrikanische Produzenten, vorwiegend aus der D.R.Kongo, einen großen Anteil an der Tantalproduktion übernommen (MELCHER & WILKEN 2013, 45). So erlangte der Abbau von Columbit, besser bekannt als Coltan, traurige Bekanntheit, da es als sogenanntes Blutcoltan unter unmenschlichen Bedingungen in der Republik Kongo abgebaut wurde und zudem der Finanzierung des Bürgerkrieges diente. Seit der Verabschiedung eines Gesetzes im Jahr 2010 wird nun versucht, Handel mit Blutcoltan zu verhindern. Es wurden Zertifizierungssysteme

eingeführt welche eine „saubere“ Herkunft des Coltans sicherstellen sollen. Zudem wird daran gearbeitet, die Herkunft von Erzen mithilfe eines geochemischen Fingerabdrucks nachweisen zu können (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, S.122-123). Durch chemische Rückverfolgbarkeit und Zertifizierung wäre es möglich, illegale Abbaustellen, welche sich beispielsweise unter der Kontrolle bewaffneter Gruppen befinden, zu sanktionieren. Händler wären dadurch gezwungen, nur mit legal abgebautem Coltan zu handeln und dem Blutcoltan bliebe der Eintritt in den internationalen Handel verwehrt (vgl. LIEBING 2009, S.122-124). Nicht nur für Tantal, sondern auch für andere Metalle, wie Zinn- und Wolframerze, wurden bereits analytische Herkunftsnachweise entwickelt, wodurch deren Herkunft überprüft und gegebenenfalls illegal abgebaute oder gehandelte Erze vom Markt genommen werden können (MELCHER & WILKEN 2013, 46).

In Österreich gibt es keine bergmännische Gewinnung von Tantal oder Niob (vgl. JANISCH 2013, 52). Tantal-Niob Minerale wurden allerdings in Pegmatiten im ostalpinen Kristallin gefunden und könnten als Nebenprodukte bei einem Lithiumabbau gewonnen werden (MELCHER 2014, 408).

Recycling:

Niob wird ausschließlich aus niobhaltigen Stahlprodukten und Superlegierungen wiedergewonnen, wobei die Recyclingraten auf etwa 20% des Niobverbrauchs geschätzt werden. Die Rückgewinnung aus Schrott ist hingegen vernachlässigbar (USGS 2017, 116). Bei Tantal hingegen lässt sich ein erheblicher Teil aus Neuschrott, vorwiegend aus tantalhaltigen Elektronikkomponenten zurückgewinnen, sowie aus Tantalkarbid und Schrott aus Hartmetall- und Superlegierungen (USGS 2017, 166).

3.2.12 Wolfram

Eigenschaften und Verwendung:

Wolfram befindet sich im Periodensystem in der 6. Gruppe, der sogenannten Chromgruppe, und ist ein weißglänzendes Metall mit extrem hoher Härte, und dem höchsten Schmelzpunkt (3422C°) aller Metalle (JANISCH 2013, 40). Zudem besitzt das Metall den niedrigsten thermischen Ausdehnungskoeffizienten, eine gute

thermische und elektrische Leitfähigkeit, sowie eine hohe Abriebfestigkeit und chemische Stabilität (LIEDTKE & SCHMIDT 2013, 12).

Aufgrund seiner Eigenschaften wird Wolfram vielfach verwendet, so zum Beispiel in der Werkzeugtechnik als Verschleißschutz, aber auch in der Hochtemperatur- und Vakuumtechnik sowie in der Energie-, Licht- und Röntgentechnik (LUIDOLD 146 – 147). Auch in zahlreichen Zukunftstechnologien kommt Wolfram zum Einsatz. So werden zum Beispiel wolframhaltige Bohrköpfe für Tiefenbohrungen und wolframhaltige Turbinenschaufeln für effiziente Gas- und Dampfkraftwerke verwendet. Man benötigt das Metall auch in Brennstoffzellen, wo Wolfram als Katalysator das wesentlich teurere Platin ersetzen soll und auch als Glasbeschichtung für selbstverdunkelnde Fenster wird es eingesetzt. (LIEDTKE & SCHMIDT 2013, 17)

Vorkommen & Produktion:

Wolfram kommt in der Erdkruste mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 1 ppm vor, wobei es in mafischen und ultramafischen Gesteinen seltener auftritt, als in Graniten oder Sedimentgesteinen (LUIDOLD 2013, 53). Es gibt zahlreicher Erze, welche das Metall beinhalten, allerdings kommen die meisten von ihnen nur sehr selten vor. Bedeutende Wolframerze sind Scheelit CaWO_4 und Wolframit $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ (BROWN & PITFIELD, in GUNN 2014, 386).

Oft tritt Wolfram zusammen mit Zinn auf und meist bilden sich Anreicherungen durch hydrothermale Prozesse im Zusammenhang mit granitoiden Intrusionen (POHL 2005, 147). Die weltweit größten Wolfram- und Zinnvorkommen findet man in Ostasien vor allem in Form von Skarnen, W-Porphyren und Wolframit-Quarzgängen, wobei bestimmte chinesische Provinzen besonders reich an Wolframerzen sind und China somit den bedeutendsten Wolframproduzenten darstellt. Die größte Scheelitlagerstätte der Welt ist *Shizhuyuan in Süd-Hunan* in China, welche den Skarnen zuzuordnen sind (POHL 2005, 148). Die Gesamtjahresproduktion an Wolfram im Jahr 2015 betrug 88 752 Tonnen, wobei China den größten Teil mit 72 200 Tonnen produzierte, was 81% entspricht. Weitere wichtige Produzenten sind Vietnam mit 4,5%, Russland (Asien) mit 3%, Kanada mit knapp 2% und Bolivien mit 1,6%. (REICHL et al. 2017, 140)

In Europa bildeten sich Wolframvorkommen im Zusammenhang mit der variszischen

Gebirgsbildung, allerdings wird heute nur noch in wenigen Lagerstätten Wolfram abgebaut. Ehemals wichtige Abbaugebiete waren das *Erzgebirge* in Deutschland, *Cornwall* in England und auch in den französischen Pyrenäen und in den Ostalpen (vgl. POHL 2005, 148 – 149). Österreich ist ein wirtschaftlich bedeutender Wolframproduzent mit aktivem Bergbau in der Lagerstätte *Felbertal bei Mittersill*, welche sich in den penninischen Einheiten des Tauernfensters befindet. Dort werden jährlich etwa 430 000 Tonnen Erz (Scheelit) abgebaut (LUIDOLD 2013, 53), wodurch Österreich 2015 an achter Stelle der größten Wolframproduzenten lag (Reichl 2017, 140). Weitere Wolframvorkommen befinden sich in der historischen Gold-Lagerstätte Schellgaden, wo Wolfram allerdings nur als Nebenprodukt neben den Edelmetallen Gold und Silber von Interesse war. Im Unterostalpin befindet sich die Magnesit-Scheelit-Lagerstätte Tux, wo das Erz bis 1976 abgebaut wurde. (LUIDOLD 2013, 55)

Recycling:

Sekundäre Rohstoffquellen spielen bei der Wolframproduktion eine große Rolle. So gehen schätzungsweise 30%-40% der gesamten Wolframproduktion auf Recycling zurück. Wegen seines hohen Gehalts an Wolfram ist Schrott aus Stahl oder Hartmetallen eine begehrte Rohstoffquelle. Nicht wirtschaftlich scheint hingegen die Rückgewinnung des Metalls aus Glühdrähten und Schweiß-Elektroden zu sein. (LIEDTKE & SCHMIDT 2013, 30)

4 Schulpraktischer Teil

In diesem Teil der Diplomarbeit wird nun Unterrichtsmaterial vorgestellt, welches die zuvor beschriebene Problematik bezüglich der kritischen Rohstoffe behandelt. Dabei werden Schüler und Schülerinnen über Anwendungsgebiete und Produktion dieser Metalle, sowie über das Auftreten von Lagerstätten informiert. Die Lernenden erarbeiten Informationen über Bedarf und Verfügbarkeit dieser Rohstoffe. Außerdem werden sie über Produktionsbedingungen in den Herstellerländern informiert. Schüler und Schülerinnen konsumieren eine Vielzahl von Produkten zu deren Herstellung kritische Rohstoffe benötigt werden. Der Konsum dieser Produkte beeinflusst den Bedarf dieser Rohstoffe und somit, neben den Preisen, auch die soziale Situation der Menschen sowie Umweltbelastungen in den produzierenden Ländern. Jeder Konsument trägt eine gewisse Verantwortung und kann durch sein Verhalten zur Verringerung von sozialen Ungerechtigkeiten und Umweltzerstörung beitragen. Schüler und Schülerinnen sollen sich dieser Verantwortung bewusst werden und Möglichkeiten eines ressourcenschonenden Konsumverhaltens erarbeiten.

Das entwickelte Unterrichtsmaterial eignet sich für die Oberstufe AHS, vorzugsweise für die 6. Klasse. Es kann im Zuge des Wahlpflichtfaches oder als Erweiterungsgebiet verwendet werden. Das Unterrichtsmaterial gliedert sich in drei Unterrichtseinheiten (UE) und umfasst insgesamt 7 Unterrichtsstunden. Das Unterrichtsmaterial wurde auf Grundlage der vom Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (bmukk) verordneten Bildungsstandards entwickelt. Ein Überblick über den betreffenden Bildungsbereich, sowie angestrebte Bildungsziele und definierte Kompetenzbereiche ist in Tabelle 48 dargestellt.

BILDUNGSBEREICH	Natur und Technik – Auswirkungen menschlicher Aktivität auf Natur, Umwelt und Gesundheit.
------------------------	---

BILDUNGSZIELE	<ul style="list-style-type: none"> - Sich nachhaltiger Entwicklung als zentrale Perspektive zukünftiger Entscheidungen deutlich werden. - Verständnis für Ressourcenverteilungen erwerben, Ursachen erkennen und Zukunftsszenarien entwickeln.
----------------------	--

DESKRIPTOREN		UE1	UE2	UE3
<i>Handlungskompetenz - Wissen organisieren: Anzeigen, Darstellen, Kommunizieren</i>				
W1	Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen.	X	X	X
W2	Aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.		X	X
W3	Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm,...) darstellen, erläutern und adressatengerecht kommunizieren.	X	X	X
W4	Die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben.	X	X	X
<i>Handlungskompetenz – Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren</i>				
E1	Zu Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben.			
E2	Zu Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen bzw. Hypothesen aufstellen.			X

E3	Zu Fragenstellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren.			
E4	Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren.			X
E5	Vorgängen und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik kriterienorientiert analysieren, Zusammenhänge einordnen und Beziehungen herausarbeiten.	X		X
Handlungskompetenz – Schlüsse ziehen und gestalten: Bewerten, Entscheiden, Handeln				
S1	Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen.			X
S2	Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln.			X
S3	Die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden.			
S4	Fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden			X

Tabelle 48: Betreffender Bildungsbereich, sowie angestrebte Bildungsziele und Kompetenzbereiche der drei entwickelten Unterrichtseinheiten (UE). (Gemäß der vom BMUKK verordneten Bildungsstandards)

Quellen: - BMB (2004): Lehrplan 2004: Oberstufe - Biologie und Umweltkunde
 - BIFIE Grundlagen der Bildungsstandards – Kompetenzmodelle und Deskriptoren – Kompetenzbereich Naturwissenschaften

4.1 Erste Unterrichtseinheit: Einstieg ins Thema „metallische Rohstoffe“

Metalle zählen zu den begehrtesten Rohstoffen der Erde und sind aus unserem täglichen Leben nicht wegzudenken. Schon vor tausenden von Jahren begann der Mensch Gegenstände aus Metallen zu fertigen. Zuerst verarbeitete er Kupfer, Silber und Gold, das in reiner metallischer Form gefunden wurde. Später gewannen Menschen dann Metalle wie Kupfer und Eisen aus Gesteinen, den sogenannten Erzen. Die Techniken zur Metallgewinnung wurden weiter entwickelt und ermöglichten dem Mensch unzählige technische Errungenschaften (vgl. KASTRUP et al. 2017).

Heute wäre eine Welt ohne die Nutzung von Metallen nicht mehr vorstellbar. Stahlträger für Gebäude, Kupferkabel zur Leitung elektrischen Stroms, Edelmetalle zur Schmuckherstellung, usw., eine Aufzählung der möglichen Anwendungsbereiche scheint unendlich. Zudem benötigen wir, durch die rasche Entwicklung in der Hochtechnologieindustrie heute viele metallische Rohstoffe, die vor einigen Jahrzehnten noch unbedeutend waren (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 1).

Die Prozesse der Metallgewinnung (Abbau, Verhüttung, Aufbereitung) verursachen aber auch Probleme für Mensch und Umwelt. So werden große Flächen bei der Gewinnung zerstört und durch den Einsatz verschiedener Chemikalien kann es zur Verschmutzung von Luft, Wasser oder Boden kommen. Industrieller Bergbau steht auch manchmal im Zusammenhang mit Vertreibung und unmenschlicher Ausbeutung der einheimischen Bevölkerung (Beispiel: Tantalabbau im Kongo) (vgl. KATE e.V. 2014, 17 - 18).

Lehrziele:

- Die Bedeutung von Metallen für unser alltägliches und gesellschaftliches Leben soll ins Bewusstsein der Schüler und Schülerinnen rücken.
- Die Unerlässlichkeit metallischer Rohstoffe für zukünftige technische Entwicklungen wird den Schülern und Schülerinnen bewusst gemacht.
- Eine Sensibilisierung für Probleme im Zusammenhang mit Metallgewinnung soll bei den Lernenden erreicht werden.

Dauer: 2 Unterrichtsstunden (100 Minuten)

Benötigte Vorkenntnisse:

- keine

Möglichkeiten des fächerübergreifenden Unterrichts mit Chemie:

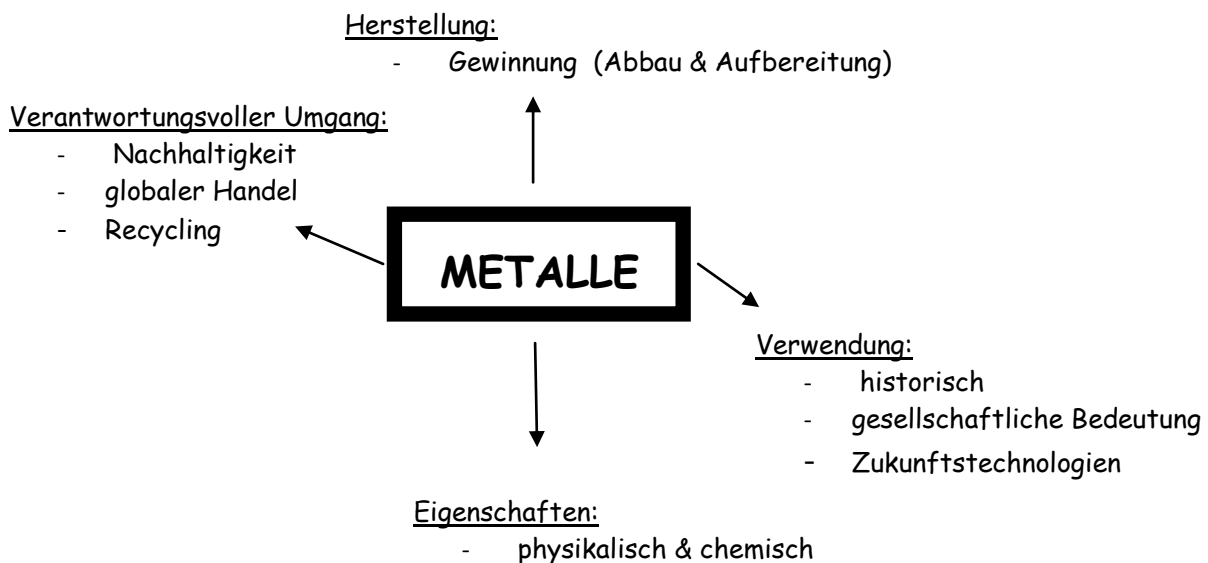
- Metallbindungsmodell
- Rohstoffe
- Methoden zur Metallgewinnung

Arbeitsaufträge:

a. Brainstorming zum Thema „Metalle“ (Dauer: 20 Minuten):

Alle Begriffe und Assoziationen, die den Schülern und Schülerinnen im Zusammenhang mit dem Thema einfallen, werden auf der Tafel notiert und als Mind-Map dargestellt.

Beispiel für ein mögliches Mind-Map:



b. Kleingruppenarbeit (Dauer 80 Minuten):

Die Lernenden durchsuchen in Gruppen (2-3 Personen) Zeitungen, Zeitschriften, Werbematerial, usw. nach Gegenständen aus Metallen. Gefundene Bilder und Textmaterialien werden ausgeschnitten um auf Papierbögen eine Collage zum Thema „Anwendungsgebiete von Metallen“ zu erstellen.

Im Anschluss daran präsentiert jede Kleingruppe ihre Collage vor der gesamten Klasse.

In einer abschließenden Nachbesprechung soll noch einmal die Bedeutung der Metalle betont werden.

4.2 Zweite Unterrichtseinheit: „Lagerstätten“

Rohstoffe sind auf der Erde nicht gleichmäßig verteilt. Durch verschiedene geologische Prozesse kann es zu einer Anhäufung bestimmter Elemente in einem bestimmten Gebiet kommen. Von Lagerstätten spricht man, wenn eine Anreicherung wirtschaftlich nutzbar ist.

Metalle kommen in der Natur nur selten in ihrer elementaren Form vor. Meist gewinnt man sie aus Erzen. Das sind Mineralgemenge oder Gesteine, die Metalle in ökonomisch nutzbaren Mengen enthalten.

Prozesse, die zur Entstehung einer Lagerstätte führen, sind sehr vielfältig. So können sich Stoffe anreichern indem sie direkt aus aufgeschmolzenem und erstarrendem Magma auskristallisieren. Oft spielen auch hydrothermale Vorgänge bei der Lagerstättenbildung eine Rolle. Bestimmte Stoffe werden dabei in heißem Wasser gelöst und an anderer Stelle wieder ausgefällt. Das kann zum Beispiel an heißen Quellen am Meeresboden oder in Gesteinsporen, Rissen und entlang einer Verwerfung geschehen. In solchen Systemen können sehr unterschiedliche chemische Reaktionen auftreten und dementsprechend vielfältig sind hydrothermal gebildete Lagerstättentypen. Aber auch Sedimentation und Verwitterung können zu Anreicherung bestimmter Stoffe führen. (vgl. NEUKIRCHEN & RIES 2014, 1- 2)

Lehrziele:

- Geologische Prozesse die zur Bildung von Lagerstätten führen, sollen den Schülern und Schülerinnen näher gebracht werden.
- Die Lernenden erhalten einen Überblick über die wichtigsten Lagerstättentypen.

Dauer: 2 Unterrichtsstunden (100 Minuten)

Benötigte Vorkenntnisse:

- Innerer Aufbau der Erde
- Plattentektonik
- Grundkenntnisse aus der Mineralogie
- Überblick über die Gesteine der Erdkruste
- Grundkenntnisse aus der Gesteinskunde

Arbeitsaufträge:

a. Klärung wichtiger Begriffe (Dauer: 15 Minuten):

Zu Beginn dieser Einheit ist es notwendig einige benötigte Fachbegriffe zu klären. Bereits bekannte Begriffe werden wiederholt und gefestigt und neue Begriffe eingeführt. Dazu erhält jeder Lernende ein Arbeitsblatt (siehe Anhang AB 2a) und versucht es in Einzelarbeit zu lösen. Im Anschluss daran werden die Lösungen besprochen und Unklarheiten beseitigt.

b. Gruppenpuzzle (Infotexte) (Dauer: 70 Minuten):

Die Schüler und Schülerinnen bilden Expertengruppen zu je 4-6 Personen. Jede Gruppe erhält Infoblätter zu je einem der folgenden Themen (siehe Anhang Infoblatt 2b):

- Magmatische Erzlagerstätten
- Hydrothermale Erzlagerstätten
- Verwitterungslagerstätten
- Sedimentäre Erzlagerstätten

Die Gruppenmitglieder lesen die Infotexte durch, besprechen Unklarheiten und werden so zu Experten/Expertinnen des jeweiligen Themas.

Im Anschluss daran werden neue Arbeitsgruppen gebildet. Diese setzen sich aus

je einem Mitglied der vorherigen Expertengruppen zusammen. Jeder Experte/Expertin stellt nun in der Arbeitsgruppe sein Thema vor und bringt den anderen Mitgliedern die Inhalte näher.

c. Quiz (Dauer: 15 Minuten):

Zur Ergebnissicherung führen die Lernenden in Einzelarbeit ein Quiz mit richtig/falsch Fragen durch (siehe Anhang AB 2b).

4.3 Dritte Unterrichtseinheit: „Kritische Rohstoffe“

Rohstoffe haben für die Entwicklung in einer modernen Gesellschaft und für die Wirtschaft große Bedeutung. Trotzdem hat es die Europäische Union lange Zeit verabsäumt sich um eine gesicherte Versorgung zu kümmern. Aufgrund stabiler und niedriger Preise gegen Ende des 20. Jahrhunderts importierten westliche Staaten zunehmend Rohstoffe aus anderen Kontinenten. (vgl. LUIDOLD 2013, 18) Innerhalb Europas wurde Bergbau durch negative Begleiterscheinungen und durch Erschöpfung vieler Rohstoffvorkommen zunehmend unerwünscht. Der Import aus Ländern anderer Kontinente wurde hingegen immer attraktiver (vgl. BAUMANN et al. 2005, 9). So kam es, dass sich die Produktion vieler Rohstoffe auf wenige Länder konzentrierte und Europa zunehmend abhängiger wurde (LUIDOLD 2013, 18). Durch die rasche Entwicklung in vielen Bereichen der Hochtechnologieindustrie, wie beispielsweise in der Informations- und Kommunikationstechnik, in Energietechnik, Elektronik und Computertechnik, wird der Bedarf an bestimmten, selten vorkommenden metallischen Rohstoffen in Zukunft stark ansteigen. Außerdem benötigen viele der Produktionsländer, wie zum Beispiel China, aufgrund steigenden Wirtschaftswachstums größere Mengen der Rohstoffe zur Deckung ihres Eigenbedarfs (LUIDOLD 2013, 18). So besteht in der Europäischen Union für einige dieser Rohstoffe das Risiko von zukünftigen Versorgungsengpässen und Preissteigerungen. Die EU führt seit 2010 Listen solcher sogenannten „kritischen Rohstoffen“, die in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden. Zu den derzeit als kritisch eingestuften Rohstoffen zählen die Metalle Antimon, Beryllium, Chrom, Kobalt, Gallium, Germanium, Indium, Magnesium, Niob, die Platingruppenelemente (PGE), die Seltenen Erden (SE) und Wolfram, sowie die Industrie- und

Energierohstoffe Grafit, Flussspat, Borate, Phosphate und Silizium (EUROPEAN COMMISSION 2010 und 2014). Tantal steht zwar seit 2014 nicht mehr auf der Liste der EU, gilt aber, aufgrund seiner zweifelhaften Herstellung in Kriegsgebieten, als Konfliktrohstoff.

Lehrziele:

- Den Lernenden wird bewusst gemacht, dass Rohstoffe nicht unlimitiert zu Verfügung stehen.
- Die Lernenden erhalten einen Überblick über Rohstoffe, deren zukünftige Verfügbarkeit in der EU als nicht gesichert gilt.
- Schülern und Schülerinnen werden über Bewertungsfaktoren der Kritikalität von Rohstoffen informiert.
- Die Schüler und Schülerinnen setzen sich mit möglichen zukünftigen Szenarien auseinander, die im Zusammenhang mit eingeschränkter Verfügbarkeit bestimmter metallischer Hochtechnologierohstoffen stehen und reflektieren über mögliche Lösungsansätze.

Dauer: 3 Unterrichtsstunden (150 Minuten)

Benötigte Vorkenntnisse:

- keine

Möglichkeiten des fächerübergreifenden Unterrichts mit Geografie und Wirtschaftskunde:

- Import/Export
- Preisentwicklung (Ursachen von Preissteigerung)
- Soziale Ungleichverteilungen

Arbeitsaufträge:

a. Informationstext (Dauer: 10 Minuten):

Die Lernenden lesen einen Informationstext (siehe Anhang Infoblatt 3a) über kritische Rohstoffe. Im Anschluss daran werden aufgetretene Unklarheiten mit der

gesamten Klasse besprochen.

b. Internetrecherche (Dauer: 30 Minuten):

Die Schüler und Schülerinnen recherchieren in Partnerarbeit im Internet über die im Infotext erwähnten kritischen metallischen Rohstoffe: Antimon, Beryllium, Chrom, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Magnesium, Niob, Platingruppenelemente (PGE), leichte und schwere Seltenen Erden (SE), Tantal und Wolfram.

Folgende Punkte sollen dabei herausgearbeitet werden:

- In welchen Anwendungsbereichen wird der Rohstoff benötigt?
- Welche Länder stellen die wichtigsten Produzenten des Rohstoffes dar?

Zur Recherche sollen die Internetseiten der *DERA- Deutsche Rohstoffagentur-Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* verwendet werden. Dort sind unter *Rohstoffinformationen* alle benötigten Informationen zu finden.

c. Vorstellung der Rechercheergebnisse (Dauer: 30 Minuten):

Jedes Team stellt nun vor der gesamten Klasse seine Rechercheergebnisse vor. Die Lehrperson hat dabei die Aufgabe, fehlerhafte oder ungenaue Informationen richtig zu stellen beziehungsweise zu ergänzen. Zur Veranschaulichung der Lage der wichtigsten Produktionsländer werden auf einer Weltkarte Kärtchen mit den jeweiligen Rohstoffen positioniert.

d. Artikel (Dauer: 30 Minuten):

Nachdem die Schüler und Schülerinnen einen Überblick über die verschiedenen kritischen Metalle bekommen haben, erhalten sie nun Informationen zur Situation in Europa und Österreich. Dazu lesen sie den Artikel: „*Kritische Hochtechnologiemetalle – Verfügbarkeit in der EU mit Fokus auf Österreich.*“

Melcher Frank, 2014. (Abrufbar unter: https://online.unileoben.ac.at/mu_online/voe_main2.getVollText?pDocumentNr=253651&pCurrPk=34717)

Anschließend werden in Einzelarbeit Fragen zum Artikel von den Lernenden ausgearbeitet (siehe Anhang: AB 3d).

e. Diskussion (50 Minuten):

Im Vorfeld der Diskussion wird ein Informationstext gelesen (Rohstoffe: Die Spur der Metalle aus Spektrum Neo 2013 Heft Nr. 5):

Anschließend daran findet eine Diskussionsrunde statt.

Folgende Impulsfragen sollen dabei im Zentrum stehen:

- Wie wirken sich Versorgungsengpässe auf mich persönlich aus?
 - Preissteigerungen
- Welche Probleme ergeben sich durch die Rohstoffgewinnung in den Produktionsländern?
 - Zerstörung von Fläche
 - Schäden an der Umwelt
 - Verletzung von Menschenrechten
 - Gesundheitsgefährdung durch Umweltbelastungen
 - Länderkonflikte
 - Vertreibung einheimischer Bevölkerung
- Welche Lösungen gibt es für die angesprochenen Probleme?
 - Lösungen auf politischer Ebene durch Schaffung von Transparenz über die Herkunft der Rohstoffe und Verhängen von Embargos
 - Lösungen auf Herstellerebene durch nachhaltigen Rohstoffabbau und Transparenz
 - Lösungen auf Konsumentenebene durch energiesparendes Verhalten (grüne Technologien), nachhaltiges Konsumverhalten und richtige Entsorgung von Altgeräten (Recycling)

Literaturverzeichnis

Angerer, U. (u.a.) (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag

Angerer, G., Buchholz, P., Gutzmer, J., Hagelücken, Ch., Herzig, P., Littke, R., Thauer, R.K. & Wellmer, F.W. (2016): Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft: Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse (Schriftreihe Energiesysteme der Zukunft), München.

Arienti, H., Gridling, H., Katzensteiner, K. & Wulz, I. (2012): ganz klar Biologie 3. Wien: Verlag Jugend & Volk GmbH. (Schulbuchnummer: 135.419)

Aufdermauer, A. & Hesse, M. (2006): Eine Analyse von Biologie-Schulbüchern - unter besonderer Berücksichtigung des Experimentierens mit Pflanzen. Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, IDB (2006), 15, 1-32.

Bamberger, R. (1995): Methoden und Ergebnisse der internationalen Schulbuchforschung im Überblick. In: Olechowsky (Hg.): Schulbuchforschung Schule - Wissenschaft – Politik. Frankfurt am Main: Lang, 46 - 94.

Bamberger, R. & Vanecek, E. (1984): Lesen-Verstehen-Lernen-Schreiben. Die Schwierigkeitsstufen von Texten in deutscher Sprache. Wien: Jugend & Volk.

Baumann, U., Borg, G., Gerling, P., Siemer, F. & Neubert, U., (2005): Rohstoffe und Recycling - Begleittext für Lehrkräfte. Bayrhuber, H. & Hlawatsch, S. (Hg.), Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel.

Biegl, C.E. (2012): Begegnungen mit der Natur 3. Wien: Verlag öbvhpt GmbH & Co. KG. (Schulbuchnummer: 155.127)

Biegl, C.E. (2014): Begegnungen mit der Natur 6. Wien: Verlag öbvhpt GmbH & Co. KG. (Schulbuchnummer: 165.307)

BIFIE Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens (2011): Grundlagen der Bildungsstandards <https://www.bifie.at/material/grundlagen-der-bildungsstandards/> [Zugriff: 24.01.2018]

BMB Bundesministerium für Bildung. (2000): Lehrplan 2000: Unterstufe – Biologie und Umweltkunde. 27.09.2016. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?61ebyf [Zugriff: 07.03.2017]

BMB Bundesministerium für Bildung. (2004): Lehrplan 2004: Oberstufe – Biologie und Umweltkunde. 25.09.2017

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>

[Zugriff: 07.03.2017]

Buchholz, P. & Foya, S. (2015): Investor's and Procurement Guide South Africa Part 2: Fluorspar, Chromite, Platinum Group Elements. – DERA Rohstoffinformationen 22: 120 pp.; Berlin.

Burghard, S. (2015): Die Entwicklung des Lehrplans in Biologie und Umweltkunde unter Berücksichtigung der erdwissenschaftlichen Inhalte. Diplomarbeit. Karl-Franzens-Universität Graz

Burgstaller, J. & Schullerer, P. (2010): B&U Biologie und Umweltkunde. Veritas Verlag, Linz (Schulbuchnummer: 145.093)

DERA Deutsche Rohstoffagentur: Rohstoffrisikobewertung Magnesium. DERA Rohstoffinformationen, Berlin.

https://www.deutscherohstoffagentur.de/DERA/DE/Laufende%20Projekte/Rohstoffwirtschaft/Magnesium/lp-magnesium_node.html [Zugriff: 11.11.2017]

Dobers, J. & Schirl, K. (2014): Über die Natur 3. Wien: Verlag E. Dorner GmbH. (Schulbuchnummer: 105.192)

Duszenko, M. (1994): Lehrwerkanalyse. Berlin: Langenscheidt.

European Comission (2010): critical raw materials for the EU: report of the Ad-Hoc Working Group of defending critical raw materials.

European Comission (2014): critical raw materials for the EU: report of the Ad-Hoc Working Group of defending critical raw materials.

Fleck, M., Gayl, R., Igersheim, A., Kopeszki, H., Weber, M. & Zmugg, G. (2014): Basiswissen Biologie 2. Wien: Verlag öbvhpt GmbH & Co. KG. (Schulbuchnummer 130.232)

Hagelücken, C. (2011): „Rohstoffsicherung durch Recycling- Chancen, Herausforderungen & Grenzen“ Präsentation bei BMWi Konferenz. Berlin: 30.11.2011.

Hofer, H. & Reiter, E. (2011): BIOLOGIE 6. Wien: Verlag E. Dorner GmbH. (Schulbuchnummer: 126.032)

Huemer, E. (2008): Analyse mineralogischer Inhalte im Internet für den AHS Biologieunterricht der 10. Schulstufe. Diplomarbeit, Universität Wien.

Huy, D., Andruleit, H., Babies, H.G., Elsner, H., Homberg-Heumann, D., Meßner, J., Röhling, S., Schauer, M., Schmidt, S., Schmitz, M., Szurlies, M., Wehenpohl, B. & Wilken, H. (2016): DERA Deutschland Rohstoffsituation 2015. Hannover.

Janisch, A. (2013): Ressourcenverfügbarkeit, Bergtechnische Charakterisierung und Bergbauplanungskonzepte ausgewählter Vorkommen EU kritischer Rohstoffe in Österreich. Diplomarbeit. Montanuniversität Leoben.

Kastrup, U., Gutbrodt, B., Dähler, A., Vernooij, M. & Thurnherr, I. (2017): BodenSchätze Werte: Unser Umgang mit Rohstoffen. In: focus terra (Hg.): vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich

KATE e.V. (2014): Know your Lifestyle. Nachhaltiger Konsum für junge Erwachsene im zweiten Bildungsweg. Berlin: DVV International.

Kuhn, L. & Rathmayr, B. (1977): Statt einer Einleitung. 15 Jahre Schulreform - Aber die Inhalte? - In: Kuhn (Hg.): Schulbuch - Ein Massenmedium. Wien: Jugend & Volk, 9-17.

Klautke, S. (1974): Kriterien zur Beurteilung von Schulbüchern für Biologie. In: Blickpunkt Schulbuch, Bd. 16, 30 – 32.

Koch, B. & Koch E.M. (2013): Kernbereiche BIOLOGIE 6. Wien: Verlag E. Dörner GmbH. (Schulbuchnummer: 160.414)

Lässig, S. (2010): Wer definiert relevantes Wissen? Schulbücher im gesellschaftlichen Kontext. In: Fuchs (Hg.): Schulbuch konkret: Kontexte - Produktion – Unterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 199 - 218.

Liebing, M. (2009): Nachhaltige Nutzung mineralischer Rohstoffe am Beispiel der DR Kongo. Untersuchung der Wirksamkeit und Übertragbarkeit politischer Maßnahmen. Arbeitspapier. Hamburg: Universität Hamburg – Institut für Politikwissenschaft.

Liedke, M. & Schmidt, M. (2013): DERA Rohstoffinformationen – Risikobewertung Wolfram. DERA Deutsche Rohstoffagentur, Berlin.

Luidold, S. et al. (2013): Kritische Rohstoffe für Hochtechnologieanwendungen in Österreich. In: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hg.): Schriftenreihe 11.

Marscheider – Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Terecero Spinoza, L., Angerer, G., Marwede, M. & Benecke, S. (2016): Zusammenfassung / Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. – DERA Rohstoffinformationen 28: 13S., Berlin.

Melcher, F. & Wilken, H. (2013): „Die Verfügbarkeit von Hochtechnologie-Rohstoffen“ . In: Chemie unserer Zeit, 47, 32 – 49.

Melcher, F. (2014): Kritische Hochtechnologiemetalle – Verfügbarkeit in der EU mit Fokus auf Österreich. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 159 (10), 406 – 410, Springer Verlag, Wien.

Möslinger, E. & Schirl, K. (2013): Expedition Biologie 3. Wien: Verlag E. Dorner GmbH. (Schulbuchnummer: 160.345)

Neukirchen, F.; Ries, G. (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer- Verlag.

Olechowsky, R. (1995): Der mehrdimensionale Ansatz in der Schulbuchforschung. In: Dies. (Hg.): Schulbuchforschung Schule-Wissenschaft-Politik. Frankfurt am Main: Lang, 11 - 20.

Pohl, W. (2005): Mineralische und Energie- Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. Stuttgart: Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung.

Reichl, C., Schatz, M. & Zsak, G. (2017): World Mining Data 2017, BMWFW, <http://www.wmc.org.pl/sites/default/files/WMD2017> [Zugriff: 24.08.2017]

Schermaier, A., Weisl, H. & Hirschenhauser, K. (2015): bio @ school. Linz: Veritas Verlag. (Schulbuchnummer: 170.1888)

Schmidt, M. (2013): DERA Rohstoffinformationen – Risikobewertung Antimon. DERA Deutsche Rohstoffagentur. Berlin.

Schmidt, M. (2015): DERA Rohstoffinformationen - Rohstoffrisikobewertung Platin- gruppenmetalle 26: 156 S., Berlin

Snyder, V. & Broadway, F. (2004): Queering high school biology textbooks. In: Journal of Research in Science Teaching , 41 (6), 617 - 636.

Sitte, Ch. (2001): Das GW-Schulbuch. Beiträge zur Didaktik des „Geographie und Wirtschaftskunde“- Unterrichts. In: Sitte, W. und Wohlschlägl, H. (Hg.): Materialien zur Didaktik der Geographie und Wirtschaftskunde. Wien: Bd.16, 447 – 472.

Spektrum der Wissenschaften. Lexikon der Geowissenschaften – Erzlagerstättenklassifikation. <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/erzlagerstaettenklassifikation/4353> [Zugriff: 09.08.2017]

Spektrum der Wissenschaft. Lexikon der Geowissenschaften – Magmatische Differentiation. <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/magmatische-differentiation/9880> [Zugriff: 12.08.2017]

Stosch, H.G. (2014): Einführung in die Gesteins- und Lagerstättenkunde. Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Geowissenschaften. Karlsruhe. <http://Systemerde.ipn.uni-kiel.de> [Zugriff: 04.04.2017]

Universität Tübingen, Mathematisch- Naturwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Geowissenschaften. Mineralogische Sammlung – Erze und Erzlagerstätten. <http://www.uni-tuebingen.de/de/87344>
[Zugriff: 09.08.2017]

Universität Wien. Curriculum Bachelor Lehramt Biologie & Umweltkunde. http://ssclebenswissenschaften.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/s_ssc_lebenswissenschaften/1_Curricula/Curriculum_Bachelor_Lehramt_B_U_Teilcurriculum_2015_2016_250_.pdf [Zugriff: 22.11.2017]

Universität Wien. Curriculum Diplom Lehramt Biologie & Umweltkunde. http://ssclebenswissenschaften.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/s_ssc_lebenswissenschaften/1_Curricula/Curriculum_Lehramt_B_U_und_H_E.pdf
[Zugriff: 22.11.2017]

USGS U.S. Geological Survey. (2016): Mineral commodity summaries 2016: U.S. Geological Survey, 202 p., <http://dx.doi.org/10.3133/70140094>.

Anhang: Unterrichtsmaterialien

Arbeitsblatt 2a Welche Bedeutung passt zu welchem Begriff? Ordnen sie die richtige Bedeutung (Buchstaben) den Fachbegriffen (Zahlen) zu.												
1	Magma					Ä	SiO ₂ – Gehalt beträgt unter 45%					
2	Plutonit (Tiefengestein)					T	SiO ₂ – Gehalt beträgt zwischen 45% und 52%					
3	Vulkanit (Effusivgestein)					T	Zusammensetzung des Magmas verändert sich durch Abtrennung von Kristallen					
4	Kristallisation					N	Verbindungen von Elementen mit Sauerstoff					
5	saure Gesteine					E	aus einer Lösung oder Schmelze entstehen Kristalle indem sich die Elemente stoffspezifisch anordnen					
6	intermediäre Gesteine					E	Verbindungen von Elementen mit Schwefel					
7	basische Gesteine					A	durch langsame Kristallisation in größerer Tiefe entstanden – grobkörnig					
8	ultrabasische Gesteine					R	SiO ₂ – Gehalt beträgt über 66%					
9	magmatische Differentiation					T	der Großteil der Mineralien enthält Silicium					
10	Silikate					L	Gesteinsschmelze und darin gelöste Gase und herumschwimmende Kristalle					
11	Sulfide					S	SiO ₂ – Gehalt beträgt zwischen 52% und 66%					
12	Oxide					G	durch rasches Abkühlen an der Erdoberfläche entstanden - feinkörnig bis glasig					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Arbeitsblatt 2b

Welche der Aussagen sind richtig?

Markieren sie die jeweiligen Aussagen mit einem **r** für richtig bzw. mit einem **f** für falsch.

	Quiz - Lagerstätten	richtig oder falsch
1	Pegmatite bilden sich aus Restschmelzen eines erstarrenden Plutons.	
2	Porphyre sind stockförmige Vererzungen im oberen Bereich von Plutonen.	
3	Laterite sind dunkle, humusreiche Böden, die man vorwiegend in gemäßigten Klimazonen findet.	
4	Ein großer Anteil des weltweit produzierten Goldes kommt aus Seifenlagerstätten des südafrikanischen Witwatersrandgebiets.	
5	Der Bushveld-Komplex in Südafrika stellt einen Pegmatit dar.	
6	In Pegmatiten findet man ausgesprochen große Kristalle.	
7	Eisenerzvorkommen in Österreich (Erzberg/Stmk) stellen sedimentäre Lagerstätten dar, sogenannte Bändererze.	
8	SEDEX Lagerstätten stellen die weltgrößten Aluminiumreserven dar.	
9	Orthomagmatische Lagerstätten entstehen direkt aus ultrabasischen oder basischen Magmen.	

Arbeitsblatt 3d

Beantworten sie die Fragen zum Artikel: „*Kritische Hochtechnologie-
metalle - Verfügbarkeit in der EU mit Fokus auf Österreich*“ - Melcher
Frank, 2014

1. Welche Faktoren bestimmen, ob ein Rohstoff als kritisch eingestuft wird?
2. Wie können die Metalle Gallium, Germanium und Indium gewonnen werden?
3. Welche der kritischen Metalle wurden in der Vergangenheit in Österreich abgebaut? Wie ist die heutige Situation in Österreich?
4. Nennen sie die weltweit bedeutendsten Produktionsländer von kritischen Metallen!
5. Beschreiben sie die Situation in Europa bezüglich Verfügbarkeit wichtiger Hochtechnologierohstoffe! Wie könnte sich eine Einschränkung der Versorgung dieser Rohstoffe auf sie persönlich auswirken?

Infotext 2b: „Magmatische Erzlagerstätten“

Die Bildung dieser Lagerstätten ist auf magmatische Prozesse zurückzuführen. Wenn sich Gesteinsschmelze (=Magma) abkühlt, bilden die darin enthaltenen Stoffe Kristalle aus. Einige Elemente kristallisieren dabei früher und andere bleiben länger in der Schmelze. Sobald sich Kristalle bilden verändert sich die chemische Zusammensetzung der verbleibenden Gesteinsschmelze und dieser Prozess (= magmatische Differentiation) setzt sich im Verlauf der weiteren Kristallisation stetig fort.¹ Im Zusammenhang mit diesen Vorgängen gibt es mehrere Möglichkeiten, welche zur Anreicherung bestimmter Elemente führen können und so Lagerstätten entstehen lassen:

Orthomagmatische Lagerstätten entstehen direkt aus ultrabasischen und basischen silikatischen Magmen. Während der Kristallisation werden früh gebildete Kristalle von der Gesteinsschmelze getrennt. Die verbleibende Schmelze hat dann eine völlig andere chemische Zusammensetzung. Es kann aber auch sein, dass Magma zwei nicht mischbare Schmelzen beinhaltet, welche sich schon vor Beginn der Kristallisation voneinander trennen. So trennen sich zum Beispiel Sulfid-, Oxid-, oder Karbonatschmelzen von Silikatschmelzen ab.³

Zu diesem Lagerstättentyp zählt man *Layered Mafic Intrusions (LMI)*, große geschichtete Gesteinskörper, welche aus basischem Magma entstanden sind. Die verschiedenen Schichten unterscheiden sich in Anteil und Zusammensetzung der jeweiligen Minerale.¹ Der Bushveld Komplex in Südafrika beinhaltet die weltweit größten Vorkommen an Chrom, Platinmetallen und Vanadium in der weltweit größten LMI.²



Bild: Bushveld-Komplex in Südafrika: Chromititschichten (dunkel) und Anorthosit (hell).

Quelle: Kevin Walsh, Wikimedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bushveld_Igneous_Complex#mediaviewer/

Pegmatite bilden sich aus der Restschmelze eines erstarrenden Plutons, nachdem die Hauptkristallisation schon stattgefunden hat. In dieser Restschmelze sammeln sich leicht flüchtige Stoffe und inkompatible Elemente an, welche nicht in die Kristallstruktur der gebildeten Mineralien passen.³ Die meisten Pegmatite entstehen aus silikatreichem Magma. Oft findet man Minerale mit seltenen Elementen und ausgesprochen große Kristalle.² Während die Restschmelze auskristallisiert, können sich inkompatible Elemente so stark anreichern, dass sie Lagerstätten bilden. Neben Edelsteinen findet man in Pegmatiten auch seltene Mineralien und Erze mit Beryllium, Lithium, Seltenen Erden, usw. Auch Coltan, ein wichtiges Erz für Tantal, kommt vorwiegend in Pegmatiten vor.¹ Dieses Erz erlangte als sogenanntes „Blutcoltan“ traurige Bekanntheit, da es unter unmenschlichen Bedingungen in der Republik Kongo abgebaut wurde und zudem der Finanzierung des Bürgerkrieges diente.



Bild links: Columbit-Tantalit-Erz (Coltan), Fundort: Madagaskar

Quelle: Rob Lavinsky, Wikimedia

<https://de.wikipedia.org/wiki/Coltan#/media/File:Ferrocolumbite-Manganotantalite-rh3-36a.jpg>

Bild rechts: Coltan Abbau im Kongo

Quelle: Blog.it, Mineralienatlas

<https://www.mineralatlas.eu/lexikon/index.php/Mineralienportrait/Tantal%2C%20Niob%20und%20Coltan/>

Seite 2

Zusammengestellt unter Verwendung von:

¹ **NEUKIRCHEN, F.& RIES, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer- Verlag

² **POHL, W.** (2005): Mineralische und Energie- Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. Stuttgart: Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung

³ **UNIVERSITÄT TÜBINGEN, Mathematisch- Naturwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Geowissenschaften.** Mineralogische ³Sammlung – Erze und Erzlagerstätten. <http://www.uni-tuebingen.de/de/87344>

Infotext 2b: „Hydrothermale Erzlagerstätten“

Diese Lagerstätten entstehen durch mineralische Ausscheidungen, die aus heißen wässrigen Lösungen auskristallisieren. Die Lösungen können direkt aus dem Magma im Erdinneren stammen. Oft dringen aber auch Regenwasser oder Meerwasser in die Erdkruste ein, werden erhitzt und laugen das umgebende Gestein aus.

Metasomatische Verdrängungslagerstätten (metasomatisch = Umwandlungsprozess, bei dem sich die chemische Zusammensetzung verändert) entstehen wenn Karbonatgestein verdrängt wird und sich in Erze umwandelt. Dabei bilden sich Blei- und Zinkerze, sowie Gold-, Magnesit- und Sideritlagerstätten (Siderit = Eisenerz), zu denen der Erzberg in Österreich zählt.²

Skarne sind Erzvorkommen, welche reich an Kupfer-, Eisen-, Wolfram-, Blei- und Zinkerzen sein können. Sie entstehen häufig in der Nähe von Plutonen (= Magmamasse, die nicht die Erdoberfläche erreicht, sondern in der Erdkruste erstarrt). Dort wird Karbonatgestein aufgeheizt und gleichzeitig von freigesetzten hydrothermalen Lösungen durchströmt. Dadurch kommt es zu Gesteinsumwandlungen.¹

Hydrothermale Ganglagerstätten, auch als Adern oder Gänge bezeichnet, führen Metallerze wie beispielsweise Zinn, Wolfram aber auch Gold und Silber. Dabei handelt es sich um Spalten oder Klüfte, die hydrothermal aufgefüllt wurden. So sind zum Beispiel die Goldadern in den Alpen während der Gebirgsbildung entstanden.²

Porphyre sind hydrothermale stockförmige (= fingerförmig verzweigte) Vererzungen in den oberen Bereichen von Plutonen. Sie beinhalten oft riesige Erzmengen. Diese Lagerstätten liefern circa drei Viertel der weltweiten Kupferproduktion, die Hälfte des Molybdäns und ein Fünftel des Goldes. Daneben stammt alles an Rhenium und Selen aus sogenannten Kupferporphyren. Die größte Kupferlagerstätte der Erde „El Teniente“ befindet sich in Chile.¹

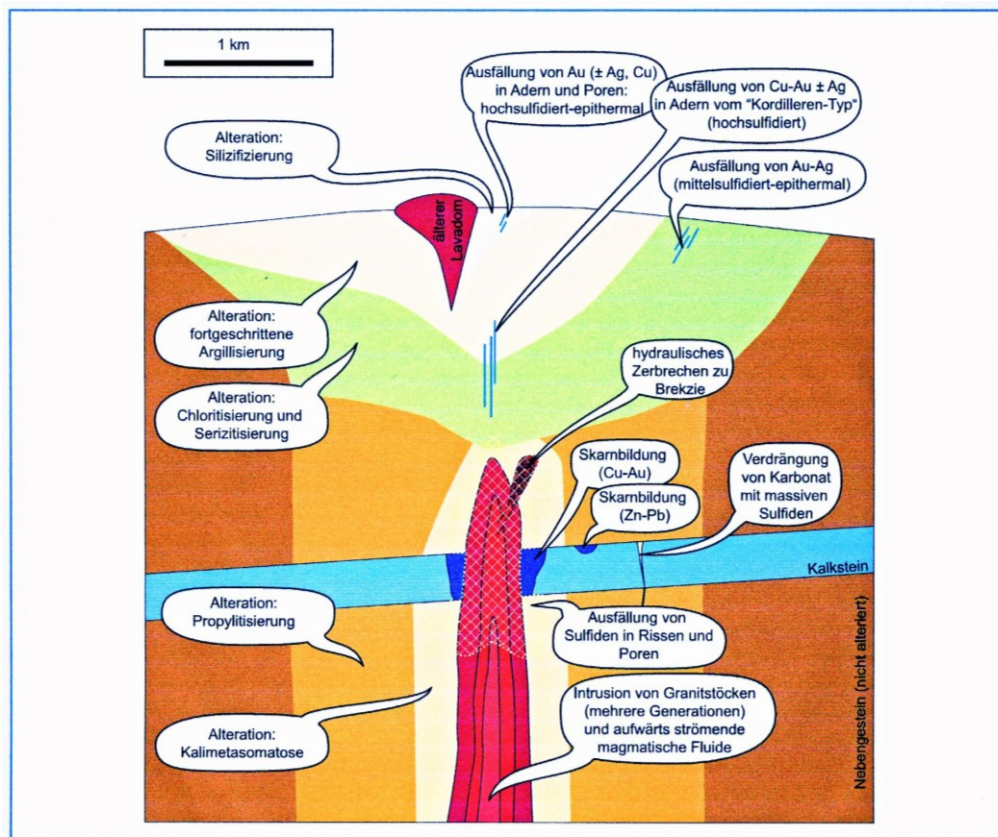


Abb. 4.27 Schematischer Schnitt durch einen Kupferporphyr. Die Sulfide (versprengt und in Äderchen) befinden sich in der gelb schraffierten Zone am oberen Ende eines Granitstocks. Das Nebengestein ist stark alteriert, wobei sich ein Halo mit unterschiedlichen Alterationszonen ausbildet. In der Umgebung können weitere Lagerstätten entstehen, insbesondere hochsulfidierte epithermale Goldadern und (falls Kalkstein vorhanden ist) Skarne. Frei nach Sillitoe 2011.

Quelle: **NEUKIRCHEN, F. & RIES, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

Auch am Meeresgrund können sich durch austretende hydrothermale Lösungen Lagerstätten bilden. Die heißen Lösungen vermischen sich mit Meerwasser und lagern Erze ab, was an den Hydrothermalfeldern am Mittelozeanischen Rücken durch „black smokers“ eindrucksvoll zur Schau gestellt wird. Wichtige Blei- und Zinklagerstätten sind so entstanden. Ein Beispiel stellt der Rammelsberg im Harz dar.

Seite 2

Zusammengestellt unter Verwendung von:

¹ **NEUKIRCHEN, F. & RIES, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

² **POHL, W.** (2005): Mineralische und Energie- Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. Stuttgart: Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung

Infotext 2b: „Verwitterungslagerstätten“

Diese Lagerstätten entstanden durch Verwitterungsprozesse und Bodenbildung. An der Verwitterung von Gestein sind physikalische (mechanischer Zerfall), chemische (Herauslösen und/oder Umbildung von Mineralen) und biologische (durch Wurzeln, Pilzhyphen und Bakterien) Prozesse beteiligt. Durch Verwitterung und Umlagerung entstehen schließlich Böden, mit charakteristischer vertikaler Schichtung.²

Laterite sind tonig-sandige, rote Böden, die man im tropischen und subtropischen Klima findet. Sie sind reich an Aluminium und Eisen und unter geeigneten Bedingungen können sich Erze bilden.²

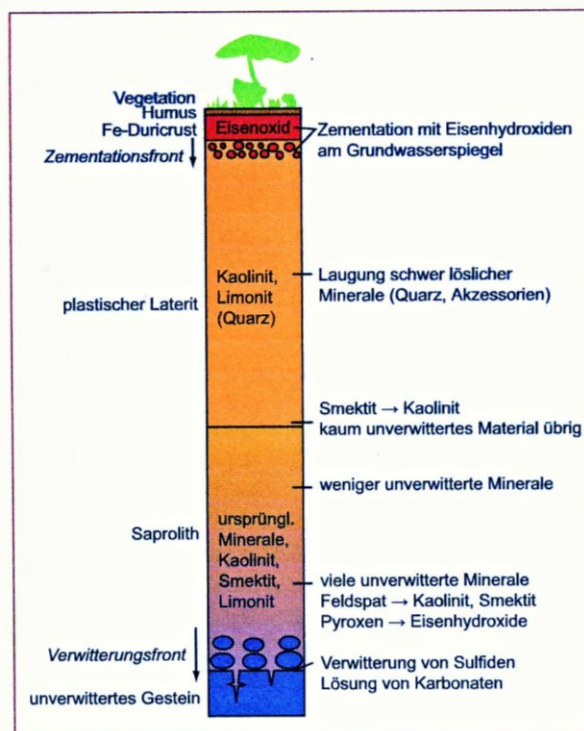


Abb. 5.42 Laterite bilden sich bei intensiver tropischer Verwitterung. Die ursprünglichen Minerale werden bei der chemischen Verwitterung weitgehend durch sekundäre Minerale ersetzt, das Bodenwasser führt Ionen ihrer Löslichkeit entsprechend ab. Im Saproolith ist dieser Prozess weniger weit fortgeschritten als im plastischen Laterit, der sogar an schwer löslichem SiO_2 deutlich verarmt ist und fast nur aus Kaolinit und Eisenhydroxiden besteht. Durch Zementation bildet sich am Grundwasserspiegel eine feste Eisenhydroxidkruste. Die Auflage von Humus ist nur dünn.

Quelle: NEUKIRCHEN, F. & RIES, G. (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

In Rückstandslagerstätten reichern sich Stoffe an, welche am Ort der Verwitterung zurückblieben, während wertloses Nebengestein abtransportiert wurde. Auf diese Weise sind zum Beispiel **Seifenlagerstätten** und **Bauxitlagerstätten** (Bauxit = wichtiges Aluminiumerz) entstanden.¹



Abb. 5.44 Stillgelegte Bauxitgrube bei Otranto, Apulien (Italien). © Loloieg.

Quelle: **NEUKIRCHEN, F.& RIES, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer- Verlag

Seite 2

Zusammengestellt unter Verwendung von:

¹ **NEUKIRCHEN, F.& RIES, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer- Verlag

² **POHL, W.** (2005): Mineralische und Energie- Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. Stuttgart: Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung

Infotext 2b: „Sedimentäre Lagerstätten“

Bei der Bildung dieser Lagerstätten werden wertvolle Mineralien gleichzeitig mit dem umgebenden Sediment konzentriert.

In **Seifenlagerstätten** sind verwitterungsresistente Minerale angereichert. Zur Konzentration dieser Minerale führten mechanische Sortierungsprozesse durch Flussströmungen (= fluviatile Seifen), durch Meerwasser (=marine Seifen) oder durch Bodenfließen (= eluviale Seifen). Seifen sind wichtige Rohstoffquellen für Gold, Platinmetalle, Zinn, Titan, Seltene Erden und verschiedene Edelsteine. Beinahe die Hälfte der Jahresproduktion an Gold kommt zum Beispiel aus der Seifenlagerstätte des Witwatersrandgebietes in Südafrika.²

Sedimentäre Lagerstätten können sich aber auch durch chemische Ausfällung im Meerwasser bilden:¹

Wenn metallreiche, heiße Lösungen aus dem Erdinneren (hydrothermale Lösungen) am Meeresgrund austreten kommt es zur Ausfällung bestimmter Stoffe. Diese sinken zu Boden und bilden Sedimente. Auf diese Weise entstanden die wirtschaftlich wichtigen **SEDEX** (= sedimentär-exhalativen) Lagerstätten, welche mehr als die Hälfte der bekannten Blei- und Zinkreserven beinhalten.¹

Auch die weltweit größten Eisenlagerstätten, die **Bändererze**, stellen sedimentäre Lagerstätten dar. Sie entstanden im frühen Erdzeitalter (Präkambrium). Im sauerstofffreien Meerwasser lag Eisen in gelöster Form vor und fiel, bei Kontakt mit sauerstoffhaltiger Atmosphäre oder Oberflächenwasser aus und lagerte sich als Sediment ab. Die wechselnden Lagen der Erze (abwechselnde Magnetit- und Quarzlagen) spiegeln die wechselnden Bedingungen im frühen Erdzeitalter wieder.¹

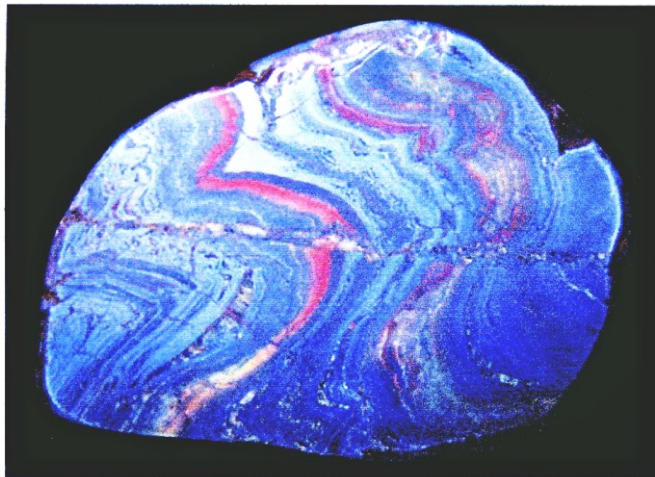


Abb. 5.6 Gefalteter BIF von Krivoj Rog (Ukraine), mit Hämatit (»Martit«, Hämatit pseudomorph nach Magnetit), Magnetit und Jaspis. Der Erzgrad beträgt 40 %. © F. Neukirchen / Mineralogische Sammlungen der TU Berlin.

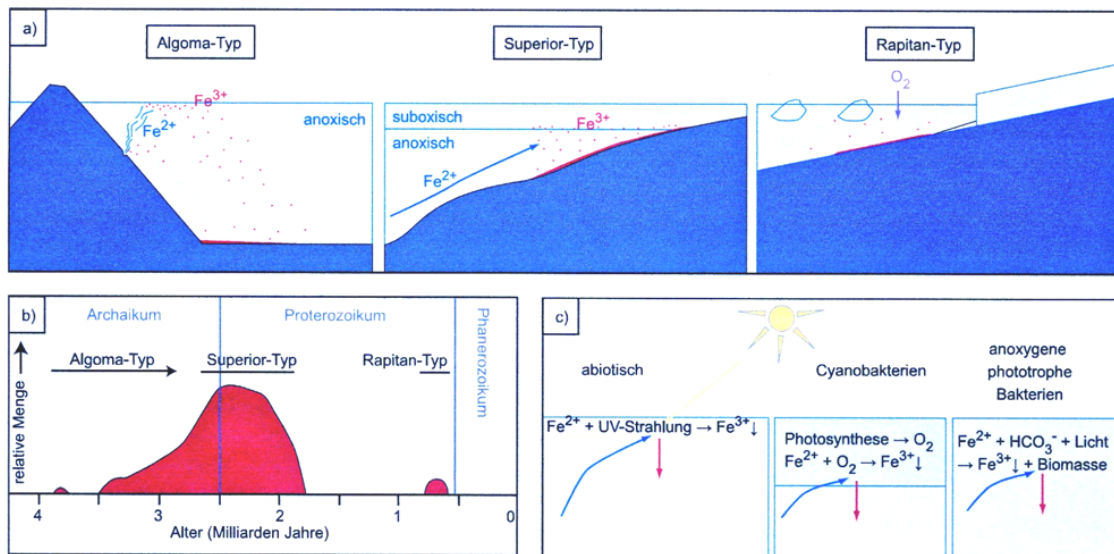


Abb. 5.8 BIF können in drei Typen eingeteilt werden, die (a) unter unterschiedlichen Bedingungen und (b) zu unterschiedlichen Zeiten entstanden sind (b nach Klein 2005). Die Ältesten zählen zum Algoma-Typ, sie entstanden in einem anoxischen Ozean in unmittelbarem Zusammenhang mit Hydrothermalsystemen. Am wichtigsten ist der Superior-Typ, der vermutlich im Zusammenhang mit der Erfindung der Fotosynthese steht, was zunächst zu einer oberflächennahen Wasserschicht mit geringem Sauerstoffgehalt führte. Nachdem die Ozeane und die Atmosphäre sauerstoffhaltig geworden waren, entstanden BIF nur noch im Zusammenhang mit extremen Eiszeiten, bei denen Meerwasser kurzfristig wieder anoxisch werden konnte (Rapitan-Typ). c) Drei Prozesse werden hauptsächlich für die Oxidation von Fe(II) zu Fe(III) und damit für die Ausfällung verantwortlich gemacht (schematische Formeln): die abiotische Oxidation mithilfe von UV-Strahlung, die Oxidation durch Sauerstoff, der von Mikroorganismen durch Fotosynthese freigesetzt wurde, und die direkte Oxidation durch bestimmte

Quelle: NEUKIRCHEN, F.& RIES, G. (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

Seite 2

Zusammengestellt unter Verwendung von:

¹ NEUKIRCHEN, F.& RIES, G. (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

² POHL, W. (2005): Mineralische und Energie-Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

Infotext 3a: „Kritische Rohstoffe“

Erze sind in der Natur nur in begrenzten Mengen vorhanden. Es ist aber nicht möglich, die Reichweite (= gibt an, wie viel Jahre der Rohstoff noch verfügbar sein wird) eines bestimmten Rohstoffes genau anzugeben. Denn einerseits werden immer wieder neue Lagerstätten entdeckt und andererseits müssen Abschätzungen vorhandener Erzmengen in bekannten Lagerstätten regelmäßig nach oben oder unten korrigiert werden. Neue Technologien oder steigende Preise können Vorkommen, die bislang als nicht abbauwürdig galten, plötzlich profitabel machen. Auf lange Sicht werden Lagerstätten in abgelegenen Gebieten und Vorkommen mit geringeren Erzgraden an Bedeutung gewinnen.¹

Als Ressourcen bezeichnet man Rohstoffvorkommen, welche zwar nachgewiesen sind, aber derzeit aus technischen oder geologischen Gründen (noch) nicht wirtschaftlich abbaubar sind. Hingegen spricht man von einer geologischen Reserve, wenn es um sicher nachgewiesene Vorkommen eines Rohstoffes geht, die nach derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich abgebaut werden können. Beide Größen, also „geologische Reserve“ und „Ressource“ sind veränderlich. So ist es möglich, dass eine Ressource durch zunehmende Explorationstätigkeit (= Erforschung von Rohstoffvorkommen) und/oder steigende Rohstoffpreise zu einer Reserve wird. Aber auch umgekehrt kann eine Reserve durch Preisverfall zur Ressource werden.³

Einige Rohstoffe sind wirtschaftlich besonders bedeutend, da sie für Hightech-Anwendungen benötigt werden. Ihr Bedarf wird in Zukunft stark ansteigen.¹ Außerdem benötigen viele der Produktionsländer, wie zum Beispiel China, aufgrund steigenden Wirtschaftswachstums größere Mengen der Rohstoffe zur Deckung ihres Eigenbedarfs. So besteht in der Europäischen Union für manche dieser Rohstoffe das Risiko von zukünftigen Versorgungsengpässen und Preissteigerungen. Hinzu kommt, dass einige dieser Metalle nicht als Hauptmetalle abbauwürdig angereichert sind, sondern nur als Beiprodukte oder Koppelprodukte aus der Gewinnung anderer Metalle produziert werden können. So wird Gallium hauptsächlich bei der Aluminiumgewinnung nach dem Bayer-Verfahren aus Bauxit gewonnen, Germanium und Indium aus sulfidischen Zink- und Bleierzen, und Platingruppenmetalle aus Chrom-, Nickel- und Kupfererzen.³

Seit 2010 veröffentlicht eine Arbeitsgruppe der Europäischen Union (Ad-hoc-Working-Group) Berichte, in denen Rohstoffe bezüglich ihrer Verfügbarkeit als kritisch definiert werden. Ob die Versorgung mit einem Rohstoff als kritisch eingestuft wird, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Die wirtschaftliche Bedeutung hängt damit zusammen, in welchen Bereichen der jeweilige Rohstoff Anwendung findet. So werden alle kritischen Metalle in Zukunftstechnologien eingesetzt und es ist anzunehmen, dass ihr Bedarf in nächster Zeit ansteigen wird.

- Das Versorgungsrisiko gibt an, ob in den Ländern, aus denen der Rohstoff importiert wird, politische Stabilität gegeben ist und ob der Rohstoff aus wenigen oder vielen Ländern importiert wird.

- Zudem wird die Versorgung von Möglichkeiten, den Rohstoff durch Alternativen zu ersetzen (= Substitution), beziehungsweise den Rohstoff auf geeignete Weise wieder zu verwerten (=Recycling) beeinflusst.

Somit werden die von der EU als kritisch bewerteten Rohstoffe aus wenigen Ländern, welche politisch und/oder wirtschaftlich als instabil bewertet werden, importiert.

Derzeit gibt es 20 Rohstoffe, welche von der EU bezüglich Rohstoffversorgung als „kritische Rohstoffe“ eingestuft werden. Zu diesen zählen die Metalle Antimon, Beryllium, Chrom, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Magnesium, Niob, Platingruppenelemente (PGE), leichte und schwere Seltenen Erden (SE), Tantal (bis 2014) und Wolfram.²

Seite 2

Zusammengestellt unter Verwendung von:

¹ **NEUKIRCHEN, F.& RIES, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer- Verlag

² **EUROPEAN COMMISSION** (2014): critical raw materials for the EU: report of the Ad-Hoc Working Group of defending critical raw materials.

³ **MELCHER & WILKEN (2013)**: „Die Verfügbarkeit von Hochtechnologie-Rohstoffen“ . In: Chemie unserer Zeit, 47, 32 – 49

Zusammenfassung

Erdwissenschaftliche Themen treten im Biologieunterricht immer weiter in den Hintergrund und werden durch andere biowissenschaftliche und humanbiologische Themen verdrängt. Dadurch kommt die Geologie im Schulunterricht oft zu kurz, jedoch in der Alltagswelt von Schülern und Schülerinnen sind erdwissenschaftliche Themen sehr aktuell und spielen eine bedeutende Rolle. Für die Herstellung diverser Konsumgüter, die von Schülern und Schülerinnen genutzt werden, wie z.B. dem Handy, benötigt man eine Vielzahl von Rohstoffen. Neben fossilem Erdöl für die Kunststoffe braucht man auch eine Reihe an metallischen Rohstoffen, welche nicht nachwachsen und zudem in aufwändigen Verfahren abgebaut und verarbeitet werden müssen. Das alles kostet Energie und stellt eine Belastung für Natur und Umwelt dar. Somit ist es sehr wichtig, im Sinne des Nachhaltigkeitsgedankens, bei den Schülern und Schülerinnen ein Bewusstsein dafür zu schaffen, mit Rohstoffen sorgsam umzugehen und mögliche Lösungen aufzuzeigen.

Schulbücher spielen eine wichtige Rolle für die Gestaltung des Unterrichts. Diese werden oft für die Jahres- und Stundenplanung herangezogen, sodass sich die Lehrkräfte in der Regel an den im Buch vorgegebenen Inhalten orientieren (SITTE 2006, 448-449). Wird ein Thema im Schulbuch umfangreich behandelt, so wird es auch der Lehrer vermutlich im Unterricht ausführlich bearbeiten. Deshalb wird im ersten Teil dieser Diplomarbeit eine vergleichende Schulbuchanalyse der gängigsten Biologieschulbücher durchgeführt. Dazu werden verschiedene Schulbücher der 3. und 6. Klasse sowohl auf allgemeine Verständlichkeit und Handhabung, sowie auf Umfang und Qualität geologischer Inhalte analysiert.

Im zweiten Teil der Arbeit erfolgt eine kurze Einführung in die Lagerstättenkunde. Informationen zu wichtigen kritischen Hochtechnologiemetallen, deren Verfügbarkeit unerlässlich für die Entwicklung vieler Zukunftstechnologien ist, aber innerhalb Europas nicht gesichert ist, werden ebenfalls angeführt. Die zur Verfügung gestellten Informationen könnten Lehrern und Lehrerinnen als Informationsmaterial dienen, um Interesse für dieses Thema im Unterricht zu wecken.

Im dritten Teil der Diplomarbeit werden Unterrichtsmaterialien mit Schwerpunkt auf „Kritische Hochtechnologie-Rohstoffe“ vorgestellt. Die entwickelten Unterlagen sollen

globale Zusammenhänge von Rohstoffverbrauch und Herstellung verdeutlichen, auf mögliche Umweltprobleme im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Rohstoffe aufmerksam machen, und bei den Schülern und Schülerinnen ein Bewusstsein für eine nachhaltige Rohstoffnutzung schaffen.

Abstract

Earth science topics are becoming more and more obsolete in biology teaching and they are being replaced by other bioscience and human biology topics. As a result, geology often misses out in school lessons, but in the everyday world of students, earth science topics play an important role. For the production of various consumer goods used by pupils, such as the mobile phone, a demand for variety of raw materials is required. In addition to fossil oil for plastics, a range number of metallic raw materials is needed, which do not regrow and, moreover, have to be mined in complex processes. All this costs energy and represents a burden on nature and the environment. Therefore, it is very important, in the sense of the idea of sustainability, to create an awareness among the pupils, to handle raw materials carefully and to show possible solutions.

School textbooks play an important role in the scheduling of the lessons. These are often used for annual and lessons planning, so teachers usually orientate themselves to the content of school textbooks (SITTE 2006, 448-449). If a topic is extensively covered in the textbook, the teacher will probably also work on this topic in detail in the classroom. Therefore, in the first part of this diploma thesis, a comparative textbook analysis of the most common biology school books will be carried out. For this purpose, various textbooks of the 3rd and 6th grade are analyzed for general comprehensibility and handling, as well as for the scope and quality of geological content.

In a second part of the thesis, a brief introduction to the formation of mining deposits takes place. Information on major critical high-tech metals, whose needs are indispensable for the development of many future technologies, but which is not secured within Europe, is given. The information provided could be used as a source

of information for teachers to discuss these topics in their lessons.

In a third part of the thesis, teaching materials focusing on critical high-tech- raw materials, are developed. These materials are intended to clarify the global context of raw material consumption and production, to draw attention to possible environmental problems in connection with the use of these raw materials and create an awareness for the sustainable use of raw materials among the students.